



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TABASCO



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico Superior de los Ríos



Comisión Federal de Electricidad

**NOMBRE DE LA EMPRESA**

**Comisión Federal de Electricidad**

**Proyecto de Residencia:**

Instalación del sistema de tierra por estructura en la línea  
TNQ-73410-LCJ de líneas de subtransmisión 115 KV

Nombre del Asesor Externo.

MDE. Aquilino Parra López

**Alumna:**

Margarita Gpe. Ovando Morales

Numero de control: 18E20158

**Carrera:**

Ing. Electromecánica

Emiliano zapata tabasco. junio 2023



## Contenido

CAPITULO 1.....	5
1.1 Justificación .....	5
1.2 Objetivo del proyecto .....	6
1.2.1 Objetivos Generales .....	6
1.2.2 Objetivos específicos .....	6
1.2.3 Problemática a resolver .....	6
CAPITULO II.....	8
2.1 Caracterización del área en el que participó .....	8
2.1.1 Organigrama de la empresa señalando el departamento donde realizará el proyecto.....	8
2.1.2 Descripción del área.....	9
2.2. Problemática a resolver .....	10
2.3.- Antecedentes de la problemática.....	11
2.4 Cronograma de actividades.....	1
2.5 Alcances y limitaciones. ....	1
2.5.1 Alcances.....	1
2.5.2 Limitaciones.....	1
CAPITULO III.....	2
MARCO TEORICO .....	2
3.1 Sistemas de tierra .....	2
3.2 La importancia de los sistemas de tierra.....	3
3.3. Sistema de tierra para protección. ....	4
3.4 Factor básico a considerar para el diseño de un sistema de tierra. ....	6
3.5 Aspectos técnicos para medición de la resistividad del suelo .....	7
3.6. Métodos para la medición de la resistividad del suelo. ....	9
3.6.1. Método de Wenner .....	10
3.6.2 Método de SchlumbergerPalmer.....	11
3.6.3. Método de medición de resistencia de una varilla (variación con la profundidad).....	13
3.6.4. Método de medición de resistencia de electrodos ya enterrados.....	14
3.7. Análisis de las medidas de resistividad del suelo.....	14
3.8. Modelamiento del Suelo .....	15
3.8.1. Modelo de suelo homogéneo. ....	16
3.9 Diseño e Instalación de Redes de Puesta a Tierra en Líneas de Transmisión Aéreas en Construcción en Torres Auto soportadas .....	1



3.10 Tipos de estructuras que se ocupan en cada área de transmisión y Subtransmisión. ....	8
3.10.1 Torres de suspensión: .....	8
3.10.2 Torres de retención: .....	9
3.10.3 Rompetramos:.....	10
3.10.4 Autoportantes:.....	11
3.10.5 Arriendadas: .....	12
3.11 Cable conductor .....	13
3.11.1 Tipos de cable conductor .....	13
3.11.2 Características de los tipos de cable conductor .....	15
3.11.3 Los materiales .....	16
3.12 Cable de guarda.....	18
3.13 Tipos de cable de guarda .....	19
3.14 Angulo de blindaje .....	21
3.15 Apartarrayos .....	24
<b>CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIONES DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS. ....</b>	<b>26</b>
4.1 Sistema de tierras, colocación de varillas en cada patas de la torre.....	26
4.1.1 Materiales:.....	27
4.1.2 Mano de obra .....	27
4.1.3 Equipos y Herramientas .....	27
4.2 Sistema de tierras mejorado. ....	28
4.3. Tendido, empalmado, tensionado y enclenado de cable de guarda AG 8(5/16). ....	31
4.3.1 Mano de obra .....	31
4.3.2 Equipo y Herramientas .....	32
4.5. Retiro de hilo de guarda en operación cable (5/16) un hilo en la línea de 115 kv. ....	34
4.5.1. Instalación de bajante de hilo de guarda a sistema de tierra incluye aterrizamiento de hilo de guarda.....	35
4.6 Sistema de tierras normal.....	38
4.7 Sistema de tierras mejorado. ....	40
<b>CAPÍTULO V. Resultados y Conclusiones.....</b>	<b>44</b>
Resultados.....	44
conclusiones y recomendaciones. ....	56
Referencias Bibliográficas .....	57



## INTRODUCCIÓN

Las líneas de subtransmisión son un medio de conducción de electricidad ya que transporta la potencia eléctrica a grandes distancias desde el punto donde es generada.

En términos generales el diseño de un sistema de conexión a tierra (SCT) parte del conocimiento de la resistividad del suelo y área delimitada de la instalación, y del tipo de instalación de infraestructura eléctrica que se desea construir.

Con lo anterior los sistemas de conexión a tierra de líneas de subtransmisión, y su valor de resistencia a tierra influye directamente en la evaluación de la tasa de salida forzada, especialmente por el efecto de la resistencia a tierra en el fenómeno de la descarga retroactiva.

Por tal motivo se trabajará con la instalación de sistemas de puesta a tierra en la línea TNQ-73410-LCJ ya que se ha tenido revisiones periódicas aéreas y se ha tonado falta de instalaciones en diferentes estructuras ocasionando deterioros en los aislamientos y conductores en la línea. Estas fallas a largo plazo ocasionan que los sistemas de protección actúen de inmediato interrumpiendo el flujo eléctrico de la red, a su vez se produce señales transitorias tanto de corriente como de voltaje. Se buscará la mejora del SCT de las 448 estructuras que tiene la línea y disminuir fallos a largo plazo.



## **CAPITULO 1**

### **1.1 Justificación**

En el proceso de generar, transmitir y distribuir energía eléctrica por todo un sistema eléctrico, hasta llegar a los usuarios para poder satisfacer sus necesidades y que ellos estén conformes con un servicio de calidad y garantía existen muchos puntos a tratar para poder lograr que el servicio de energía eléctrica sea continuo y no tenga fallas o si las hay que se resuelvan en cuestiones de segundos para que los usuarios no sean afectados y tenga el adecuado y correcto servicio. Cuando ocurre fallas o interrupción en el sistema normalmente la falla es en las líneas, donde se observan diferentes circunstancias que la provocan entre estas pueden ser cuestiones mecánicas, error humano, vandalismo o unas de las más comunes en la actualidad por fenómenos naturales como lo son las descargas atmosféricas, vientos fuertes, huracanes, y la contaminación ambiental. Las consecuencias de estos factores son los que provocan fallas en las líneas y por lo tanto la interrupción del sistema y puede ser momentánea o permanente según sea el daño o magnitud por el cual fue provocado. Con la finalidad de contrarrestar los efectos indicados anteriormente existen diversas formas de proteger las líneas de alta tensión de distribución (Subtransmisión). En el cual a lo largo de sus cientos de kilómetros que recorren de zona en zona hasta llegar a una subestación, estas están expuestas a todo tipo de cambio atmosférico mencionados, razón por el cual, en la actualidad sabemos por historiales de fallas de las líneas el resultado de fallas más seguido ha sido por las descargas atmosféricas, ya que lamentablemente muchas veces inciden los rayos en un mismo punto el cual perjudica a la línea y sus componentes, por lo que la puede sacar de operación, es por eso que las líneas cuentan con un



cable de guarda que va por encima de ellas (en la parte más alta de la estructura), con el cual brinda protección contra descargas atmosféricas, que pasa por la torre y se drena en la tierra.

## **1.2 Objetivo del proyecto**

### **1.2.1 Objetivos Generales**

Instalar, mejorar y corregir la red de puesta a tierra destinada a la protección de líneas de subtransmisión aéreas en operación contra descargas atmosféricas y fallas de corto circuito en la línea TNQ-73410-LCJ.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Instalación y mejora del 85 % (380 estructuras) de sistemas de tierra en línea TNQ-73410-LCJ.
- Mejorar y corregir el sistema de tierra en estructuras que lo necesiten en la línea TNQ-73410-LCJ.
- Obtener mejor funcionamiento en operaciones en la línea TNQ-73410-LCJ contra descargas atmosféricas.

### **1.2.3 Problemática a resolver**

A lo largo de la línea TNQ-73410-LCJ se encuentran fallas en aislamiento y conductores por las descargas atmosféricas ocasionado por una mala red de sistemas de puesta a tierra, y no solo fallas en estructuras si no a lo largo de toda la línea en flujo eléctrico habiendo cortos transitorios.



Con la instalación de por lo menos el 85 % de sistemas de puesta a tierra en la línea disminuirá los fallos transitorios y reducción de cambio de aislamiento, conductores.

#### **4. Descripción detallada de actividades**

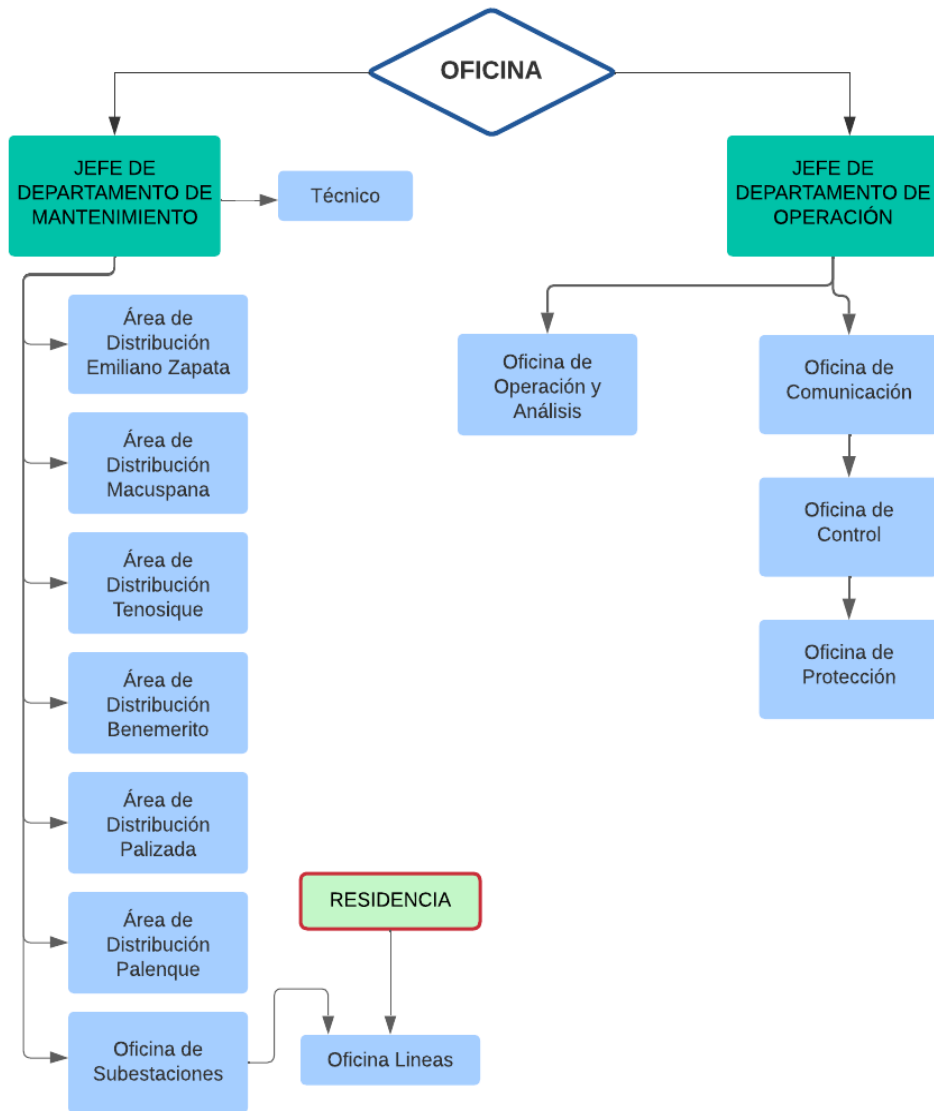
- Realizar investigación detallada sobre el sistema de tierra en líneas aéreas de 115 KV.
- Inspección aérea y terrestre de la línea TNQ-73410-LCJ para contabilizar las estructuras con faltante de sistemas de tierra para pedir el material necesario.
- Con las inspecciones aéreas y terrestres se determinará las estructuras de fácil acceso y de las que se encuentran en zonas inaccesibles a pie en las cuales se necesitara transporte aéreo.
- Marcar fechas de instalación, estas cambian de acuerdo al clima y la disposición del transporte.
- Llenar formatos establecidos por CFE para inspecciones mayores de estructuras las cuales se suben a la plataforma SIAD.
- Medición de las distancias de cada estructura a lo largo de la línea para saber los tiempos de trabajo y saber cuántos trabajadores se necesitarán.
- Trabajar con la plataforma SIAD para actualizar las mejoras de la línea.

**CAPITULO II.**

**ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ Y GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

**2.1 Caracterización del área en el que participó**

**2.1.1 Organigrama de la empresa señalando el departamento donde realizará el proyecto.**







### 2.1.2 Descripción del área

Comisión Federal de Electricidad (CFE)

Zona de Distribución Los Ríos

CFE Distribución tiene por objeto realizar las actividades necesarias para prestar el servicio público de distribución de energía eléctrica, así como para llevar a cabo, entre otras actividades, el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público de distribución.

- **Misión:** La misión de las líneas de subtransmisión en la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la de transportar la energía eléctrica generada en las centrales de generación a nivel de transmisión hasta los centros de distribución, garantizando la confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico en el sistema eléctrico nacional de México. Las líneas de subtransmisión son un componente clave de la infraestructura eléctrica que permite la transferencia eficiente y segura de la energía eléctrica a larga distancia, desde las centrales de generación hasta los centros de consumo.
- **Visión:** Ser una empresa de energía, de las mejores en el sector eléctrico a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera e ingresos adicionales por servicios relacionados con su capital intelectual e infraestructura física y comercial.

Una empresa reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnológica y aplicación de criterios de desarrollo sustentable.

## 2.2. Problemática a resolver

A lo largo de la línea TNQ-73410-LCJ se encuentran fallas en aislamiento y conductores por las descargas atmosféricas ocasionado por una mala red de sistemas de puesta a tierra, y no solo fallas en estructuras si no a lo largo de toda la línea en flujo eléctrico habiendo cortos transitorios.

Con la instalación de por lo menos el 85 % de sistemas de puesta a tierra en la línea disminuirá los fallos transitorios y reducción de cambio de aislamiento, conductores.

Nota:

- Para realizar o tender esta problemática se estudió la línea TNQ-73410-LCJ todo el año 2022, para poder detectar el problema. Se detectó que los fallos transitorios eran detectados en su mayoría por el sistema de tierra, el cual las estructuras carecían de ellos por vandalismo o le faltaban mantenimiento.
- Para el mes de febrero del 2023 solo tuvo un avance del 10 % (35 estructuras) en cambio de sistemas de estructuras, ya que el proceso de cambio de aislamiento está previsto finalizar hasta en octubre del 2023.



### **2.3.- Antecedentes de la problemática**

Línea TNQ-73410-LCJ

La línea de subtransmisión TNQ-73410-LCJ es una infraestructura de transmisión eléctrica ubicada en México, que conecta las localidades de Tenosique, en el estado de Tabasco, con Lacanjá, en el estado de Chiapas. Esta línea de subtransmisión forma parte del sistema de transmisión eléctrica del país y es operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la empresa estatal encargada de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en México.

La línea de subtransmisión TNQ-73410-LCJ tiene como objetivo principal el transporte de energía eléctrica desde la subestación de Tenosique hasta la subestación de Lacanjá, con una longitud aproximada de varios kilómetros. La infraestructura de la línea incluye torres de transmisión, conductores eléctricos y equipos de protección y control, que permiten el flujo de energía eléctrica a través de la línea con el fin de abastecer de electricidad a las áreas cercanas.

Esta línea de subtransmisión es importante para la interconexión del sistema eléctrico entre Tabasco y Chiapas, dos estados del sureste de México. Permite el transporte de energía eléctrica desde las plantas generadoras ubicadas en Tabasco, como la Central Hidroeléctrica Peñitas, hasta los centros de carga en Chiapas, contribuyendo al suministro de energía eléctrica a las poblaciones y a la actividad económica de la región.

La construcción, operación y mantenimiento de la línea de subtransmisión TNQ-73410-LCJ están sujetos a regulaciones y normas establecidas por la CFE y por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) en México, con el objetivo de asegurar su seguridad, confiabilidad y eficiencia en el transporte de energía eléctrica.







## **2.5 Alcances y limitaciones.**

### **2.5.1 Alcances**

Dentro de la empresa, se estudian las 11 líneas (radiales y troncales) a cargo del área de subtransmisión y se establecen proyectos de mejora para la línea que más lo necesite o que tenga más problemática para la distribución a los usuarios. Así las personas encargadas los revisan y aprueban para realizarse esas obras. Con lo que se requiere que los proyectos tengan un buen diseño de las redes de subtransmisión logrando que se cumplan sus objetivos de brindar un mejor suministro de energía hacia las subestaciones y por tanto a los usuarios.

### **2.5.2 Limitaciones**

Las limitaciones que tiene este proyecto se basan principalmente en el tiempo que tardan los colaboradores en cambiar el sistema de tierra, así como los lugares en que se encuentran las estructuras ya que son terrenos de difícil acceso y pantanosos, en algunas estructuras el material se tiene que llevar de manera aérea y los colaboradores llegan a pie, ese es una de las mayores problemáticas. Aparte no se pueden enfocar al 100 % en cambio del sistema de tierra, ya que se tiene otras 10 líneas que se le dan mantenimiento o tienen fallas.



## CAPITULO III

### MARCO TEORICO

#### 3.1 Sistemas de tierra

Los sistemas de tierra son una parte esencial de las líneas de subtransmisión, que son sistemas de transmisión de energía eléctrica que operan a voltajes más bajos que las líneas de transmisión principales, pero más altos que las líneas de distribución. Los sistemas de tierra en las líneas de subtransmisión son utilizados para proporcionar una ruta de retorno segura para las corrientes de falla y para proteger a las personas y equipos de posibles peligros asociados con corrientes de fuga y potenciales diferencias de voltaje.

Hay varios tipos de sistemas de tierra utilizados en las líneas de subtransmisión, que incluyen:

- Sistema de tierra aislado: En este sistema, las estructuras de soporte de la línea de subtransmisión, así como los equipos asociados, como transformadores y subestaciones, están aislados eléctricamente del suelo. Esto se logra utilizando aisladores de porcelana o compuestos en las estructuras y en los equipos. Este tipo de sistema de tierra se utiliza en lugares donde las condiciones del suelo no son adecuadas para una conexión directa a tierra y se requiere una mayor aislación eléctrica.
- Sistema de tierra a través de resistencia: En este sistema, se utiliza una resistencia de tierra para conectar a tierra las estructuras y los equipos de la línea de subtransmisión. La resistencia de tierra limita la corriente de falla a un nivel seguro y asegura que no haya un aumento excesivo del potencial



- de tierra. Esto es común en áreas con suelos de alta resistividad, donde una conexión directa a tierra puede no ser efectiva.
- Sistema de tierra a través de reactancia: En este sistema, se utiliza una reactancia de tierra, que es una bobina de impedancia inductiva, para conectar a tierra las estructuras y los equipos de la línea de subtransmisión. La reactancia de tierra ayuda a limitar la corriente de falla y protege contra posibles peligros asociados con corrientes de fuga y potenciales diferencias de voltaje.

Es importante destacar que el diseño y selección del sistema de tierra en una línea de subtransmisión depende de varios factores, como las características del suelo, las normas y regulaciones locales, así como los requisitos de seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico en particular. Los ingenieros y diseñadores de sistemas de energía eléctrica son responsables de evaluar y seleccionar el tipo de sistema de tierra apropiado para una línea de subtransmisión específica, teniendo en cuenta todos estos factores.

### **3.2 La importancia de los sistemas de tierra.**

Una gran parte de los accidentes personales en la industria y en cualquier otra parte donde se tenga un sistema eléctrico, debidos a sus causas eléctricas, están relacionados con el contacto directo con partes metálicas. Se ha encontrado que las causas de estos accidentes, ha sido la falta de un sistema de tierra o sistema de tierra adecuados.





Estadísticamente 10 % de los incendios originados en las instalaciones eléctricas de deben a fallas de los sistemas de tierras. Por esta razón, se deduce que, desde el diseño de cualquier instalación eléctrica para plantas industriales, hospitales, oficinas edificios públicos, etc. Se le debe dar gran importancia y atención al sistema de tierras.

El disponer de una red de tierra adecuada es uno de aspectos principales para la protección contra sobretensiones en las instalaciones eléctricas de alta tensión.

A esta red se conecta los neutros de los equipos eléctricos, pararrayos, cables de guarda y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

### **3.3. Sistema de tierra para protección.**

Tiene como objetivo conectar eléctricamente a la tierra todos los elementos metálicos que forman parte de la instalación eléctrica, que no se encuentran sujetos a tensión normalmente pero que pueden tener diferencias de potencial a causas de fallas accidentales, los equipos que pueden presentar estas fallas son: tableros eléctricos, tanque de interruptor y transformadores, carcasas de las maquinas eléctricas, estructura metálica de la subestaciones o líneas de transmisión y en general todos los equipos eléctricos.

Se refiere a que una parte del sistema eléctrico, requiere una conexión a tierra con el fin de mejorar el funcionamiento en los sistemas de distribución, transformadores, generador, bases de apartarrayos, etc.

Es necesario hacer dos divisiones del sistema eléctrico, una de ellas es el sistema de alimentación y de distribución de energía y la segunda al sistema de tierras del equipo eléctrico.

La primera división repercute en el servicio normal de distribución monofásico 1F-2H, sistema bifásico, 2F-3H, y sistema trifásico 3F-4H

La distribución primaria o de media tensión, se realiza en conexión estrella aterrizada en la subestación. Si a partir de esta se lleva 3 conductores de fases, se tiene un sistema 3 fases 3 hilos. Si a partir de subestación se lleva 3 conductores de fase y de neutro, se tienen un sistema de 3 fases- 4 hilos, denominando también sistema multiaterrizado. ver la figura 1.



*Figura 1. Tendido del sistema de tierra*

### 3.4 Factor básico a considerar para el diseño de un sistema de tierra.

Algunos de los factores que tienen un papel importante en el diseño del sistema de tierra son los siguientes:

- La resistividad del terreno.

¡Representa la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, o de un estrato del suelo; se obtiene indirectamente al procesar un grupo de medidas de campo su magnitud se expresa en ( $\Omega\text{m}$ ) o ( $\Omega\text{cm}$ ), ¡es inversa a la conductividad!

La resistividad eléctrica ( $\rho$ ): Es la relación entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo.

Es la resistencia específica de una sustancia. Numéricamente es la resistencia ofrecida por un cubo de 1m x 1m x 1m, medida entre dos caras opuestas.



*Figura 2. Medición de la resistividad del suelo*



### 3.5 Aspectos técnicos para medición de la resistividad del suelo

El suelo es de naturaleza heterogénea; varía por su composición y según las condiciones del medio. Aunque se pueden clasificar de diversas formas los suelos, por ejemplo, en arcilloso, arenoso y rocoso, no se puede atribuir una resistividad específica a un tipo de suelo, y si se realizan mediciones se pueden encontrar diversos valores de resistividad.

Se puede definir la resistividad del suelo  $\rho$  como la resistencia eléctrica entre las caras opuestas de un cubo de dimensiones unitarias (aristas = 1 m) llenado con este suelo. Sus unidades serán  $\Omega\text{m}$ .

Varios factores influyen la resistividad del suelo. Entre ellos podemos destacar:

- Tipo de suelo.
- Mezcla de diversos tipos de suelos.
- Suelos con capas estratificadas a profundidades y materiales diferentes.
- Contenido de humedad.
- Temperatura.
- Compactación y presión.
- Composición y concentración de sales disueltas.

La combinación de los anteriores factores da como resultado suelos con características diferentes y consecuentemente, con valores de resistividad distinta.

La conductividad del suelo es esencialmente electrolítica. Por esta razón la resistividad de la mayoría de los suelos aumenta abruptamente cuando el contenido de humedad es menor al 15%, como se observa en la figura 4, curva 2. El contenido de humedad, adicionalmente, depende del tamaño del grano y compactación. Por

otra parte, la resistividad varía con la frecuencia (figura 3), aspecto que adquiere gran relevancia en presencia de fenómenos eléctricos muy rápidos, como los rayos.

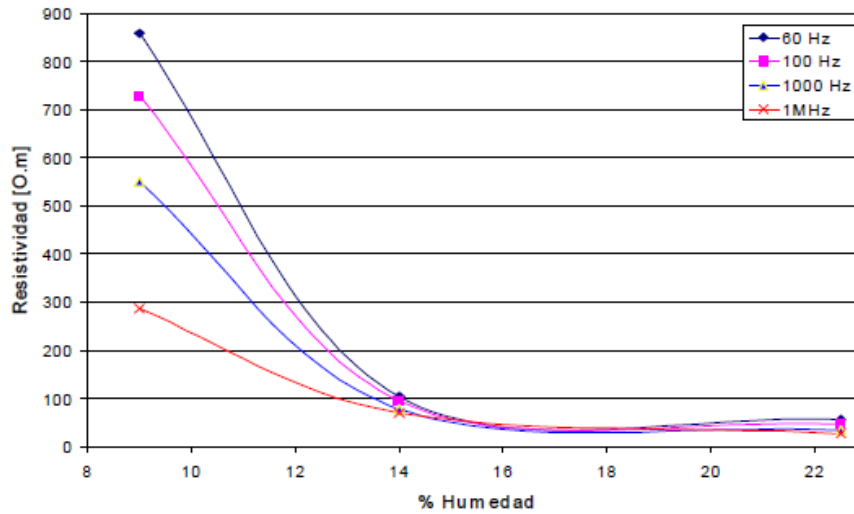


Figura 3 Variación de la resistividad del suelo con respecto a la humedad a diferentes frecuencias.

El efecto de la temperatura en la resistividad del suelo es despreciable para temperaturas por encima del punto de enfriamiento. En 0 grados el agua en el suelo comienza a congelarse y la resistividad se incrementa rápidamente, como puede apreciarse en la figura 4 (curva 3).

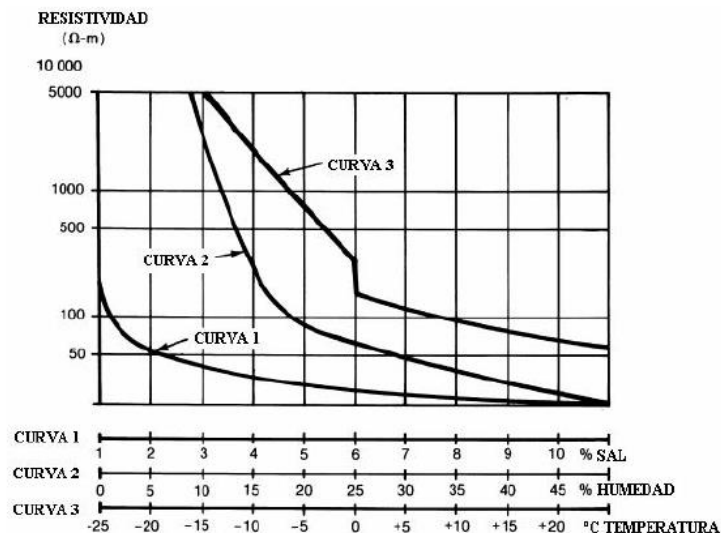


Figura 4 Ilustración de variaciones de resistividad por diversos factores Fuente: adaptada de (IEEE, 2000).



La composición y cantidad de sales solubles, ácidos o alcalinos presentes en el suelo pueden afectar considerablemente la resistividad. La figura 4 (curva 1) muestra el efecto típico del contenido de sales sobre la resistividad.

### **3.6. Métodos para la medición de la resistividad del suelo.**

Estimaciones basadas en la clasificación del suelo conducen sólo a valores gruesamente aproximados de la resistividad. Por tanto, es necesario tomar mediciones directamente en el sitio donde quedará ubicada la puesta a tierra.

Las técnicas para medir la resistividad del suelo son esencialmente las mismas cualquiera sea el propósito de la medida. Sin embargo, la interpretación de los datos recolectados puede variar considerablemente y especialmente donde se encuentren suelos con resistividades no uniformes.

Típicamente, los suelos poseen varias capas horizontales superpuestas, cada una teniendo diferente resistividad. A menudo se presentan también cambios laterales de resistividad, pero más graduales a menos que se configuren fallas geológicas. Por tanto, las mediciones de resistividad deben ser realizadas para determinar si hay alguna variación importante de la resistividad con la profundidad.

Las diferentes técnicas de medida son descritas en detalle en la IEEE Std 811983 "IEEE Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potential of a ground system".

Para efectos de esta norma, se asume como adecuado el método de Wenner o método de los cuatro puntos. En caso de ser muy difícil su aplicación, podrá apelarse a otro método referenciado por la IEEE Std 811983.



### 3.6.1. Método de Wenner

El método de los cuatro puntos de Wenner es el método más preciso y popular. ¡Son razones para esto que el método obtiene la resistividad del suelo para capas profundas sin enterrar los electrodos a dichas profundidades, no es necesario un equipo pesado para realizar las medidas; los resultados no son afectados por la resistencia de los electrodos auxiliares o los huecos creados para hincarlos en el terreno.

El método consiste en enterrar pequeños electrodos tipo varilla, en cuatro huecos en el suelo, a una profundidad “b” y espaciados (en línea recta) una distancia “a” como se ilustra en la figura 5.

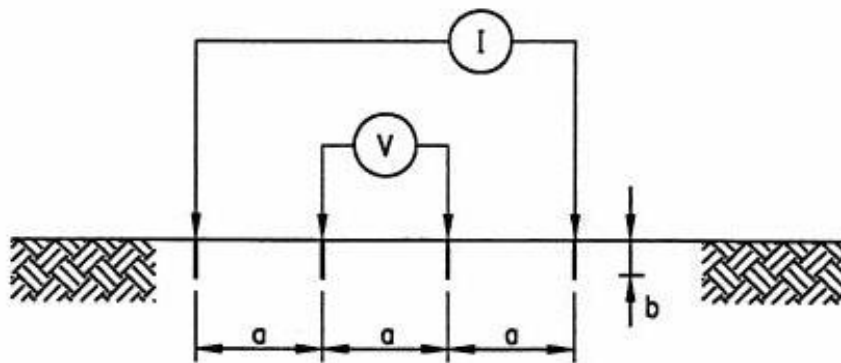


Figura 5 Método de medición

Una corriente “I” se inyecta entre los dos electrodos externos y el potencial “V” entre los dos electrodos internos es medido por el instrumento. El instrumento mide la resistencia  $R (= V/I)$  del volumen de suelo cilíndrico de radio “a” encerrado entre los electrodos internos. La resistividad aparente del suelo  $\rho_a$ , a la profundidad “a” es aproximada por la siguiente ecuación



$$\rho = \frac{4\pi Ra}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}\right)}$$

Dado que en la práctica la distancia “a” es mucho mayor que la profundidad de enterramiento “b”, la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$\rho = 2\pi Ra$$

Para determinar el cambio de la resistividad del suelo con la profundidad, el espaciamiento entre electrodos se varía desde unos pocos metros hasta un espaciamiento igual o mayor que la máxima dimensión esperada del sistema de puesta a tierra (por ejemplo, la mayor distancia posible entre 2 puntos de una malla, o la profundidad de las varillas). El espaciamiento “a” del electrodo se interpreta como la profundidad aproximada a la cual se lee la resistividad del suelo. Para caracterizar la variación de la resistividad del suelo dentro de un área específica, se deben realizar varios grupos de medidas (perfiles) en diferentes direcciones.

### 3.6.2 Método de SchlumbergerPalmer

En este arreglo, al igual que en el de Wenner, los electrodos de emisión (corriente) y medición (tensión) están situados en línea recta, la variante de este arreglo radica en que la separación entre electrodos es, aunque simétrica, desigual para la correspondiente entre los electrodos de tensión y entre estos y los de corriente.



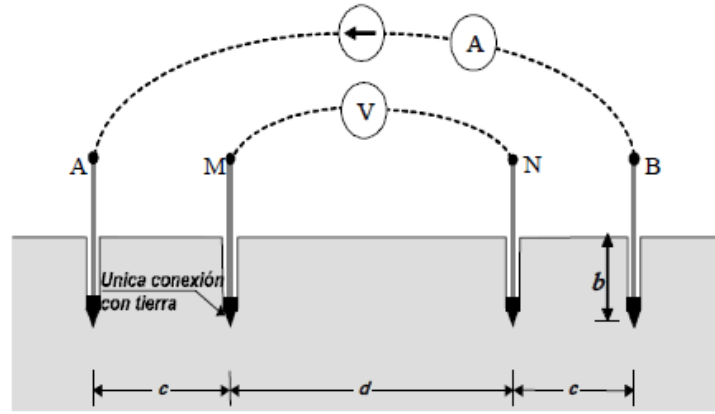


Figura 6 Método de SchlumbergerPalmer

El procedimiento para obtener el modelo del terreno, consiste en separar progresivamente los electrodos, alrededor de un punto central permanente, denominado punto de máxima exploración. La fórmula con la cual se calcula la resistividad aparente del terreno es:

$$\rho = \frac{\pi c(c + d)R}{d}$$

Donde:

c: es la separación entre el electrodo de corriente y su correspondiente de tensión.

d: es la separación entre los electrodos de tensión.



### 3.6.3. Método de medición de resistencia de una varilla (variación con la profundidad)

También conocido en la norma ANSI/IEEE Std 811983 como el Método de la Variación de Profundidad (variation of depth method), consiste en medir la resistencia de puesta a tierra de un electrodo tipo varilla y, basados en la ecuación de resistencia a tierra de un electrodo vertical en un suelo homogéneo y los datos geométricos de la varilla, derivar la resistividad del suelo. Se asume como en los métodos anteriores, que el terreno es homogéneo.

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

Donde:

r: Resistividad del terreno

L: longitud del electrodo

a: radio del electrodo

R: valor de resistencia leído por el equipo

El procedimiento comúnmente aplicado es el de disponer una varilla metálica con marcaciones cada 20 o 30 cm, y cuya longitud debe ser la suficiente como para obtener la mayor información posible de las variaciones de la resistencia leída a medida que penetra la varilla en la tierra (lo que originó el nombre de Método de la Variación de Profundidad), es decir por cada marca se lee un valor de resistencia y con la fórmula anterior se calcula la resistividad.

Este método solo se debe aplicar cuando no se disponga del espacio suficiente para utilizar los métodos de Wenner o de Schlumberger Palmer, pues la prospección es mucho menor, o en el caso de solo poder disponer de un telurómetro de tres electrodos.



#### **3.6.4. Método de medición de resistencia de electrodos ya enterrados**

Si se está en un lugar donde ya se encuentra instalado un sistema de puesta a tierra y se desea modificar el existente o construir uno adicional, es posible, a partir de la configuración del electrodo enterrado, hallar el valor de la resistencia del sistema y calcular el respectivo valor de resistividad con la fórmula de resistencia que le corresponda. Solo es aplicable en configuraciones sencillas para las cuales exista una fórmula al menos aproximada de la resistencia de puesta a tierra (ver por ejemplo Dwight, 1936: 1325). El resultado que se obtiene por este método no es suficientemente confiable y sólo debe usarse como recurso “de emergencia”.

#### **3.7. Análisis de las medidas de resistividad del suelo**

La interpretación de las medidas de resistividad aparente realizadas en el terreno, es quizás la parte más difícil del programa de medición. El objetivo esencial es decidir sobre su aceptación o no, y poder derivar un modelo que sea una buena aproximación del suelo bajo estudio. Debe tenerse presente que el modelo del suelo es sólo una aproximación de las condiciones reales del terreno. La interpretación de las mediciones de resistividad puede hacerse ya sea manualmente o mediante técnicas de análisis por computador.

El procedimiento debe ser realizado de la siguiente manera:

1. Cada uno de las direcciones o perfiles medidos en el área (ver numeral 6), deberá ser tabulado en función del espaciamiento “a”. Para cada espaciamiento “a”, se debe calcular el promedio aritmético de los valores de resistividad aparente pa obtenidos para cada perfil.



2. Proceder al cálculo de la desviación en porcentaje de cada medida  $\rho_a$  (obtenida a un espaciamiento “a” determinado) en relación a su valor promedio. Se deben descartar los valores de resistividad que tengan una desviación mayor al 50% en relación con su promedio. En este último caso, el promedio correspondiente para cada espaciamiento deberá recalcularse nuevamente.

3. Con los valores de resistividad promedio para cada espaciamiento, se tienen entonces los valores definitivos y representativos para trazar una curva de resistividad en función de la profundidad (espaciamiento “a” en el método de Wenner). La curva resultante indicará visualmente si existen distintas capas de suelos y provee una medida de resistividad eléctrica del área bajo estudio.

### **3.8. Modelamiento del Suelo**

Los modelos de resistividad del suelo mayormente usados son los de suelo homogéneo y de dos capas. El modelo de dos capas es normalmente una buena aproximación si el terreno posee varias capas de resistividad. Modelos de suelos multicapas suelen emplearse para condiciones de suelo más complejas.

Un modelo de suelo uniforme u homogéneo puede ser usado sólo cuando hay una moderada variación en la resistividad aparente. Si hay una gran variación en la resistividad aparente medida, el modelo homogéneo es poco probable que produzca resultados precisos.



Una representación más aproximada de las reales condiciones del suelo puede obtenerse mediante el uso de un modelo de suelo de dos capas. El modelo de dos capas consiste de una capa superior de profundidad finita y con diferente resistividad que la capa inferior de profundidad infinita. Existen varias técnicas para determinar un modelo equivalente de dos capas a partir de los datos de resistividad aparente obtenidos de las mediciones de campo. En algunos casos, un modelo de dos capas puede determinarse por inspección visual de la gráfica de resistividad aparente contra la profundidad obtenida mediante el método de Wenner.

### **3.8.1. Modelo de suelo homogéneo.**

Para efectos de esta norma, se considerará un suelo como homogéneo cuando los valores definitivos y representativos de resistividad aparente obtenidos para cada espaciamiento “a”, no se apartan en más de un 30% del valor máximo de los mismos. Para efectos de modelación del suelo, se asume entonces el valor promedio como la resistividad del terreno. Alternativamente puede aplicarse el método estadístico de BoxCox.

El método de Box Cox se aplica como se describe a seguir, partiendo de los datos de resistividad obtenidos de todas las lecturas:

- a. En una columna se tabulan los datos de resistividad aparente medida  $\rho_1$ .
- b. En otra columna se colocan los logaritmos naturales de cada una de las medidas  $X_i = \ln \rho_i$ .
- c. Se halla la resistividad promedio  $x$  como:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

- d. En otra columna se coloca el resultado de  $(X_i - X)^2$   
e. Se calcula la desviación estándar S como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - X)^2}{n}}$$

- f. De la distribución normal se toma Z para 70%, que da 0.524411  
g. Se halla la resistividad (con probabilidad del 70% de no ser superada) por la siguiente fórmula:

$$\rho = \text{Anti Ln}(S * Z + x)$$



### **3.9 Diseño e Instalación de Redes de Puesta a Tierra en Líneas de Transmisión Aéreas en Construcción en Torres Auto soportadas**

El diseño e instalación de las redes de puesta a tierra para todas y cada una de las estructuras se debe efectuar según lo indicado a continuación:

- a) Medir la resistividad del subsuelo en cada punto donde se vaya a localizar una estructura.
- b) Determinar la resistividad recomendada de diseño.
- c) Diseñar el sistema de puesta a tierra de cada torre que compone la línea, tomando en cuenta la resistividad recomendada de diseño. Como parte la red de puesta a tierra en la tabla 1, se describe la longitud de las contra antenas y sus electrodos por pata, que debe ser instaladas en función de la "resistividad recomendada de diseño", independientemente del arreglo instalado de acuerdo a lo indicado en la tabla 1. La resistencia de puesta a tierra medida tiene que ser menor o igual que  $10^2$  excepto para cuando la resistividad recomendada de diseño exceda los 1 000 Q.m.
- d) Elaborar lista y especificaciones de materiales a emplear.
- e) Incluir el suministro de los materiales, mano de obra, acarreo, herramientas y equipos y todos los insumos necesarios para una correcta instalación. Para el suministro de cable de la red de puesta a tierra se debe considerar el cable conductor necesario por el concepto del punto de conexión en la estructura a la red de puesta a tierra.

Las contra-antenas de la red de puesta a tierra se debe instalar en zanjas de 0.3 m de ancho, con las profundidades indicadas en la tabla 2.

*TABLA 1 - Contra-antenas y sus electrodos para la red de puesta a tierra de líneas de transmisión en construcción*

Intervalo de resistividad recomendada de diseño $\rho$ (Q-m)	Longitud de contra-antenas y número de sus electrodos por pata		Figura No.
	Longitud de contra- antena por pata (m)	No. de electrodos verticales $\rho$ /contra-antena (varillas)	
Menor que 100	3	1	1
100 a 300	6	2	2
300 a 500	12	3	3
500 a 750	24	5	4
750 a 1000	30	6	5
Mayor a 1000	30	6	5

*TABLA 2 - Profundidad de las contra-antenas con relación al terreno donde se debe instalar*

Profundidad (m)	Tipo de terreno
0.8	No cultivable
1.5	De cultivo
0.4	Rocoso

- f) Previo a la instalación de la red de puesta a tierra, es requisito indispensable que haya sido elaborada y validada la ingeniería de detalle para cada una de las estructuras que componen la línea de transmisión. La instalación de la red de puesta a tierra se debe realizar una vez que CFE autorice la ingeniería. Esto en ningún momento libera de la responsabilidad al contratista de entregar la red de puesta a tierra, de acuerdo con lo solicitado en esta especificación.
- g) Una vez terminada la instalación de la red de puesta a tierra, se procede a la medición de la resistencia de acuerdo con lo establecido.





- h) El criterio de aceptación de la red de puesta a tierra debe ser el valor medido de resistencia a tierra menor o igual que 102 con el hilo de guarda desconectado, excepto en el caso de que la resistividad recomendada de diseño del subsuelo sea mayor que 1 000 m, en cuyo caso el contratista debe instalar el arreglo de 30 m de contra antena y 6 electrodos de tierra por pata.
- i) Medición de resistividad aparente del subsuelo en líneas aéreas en construcción.

Las mediciones de resistividad aparente del subsuelo se deben realizar en época de estiaje debido a que son las condiciones más críticas del terreno.

Una vez determinada la posición de las estructuras y por consecuencia las cimentaciones de las mismas, se procede a ejecutar la medición de la resistividad aparente del subsuelo, siguiendo el método de los cuatro electrodos o de "Wenner". La corriente de inyección de prueba debe ser mayor o igual que 10 mA.

La medición se debe hacer para todas las estructuras, considerando su centro como el punto base en el sentido de la línea representado en la figura 1. En aquellos casos donde no sea posible realizar la medición en ese sentido, se puede realizar en cualquier sentido conservando el centro de la estructura como base.

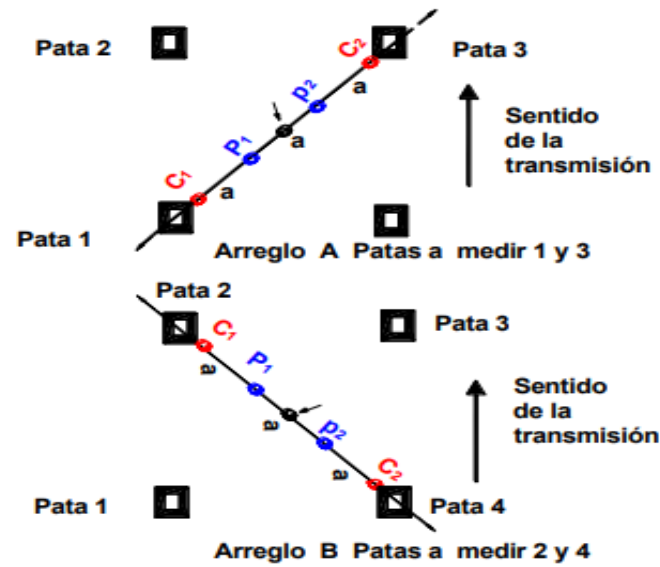


Figura 6 - Arreglo A o B, para la medición de resistividad aparente del subsuelo por el método de "Wenner" en líneas aéreas en construcción

j) Medición de la resistencia de la red de puesta a tierra para líneas de transmisión aéreas en construcción.

Para la medición de la resistencia de la red de puesta a tierra, se debe utilizar el método de caída de potencial y se debe realizar en época de estiaje debido a que son las condiciones más críticas. Este método se basa en la inyección de una corriente de prueba en el electrodo bajo análisis (red de puesta a tierra). Se toman mediciones de la tensión a diferentes distancias entre el electrodo bajo análisis E y el electrodo auxiliar de potencial P, el valor representativo de la resistencia se debe tener cuando:

- ✓ La diferencia máxima  $\Delta R$  entre mediciones sea menor que 12 para cuando el valor máximo medido sea menor que  $5 \Omega$ .
- ✓ La diferencia máxima  $\Delta R$  entre mediciones sea menor que el 15 % para cuando el valor máximo medido sea mayor que  $5 \Omega$ .



- ✓  $\Delta R$  se determina de acuerdo al formato.
- ✓ Si no se cumple con lo indicado en los incisos anteriores, la distancia  $D_{E-C}$  de la figura 2 se debe duplicar al igual que las distancias del electrodo P, hasta que se cumplan las condiciones de  $\Delta R$ .
- ✓ El procedimiento para la realización de las mediciones con el método de caída de potencial se debe realizar con el hilo de guarda desconectado y con un medidor de resistencia de baja frecuencia (60 Hz a 200 Hz) y la corriente de inyección de prueba debe ser mayor o igual que 10 mA, de acuerdo con lo siguiente:
- ✓ La dirección de la medición debe ser perpendicular o longitudinal a la línea aérea, como se ilustra en la figura 3.
- ✓ Instalar el electrodo auxiliar de corriente C y su cable asociado en la dirección seleccionada a 50 m del electrodo E cuando la longitud de la contra-antena sea menor o igual que 12 m y para longitudes mayores, la distancia debe ser de 75 m del electrodo E.
- ✓ Colocar el electrodo auxiliar de potencial P y su cable asociado en la dirección al electrodo de corriente, a 52 % de la distancia  $D_{E-C}$ .
- ✓ Se realiza la primera medición de la resistencia del electrodo E, conectando el medidor de resistencia de acuerdo a la figura 2 ya las instrucciones del equipo de medición empleado. La segunda medición se realiza instalando el electrodo P, a 62 % de la distancia de-c. Finalmente la tercera medición se efectúa instalando el electrodo P, a 72 % de la distancia  $D_{E-C}$ .
- ✓ Las tres mediciones se deben registrar en el formato.



- ✓ El valor representativo de la resistencia (R2) de la red de puesta a tierra se considera el correspondiente a la lectura realizada cuando el electrodo de potencial se encuentre al 62 % de la distancia de-c una vez cumplido el criterio para  $\Delta R$ .

K) Elaboración del informe final y entrega en forma impresa y digital (disco compacto) a CFE.

TABLA 3 - Características de materiales para la construcción de la red de puesta a tierra

Concepto	Descripción	Norma o especificación aplicable
Alambre o Cable de Cobre o Cable de acero recubierto de cobre	Alambre de cobre electrolítico, en sección circular, temple semiduro, de sección transversal de 33.62 mm <sup>2</sup> o mayor, conductividad I.A.C.S. a 20 °C 97.66% Cable de acero con recubrimiento de cobre soldado (30 ACS 7 No. 9) de sección transversal de 46.44 mm <sup>2</sup> o mayor, diámetro nominal de 8.71 mm de resistencia de 1.27481 52/km	NOM-063-SCFI NMX-J-002-ANCE NMX-J-035-ANCE NMX-J-036-ANCE NMX-J-012-ANCE CFE E0000-32CFE E0000-33
Electrodos de tierra	Varilla de acero con recubrimiento de cobre electrolítico de acuerdo a la especificación	CFE 56100-16
Conexiones soldadas	Conexiones soldables tipo exotérmico prototipo probado de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Especificación.	CFE DY700-26

**NOTA: 1. No se acepta el uso de conectores a compresión o atornillables.**

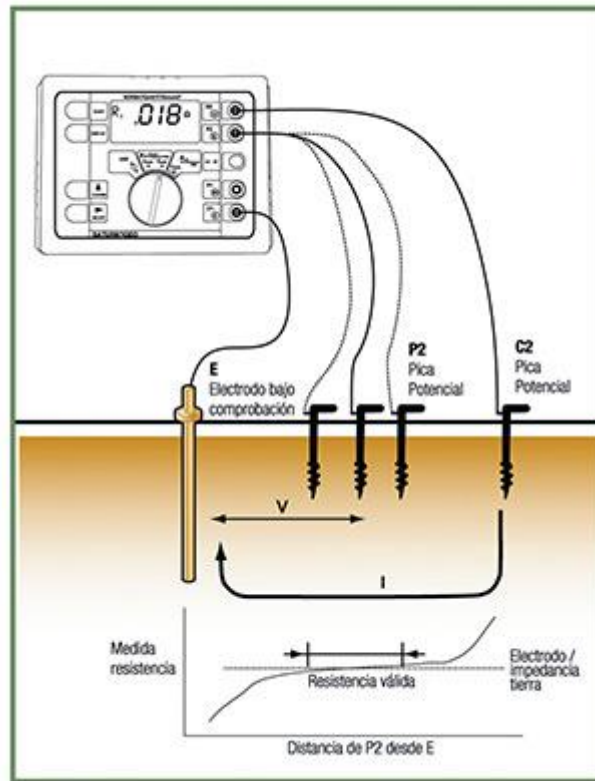


Figura 7– Método de medición de resistencia a tierra por caída de potencial

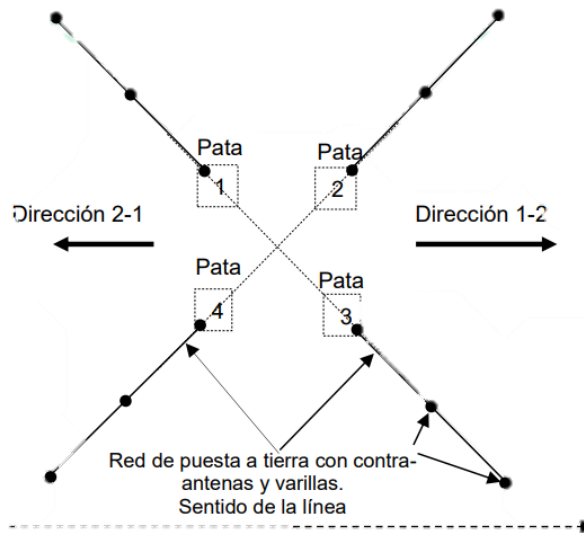


Figura 8 – Direcciones preferentes para la medición de la resistencia de la red de tierra (vista de planta)



### **3.10 Tipos de estructuras que se ocupan en cada área de transmisión y Subtransmisión.**

Las estructuras más utilizadas en líneas eléctricas son los postes. Estos han sido muy populares, y lo siguen siendo aún más, desde que entró en vigencia el avanzado concepto de Compactación de Líneas, el cual es la llave de la economía, tanto en el diseño como en la construcción y supervisión de las mismas.

Construir líneas eléctricas en un solo poste es clave para abaratar considerablemente los costos. En primer lugar, porque se economiza mucho en adquirir los derechos de paso los cuales son más angostos. En segundo lugar, el ahorro sustancial de materiales y de trabajo horas/hombre, especialmente en líneas eléctricas de 69 kv y mayores voltajes.

No hubo necesidad de actualizar este concepto en líneas de menor voltaje, 13.8 kv y 34.5 kv, porque éstas siempre han sido en un solo poste.

Las estructuras son los elementos de soporte de conductores y aisladores de las líneas de alta tensión, se pueden clasificar según su función en: Torres de suspensión, Torres de retensión.

#### **3.10.1 Torres de suspensión:**

En este tipo de torre los conductores se encuentran suspendidos de las ménsulas mediante cadenas de aisladores, están diseñadas para soportar el peso de los conductores y la acción del viento sobre ellos y sobre la misma torre. Véase en la figura 9.

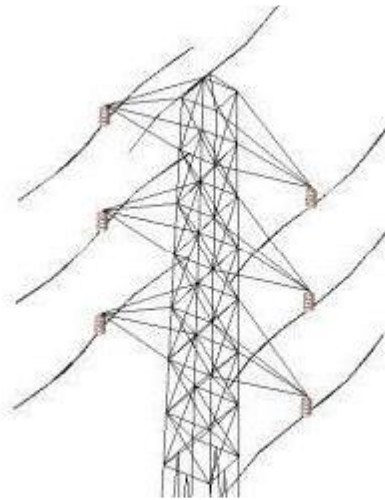


Figura 9 – Torres de suspensión.

### 3.10.2 Torres de retención:

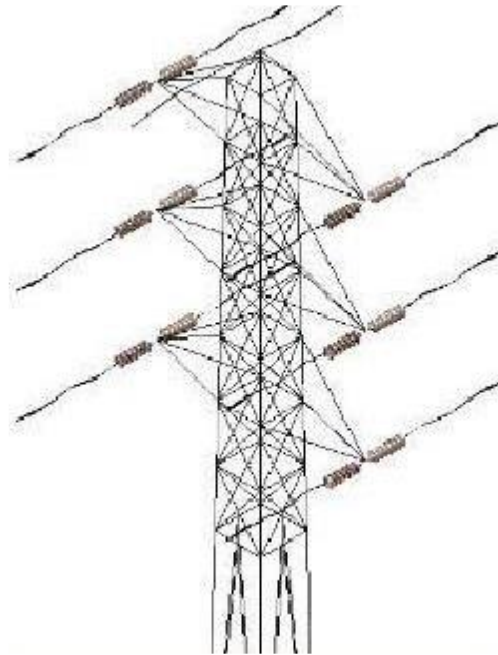
La torre de retención, véase en la figura 10 se clasifica en 2 clases:

#### **Terminal:**

Esta clase de torre se encuentra en el inicio o final de una línea, están diseñadas para soportar la tensión ejercida por los conductores ubicados de manera perpendicular a las ménsulas, razón por la cual es el tipo de torre más robusta.

#### **Angular:**

Las torres tipo angular son utilizadas cuando hay cambio de dirección en la línea, soporta la tensión de los conductores producida por el cambio de dirección.

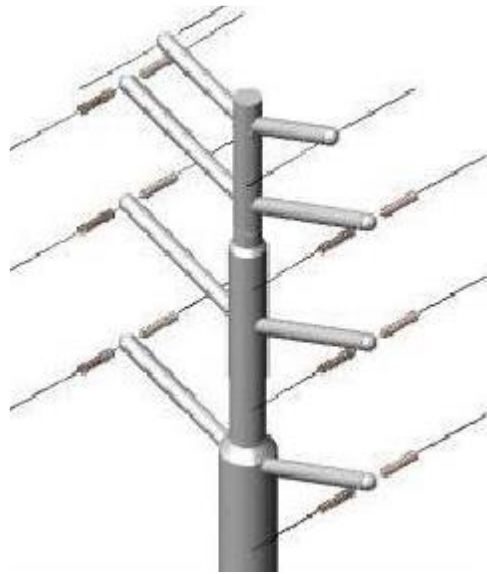


*Figura 10 – Torres de retención*

### **3.10.3 Rompetramos:**

Este tipo de estructura es utilizada en las líneas de transmisión para evitar la caída en cascada (domino) de las torres de suspensión y para facilitar el tendido de líneas rectas extensas, se clasifican según la manera de soportar la tensión producida por los conductores. Véase en la figura 11.

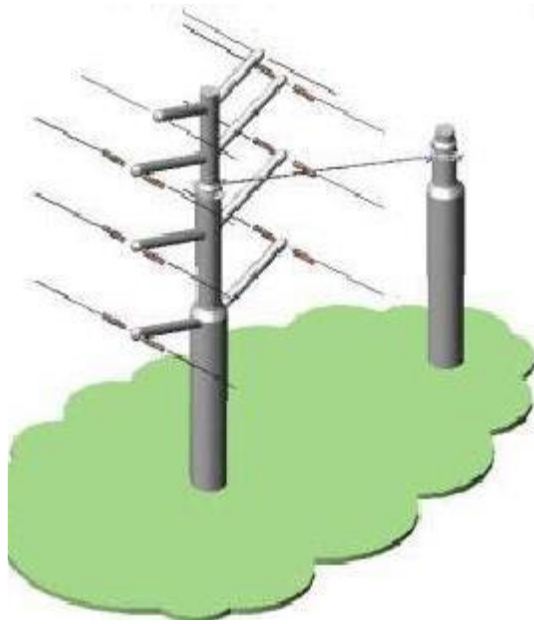




*Figura 11 – Torres de Rompetramos*

#### **3.10.4 Autoportantes:**

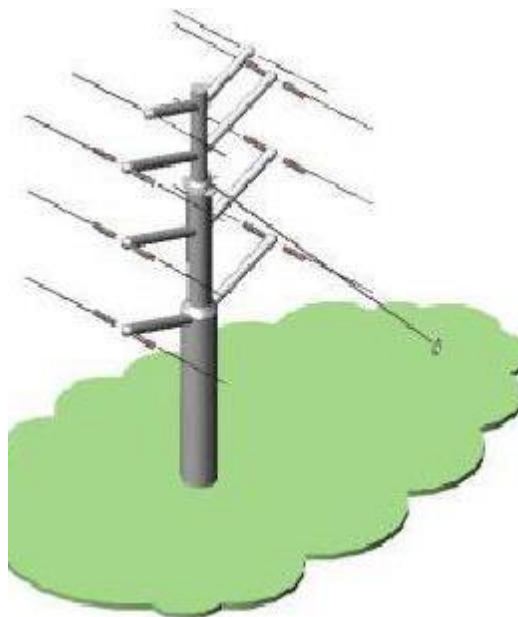
Son vigas incrustadas en el suelo, las cuales transmiten la tensión de los conductores a las cimentaciones; estas estructuras pueden ser rígidas o flexibles, las primeras no sufren deformaciones en presencia de esfuerzos irregulares son fabricadas en acero o en hormigón y las flexibles son postes metálicos que sufren deformación en caso de estos esfuerzos. Véase en la figura 12.



*Figura 12 – Torres de Autoportante*

### **3.10.5 Arriendadas:**

Son estructuras flexibles que transmiten la tensión de los conductores a las cimentaciones. Véase en la figura 13.



*Figura 13 – Torres de Arriendadas*



### **3.11 Cable conductor**

El componente principal de una línea de alta tensión de distribución, es el cable conductor. Existe una gran variedad de tipos de cables conductores empleados para la transmisión de energía eléctrica en forma aérea con diferentes características, conformación y tratamiento de los materiales que lo componen, así como cables de última generación con nuevas tecnologías aplicadas que hacen posible su operación en altas temperaturas. Las características mecánicas y eléctricas de los cables conductores definen su comportamiento durante su instalación y operación en una línea de transmisión; por tal razón, es importante identificar sus propiedades para definir en consecuencia los parámetros de uso.

Las tendencias en cuanto a nuevos materiales utilizados como conductor marcan la pauta para la fabricación de una nueva generación de cables conductores con una mayor capacidad de conducción y menos pérdidas de energía, mayor capacidad mecánica a la tensión, y un comportamiento mecánico-geométrico más favorable de las catenarias del cable lo cual permite optimizar el uso de las estructuras de soporte.

Los cables conductores es el componente de la Línea de Alta Tensión por donde se transporta la energía eléctrica. La sección del cable, su composición y el número de conductores por fase, debe ser la adecuada para permitir la conducción de la potencia eléctrica y resistir los esfuerzos mecánicos a los que estarán sometidos durante la construcción y operación de la línea.

#### **3.11.1 Tipos de cable conductor**

Los conductores son los elementos metálicos, generalmente de cobre o aluminio, permeables al paso de la corriente eléctrica y que, por lo tanto, cumplen la función



de transportar la "presión electrónica" de un extremo al otro del conductor. Material que opone mínima resistencia ante una corriente eléctrica. Los materiales que no poseen esta cualidad se denominan aislantes.

Denominamos conductor al cuerpo construido por un metal de alta conductividad que puede ser utilizado como portador de corriente eléctrica. A continuación, mencionaremos tres clases de conductores según su poder de conducción eléctrica en orden descendiente:

**Conductor de clase 1:** son los de elevada conductividad eléctrica, en general son los metales comerciales de uso eléctrico, cobre, aluminio, aleaciones de aluminio.

**Conductor de clase 2:** Son los semiconductores de germanio, Silicio.

**Conductor de clase 3:** Los aislantes.

Los conductores se ven afectados por la variación de la temperatura y por las variaciones de esfuerzos mecánicos durante el servicio. Los conductores pueden ser de un hilo macizo o varios hilos cableados entre sí.

Por otra parte, como toda obra, las líneas tienen una vida económicamente útil, en la cual se espera amortizar el capital invertido. Las pérdidas de transmisión representan la energía producida o adquirida (por quien explota la línea) y no vendida, las inversiones realizadas en las instalaciones deben amortizarse en el plazo de vida útil establecido, y esto tiene un costo financiero y por lo tanto el costo de transporte depende de la suma del costo de pérdidas y costos financieros, que cuando alcanzan el mínimo, minimizan el costo de transporte.

Para seleccionar el tipo de conductor en cuanto a material se refiere se deben investigar las características de corrosión galvánica y o atmosférica en la zona en que se localizara la línea, a fin de utilizar el material más adecuado.

La intensidad de corrosión por contaminación se clasifica como:

- ❖ Fuerte
- ❖ Media
- ❖ Ligera

(véase en la tabla 4)

En general se recomienda utilizar los siguientes tipos de conductores:

- a) Conductor de aluminio con núcleo de acero (ACSR)
- b) Conductor de aluminio con núcleo de alumowel (ACSR/AW)
- c) Conductor de copperweld y cobre (CW-CU)
- d) Conductor de aluminio con núcleo compuesto de fibras de vidrio y carbono envueltos en resina (ACCC)
- e) Conductor de aluminio con núcleo de fibras de óxido de aluminio (ACCR)

TABLA 4 - Recomendación para tipo de conductor según la zona

<b>Zona de corrosión</b>	<b>Tipo de conductor</b>
<b>Fuerte (F)</b>	<b>CM-CU-ACCC-ACCR</b>
<b>Media (M)</b>	<b>ACSR / AW</b>
<b>Ligera (L)</b>	<b>ACSR</b>

### 3.11.2 Características de los tipos de cable conductor

De todos los metales, el que tiene mayor conductividad es la plata. Sin embargo, su precio impide que se use comercialmente como conductor. Su uso se limita a superficies de contacto (plateado).

### 3.11.3 Los materiales

que se usan más comúnmente para la conducción de la electricidad son el cobre y aleaciones de cobre, el aluminio y aleaciones de aluminio y en algunas ocasiones el hierro y el acero. (véase en la tabla 5).

El cobre, después de la plata es el metal de más alta conductividad eléctrica, debido a su gran ductilidad puede usarse fácilmente para fabricar alambres y conductores, resiste la oxidación y la corrosión y tiene una resistencia mecánica adecuada.

El trabajo en frío aumenta la resistencia mecánica del cobre de manera notable, disminuye la conductividad, pero muy poco. Así el cobre recocido tiene una carga de ruptura de 2,250 a 2,810 kg/cm<sup>2</sup> y una conductividad de 100% IACS. (véase en la tabla 6).

El alambre de cobre duro estirado tiene una carga de ruptura de 3,445 a 4,710 kg/cm<sup>2</sup> y una conductividad de 97,3 IAC.

Tabla 5. Características del cobre recocido

Conductividad a 20° C	100% IACS
Resistividad (en volumen) a 20°C	1/58=0.017241
Resistividad (en masa) a 20°C	Ω/m/mm <sup>2</sup>
Densidad a 20°C	8.89
A <sub>0</sub>	1/234.5=0.00427
A <sub>20</sub>	1/234.5=0.00393

Tabla 6. Características eléctricas del cobre duro estirado en frío.

Conductividad a 20° C	97.3% IACS
Resistividad (en volumen) a 20°C	0.01772 Ω/m/mm <sup>2</sup>
Resistividad (en masa) a 20°C	0.16742 Ω/m/g
Densidad a 20°C	8.89
A <sub>0</sub>	1/241.5=0.00414
A <sub>20</sub>	1/261.5=0.00382

Aluminio. Un conductor de aluminio pesa casi exactamente el 50% de un conductor de cobre que tenga la misma capacidad de conducción de corriente y tiene alrededor del 70% de la carga de ruptura de dicho conductor de cobre.

El aluminio es muy dúctil y maleable y puede estirarse, forjarse y doblarse fácilmente. Es altamente resistente a la corrosión atmosférica, pero el hecho de que se forma rápidamente una delgada capa de óxido resistente y adherente causa a veces problemas en los contactos eléctricos. (véase en la tabla 7).

Tabla 7. Características eléctricas del aluminio duro estirado

Conductividad a 20° C	61% IACS
Resistividad (en volumen) a 20°C	0.02828 Ω/m/mm <sup>2</sup>
Resistividad (en masa) a 20°C	0.0765Ω/m/g
Densidad a 20°C	2.703
A <sub>o</sub>	1/228.1=0.00438
A2 <sub>o</sub>	1/248.1=0.00393

Acero. Los cables de acero se usan muy poco como conductores eléctricos. Deben galvanizarse (protegerse con una capa de zinc) para evitar la corrosión. (véase en la tabla 8).

Sus ventajas principales son la alta resistencia mecánica y el bajo costo. Sus desventajas son sus pobres características eléctricas, facilidad para corroerse y las pérdidas debidas a histéresis, ya que es material magnético.

Tabla 8. Características eléctricas del acero.

Conductividad a 20° C	12.3% IACS
Resistividad (en volumen) a 20°C	0.15 Ω/m/mm <sup>2</sup>
Resistividad (en masa) a 20°C	1.1821 Ω/m/g
Densidad a 20°C	7.83
A <sub>o</sub>	1/208.5=0.00471
A2 <sub>o</sub>	1/208.5=0.0042

### 3.12 Cable de guarda

Los cables de guarda instalados en las líneas de alta tensión, son cables sin tensión que se colocan en la parte más alta en las redes de alta tensión, se conectan a la misma estructura metálica en cada torre y sirven para varios motivos. Uno es el generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea, rebajando al mínimo la resistencia de tierra ya que con el cable se unen todas las torres y por defecto todas las tomas de tierra del trazado. Otro motivo es para intentar captar el rayo durante las tormentas y conducirlo a tierra (cosa que no siempre sucede), véase en la figura 14.

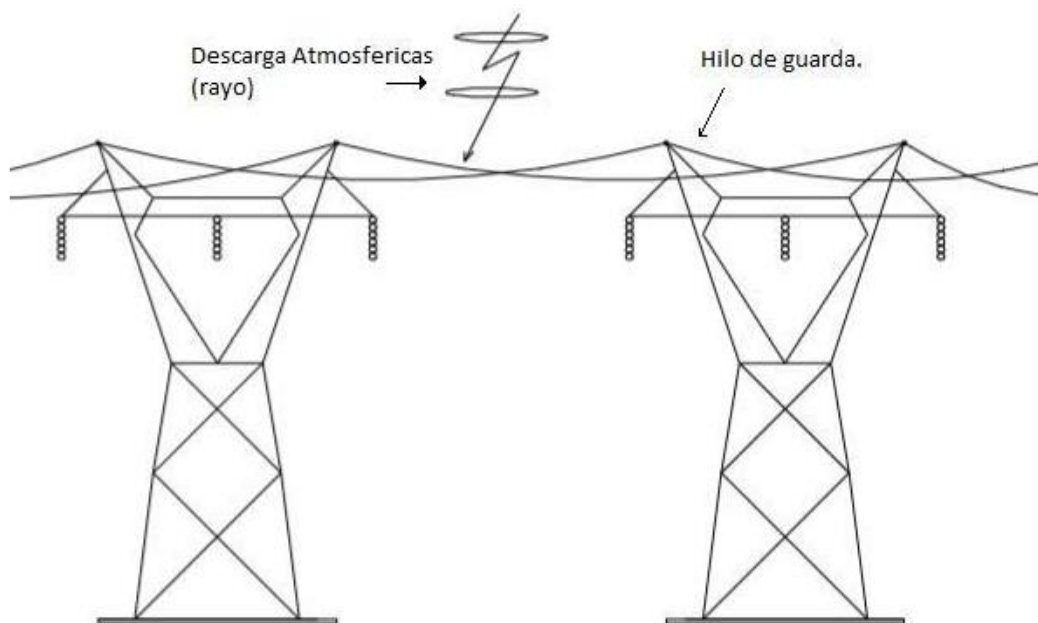


Figura 14 – Descarga Atmosférica incide sobre el hilo de guarda

Por una parte, lo primero es bueno para reducir el riesgo eléctrico a las personas que toquen una torre de alta tensión, y minimizar así las posibles tensiones de paso que pueden generarse. Por otra parte, es perjudicial porque es sabido que esto facilita que el rayo encuentre un camino de resistencia baja en los puntos más altos, cuando el rayo impacta en la torre, aparecen en más o menos medida fugas de



corriente de alta tensión por las estructuras, poniendo en riesgo a las personas que estén cerca de la torre en ese preciso instante. véase en la figura 15.



Figura 15 – Descarga Atmosféricas

### 3.13 Tipos de cable de guarda

Cables de guarda convencionales son elementos que protegen las instalaciones de las líneas de transmisión aéreas ante la posible incidencia de descargas atmosféricas y, de esta forma, mantienen la continuidad de la transmisión de energía eléctrica. (véase en la tabla 9).

Tabla 9. Características del cable de guarda

Tipo	características	Materiales especificados
Cables de acero galvanizado de alta resistencia y extra alta resistencia	Ofrecen las calidades “a”, “B” y “C” que se refieren al espesor de la capa de zinc protectora ante la corrosión.	ASTM a-363 Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Overhead Ground Wire Strand
Cables de acero con aluminio soldado	Aplica una capa de mayor espesor de aluminio soldado, incrementando la resistencia ante la corrosión y dando mayor conductividad al cable	ASTM B-416 Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Aluminum-Clad Steel Conductor

Cables de guarda con fibras ópticas integradas (CGFO) Además de realizar la función establecida para los cables de guarda convencionales, tienen la función de comunicaciones mediante fibras ópticas integradas entre los alambres que componen el cable. Véase en la figura 16. La aplicación principal de la función de comunicación es para transferencia de datos que sirvan para medición y control de la red eléctrica, sin embargo, es posible explotar la función de estos cables como redes de telecomunicaciones en general. (véase en la tabla 10).



Figura 16. Características del cable de guarda con fibra óptica

Tabla 10. Características del cable de guarda con fibra óptica

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
protección holgada de las fibras	Permite la elongación y compresión del cable sin poner en riesgo la integridad de las fibras ópticas, durante condiciones de viento, variación de temperatura y presencia de hielo.
relleno del núcleo que contiene las fibras ópticas con fluido absorbente de hidrógeno	Sirve para evitar que las fibras ópticas absorban el hidrógeno generado como vapor de agua (humedad) o como gas de hidrógeno puro, producto del envejecimiento de los componentes del cable por su envejecimiento.

protección térmica del núcleo que contiene las fibras ópticas y uso de aluminio en los alambres	Evita daños al cable por exceso de temperatura debida a corto circuito o incidencia de descargas atmosféricas
---	---

### 3.14 Angulo de blindaje

Uno de los métodos de protección de líneas contra descargas atmosféricas es por medio del blindaje, este método consiste en interceptar las descargas atmosféricas y conducir las a tierra por medio de un conductor conectado a tierra, éste conductor recibe el nombre de hilo de guarda. El hilo de guarda se instala en la parte más elevada de la estructura mecánica que soporta a la línea de transmisión con un ángulo respecto a su línea vertical y el conductor de fase más externo, éste ángulo es conocido como ángulo de blindaje. Véase en la figura 17.

El objetivo de la selección del número de hilos de guarda y su posición, es el de interceptar los rayos y reducir las fallas de blindaje a un número aceptable.

En general con dos hilos de guarda se tiene el mejor comportamiento representado por un menor índice de las salidas por cada 100 Km al año.

La siguiente figura muestra la variación del ángulo de blindaje, de positivo a negativo, al variar la posición del hilo de guarda con respecto a un conductor de fase. El objetivo de la selección del número de hilos de guarda y su posición es interceptar los rayos y reducir las fallas de blindaje a un número aceptable.

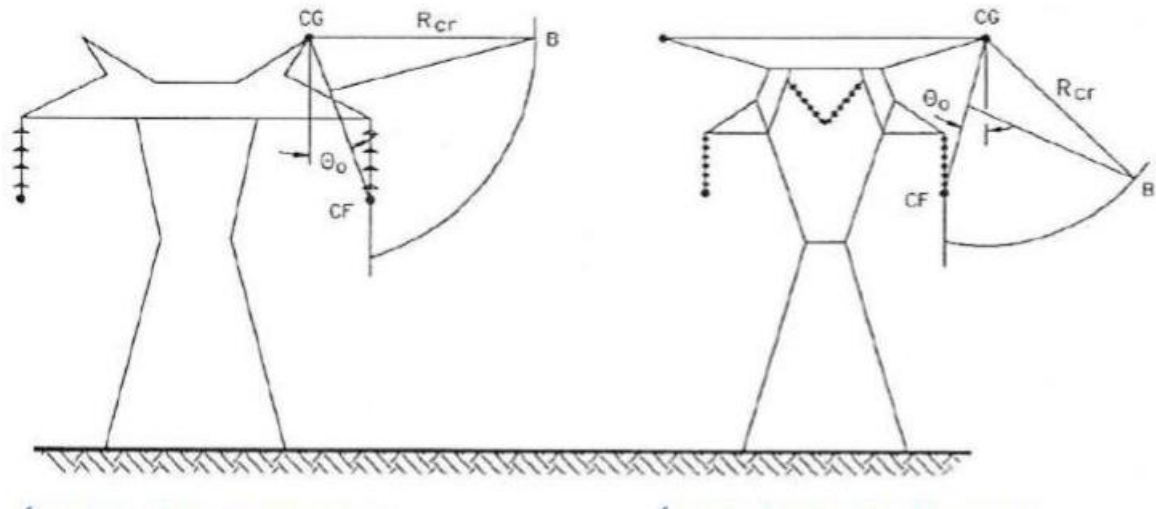


Figura 17. variación del ángulo del blindaje

La falla de blindaje se puede definir como el flameo de un aislador debido a la incidencia de un rayo en el conductor de fase (sin incidir en el hilo de guarda) diseñado con cierto ángulo de blindaje, también conocido como índice de falla por blindaje inapropiado. Véase en la figura 18.



Figura 18. Fallas de Blindaje que producen Flameo/Densidad de Rayos a Tierra y Ángulo de Blindaje promedio considerando terreno plano



Para la obtención del índice de fallas por blindaje inapropiado, se tienen dos alternativas, una es considerando la corriente mínima e incidencia del rayo obtenida de la curva de probabilidad y la otra es considerando la corriente mínima del rayo en el conductor de fase que produzca flameo en el aislamiento obteniendo el índice de fallas de blindaje que producen flameo.

Adicionalmente, las condiciones para las cuales se producen flameos inversos, como son altos valores de resistencia a tierra y/o bajo nivel de aislamiento, se deben de tomar en cuenta para obtener las bases de un diseño total de protección por descargas atmosféricas. De esta manera se puede considerar un solo hilo de guarda para zonas con baja densidad de rayos a tierra y dos hilos para zonas con alta densidad. Los niveles críticos para los índices de fallas de blindaje que producen flameos, se dejan a consideración del diseñador.

Por ejemplo, para las líneas que den un servicio a cargas críticas, se pueden seleccionar un valor de diseño de falla de blindaje que producen flameo menor o igual a 0.05 por cada cien kilómetros de línea por año. Véase en la figura 19. Basado en la formulación del radio crítico de Brown-Whitehead, para condiciones severas y considerando rayos verticales, se puede sugerir el uso de la siguiente figura respecto a la selección del ángulo de blindaje:

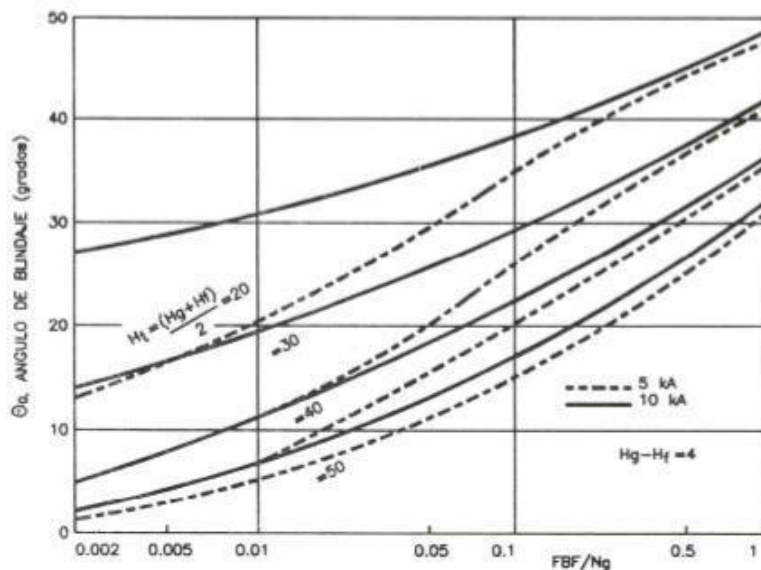


Figura 19. Fallas de Blindaje que producen Flameo/Densidad de Rayos a Tierra y Ángulo de Blindaje promedio considerando terreno plano.

### 3.15 Apartarrayos

El Apartarrayos de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) es un equipo diseñado para proteger los sistemas de Subtransmisión (69-138 kV) contra Descargas Atmosféricas. El equipo no está permanentemente conectado al sistema, por lo que solo opera cuando existen sobre voltajes. Por el tipo de diseño, el ALEA elimina muchos de los problemas registrados en los apartarrayos convencionales y con varias ventajas tales como presentar una impedancia alta a voltaje nominal para minimizar las pérdidas y una impedancia baja durante transitorios (sobre voltajes), incrementando además la confiabilidad de los sistemas y apoyando en la reducción del Tiempo de Interrupción al Usuario (TIU) y sin agregar un punto de falla al sistema. El Apartarrayo de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) permite evitar el flameo del aislamiento por descargas directas o inducidas y por su diseño se reduce la probabilidad de flameo en fases adyacentes de la misma estructura (protegidas

también con ALEA) o el regreso del sobre voltaje (generación del flameo inverso) desde la propia estructura a otras fases, como podría suceder con los del tipo permanente. Véase en figura 20. Debido a la diferencia de niveles de Isodensidad a lo largo de la república mexicana y con el fin de eficientar los recursos disponibles de nuestros clientes, MAPPEC ofrece tres niveles de capacidad de corriente de descarga: Clase 1, Clase 2 y Clase 3 de acuerdo con la Esp. CFE 52000-66 y norma IEC 60099-8 e IEC 60099-4. (véase en la tabla 11). Para el caso de ALEA 69-138 kV se utiliza el envolvente de Hule Silicón tipo HTV con alta resistencia al tracking (plano inclinado y rueda de tracking). El hule Silicón Cumple con las pruebas indicadas en las normas IEC 60587 e IEC62217.



*Figura 20 apartarrayos de alea*



Tabla 11 descripción de alea

DESCRIPCIÓN (ALEA)	69	85	115	138
Tensión Nominal (kV)	69	85	115	138
Corriente Nominal (kA)	10	10	10	10
Clase (según IEC)	1, 2	1, 2 Y 3	1, 2 y 3	1, 2 y 3
Capacidad de Corriente de Corto Circuito (kA)	20, 31.5	20, 31.5 y 50	20, 31.5 y 50	20, 31.5 y 50
TCF (+) kV	300	372	515	618
Tensión de Flameo (seco), 60 Hz (kV)	160	227	240	290
Tensión de Flameo (humedo), 60 Hz (kV)	130	192	205	250
Descargas Parciales (pC)	< 10	< 10	< 10	< 10
Ciclo de Operación	cumple	cumple	cumple	cumple
Resistencia a Cantilever (kN)	> 0.5	> 0.5	> 0.5	> 0.35
Envoltorio	HS	HS	HS	HS
Normas de Referencia	IEC 60099-4, IEC 60099-8 y CFE 52000-66	IEC 60099-4, IEC 60099-8 y CFE 52000-66	IEC 60099-4, IEC 60099-8 y CFE 52000-66	IEC 60099-4, IEC 60099-8 y CFE 52000-66

## CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIONES DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

### 4.1 Sistema de tierras, colocación de varillas en cada patas de la torre

Consistió en el hincado e instalación de varillas (electrodos) de tierra de 3.0 m. de longitud las cuales integraran el sistema de tierras de las torres. Instalando una varilla por cada una de las patas soporte de dicha torre. En la parte superior las conexiones del hilo de guarda a la estructura se realizaron con un conector a compresión o mecánico proporcionado por la C.F.E. y en la parte inferior de la estructura se aterrizará cada pata a través de una contra antena de 6 metros de





longitud de cable ACS-4. Para lo cual se trabajará en los meses de octubre-  
Noviembre; siendo finalizada en la última semana de noviembre.

En la integración del costo unitario, el contratista debe considerar los cargos  
siguientes para el desarrollo de esta actividad.

#### 4.1.1 Materiales:

- Conexión soldable por termofusión de alambre ACS-4 a varilla de tierra, 1 pieza.
- Conexión soldable por termofusión de alambre ACS-4 a superficie plana, 1 pieza.
- Molde cadweld según requiera (50 usos) como mínimo, 2/50 pieza.
- Carga cadweld según requiera, 2 piezas.
- Manija, chispero, carda etc. (50 usos) como máximo, 2/50 piezas.

#### 4.1.2 Mano de obra

la mano de obra calificada en la cantidad necesaria para la realización de las  
actividades mencionadas el tiempo programado y con la calidad requerida por la  
C.F.E.

#### 4.1.3 Equipos y Herramientas

**Vehículos:** el contratista deberá considerar la utilización del tiempo necesario del  
vehículo o vehículos para trasladar y regresar al personal y el material que será  
instalado.

**Herramientas:** en este reglón el licitante debe considerar el porcentaje del costo  
de la mano de obra adecuado, para resarcir el gasto de herramientas utilizado  
para esta actividad.



**Equipo:** en este caso de considerarlo conveniente, el licitante deberá considerar en este reglón el costo por el tiempo de utilización del equipo de medición adecuado, para el desarrollo de la actividad.

## **4.2 Sistema de tierras mejorado.**

### **Descripción**

En algunos terrenos es necesario instalar varillas de tierra adicionales al sistema normal marcado en los planos, lo cual se determina mediante las lecturas de resistencia de tierra al pie de la estructura, conforme a la especificación CFE 00JL0-28.

Después de recibir el reporte de lecturas de tierra, el Residente de CFE informará al Contratista aquellas estructuras que requieren bajar su resistencia, usando electrodos normales de tierra a base de sistemas mejorados con sulfato de magnesio grado industrial y bentonita.

### **Ejecución**

La comisión indicará en cuales estructuras se instalará el sistema de tierras adicional, en caso que se requiera, el número de electrodos que se hincará y la distribución de los mismos, de acuerdo a los resultados de las lecturas de resistencia al pie de las estructuras.

Para la instalación de éste sistema de tierras se tomará en cuenta lo siguiente:

En terrenos rocosos se ejecutará una barrenación de 4 cm de diámetro por 3 m de longitud, y se rellenará con sulfato de magnesio grado industrial y en la superficie del terreno se hará un hueco alrededor, de 50 cm de diámetro y 50 cm de profundidad y se rellenará con 50% de sulfato de magnesio grado industrial y 50% de bentonita, compactándose y humedeciéndose con 20 litros de agua.



El electrodo para tierra se clavará en la barrenación rellena en el paso anterior.

El alambre Copperweld que unirá la bajada de tierra de los postes con los electrodos, se colocará a una profundidad de 1 m en terreno cultivable y, 0.50 m en terreno no cultivable, procurando que su trayectoria se localice en terreno blando no pedregoso, ejecutando una excavación que permita instalar el cable a las profundidades antes mencionadas.

Antes de cubrir el sistema de tierras se harán verificaciones para comprobar la eficiencia del sistema.

Tomando como base la ingeniería del sistema de tierras, se deben instalar las antenas de la longitud necesaria de acuerdo a lo siguiente:

En torres, una antena por cada pata de la estructura

En postes tronco piramidales, una antena a cada lado del poste en el sentido de la línea de Subtransmisión. En postes Morelos, una antena a cada lado del poste en el sentido de la línea de Subtransmisión.

Para la instalación de los sistemas de tierras se toman en cuenta las instrucciones siguientes:

la instalación del alambre o cable indicado en el Proyecto debe hacerse a una profundidad de 1m en terrenos cultivables y a 0.50 m en terrenos no cultivables.

El relleno, de preferencia, se debe hacer con el producto de la excavación, a menos que por sus condiciones eléctricas, sea necesario sustituirlo por material de las características adecuadas para garantizar una buena conexión a tierra.

En terrenos rocosos se procura seguir una trayectoria que permita su instalación sin llegar a la necesidad de romper la roca. En este tipo de suelos la profundidad para su instalación puede ser de 0.50 m o la que la Comisión considere conveniente previa autorización.



En el caso de no cumplirse lo anterior, entonces se debe ejecutar la excavación empleando para ello el método más económico posible efectuando el relleno con material susceptible de emplearse que se encuentre en las inmediaciones de la estructura.

Cuando sea necesario el uso de electrodos de tierra, estos se deben hincar en la forma más verticales posible y en caso de sufrir inclinaciones, no deben ser mayores de 30 grados y conectarse al alambre Copperweld por medio de conectores.

Cuando los electrodos, al ser hincados, no alcancen la profundidad necesaria por encontrarse en terreno duro o semiduro, se pueden sacar e intentar su colocación en las inmediaciones (de 30 a 50 cm).

La unión entre el alambre Copperweld y la estructura y en su caso el electrodo de Copperweld, debe hacerse por medio de conectores.

### **Medición**

La unidad de medida será por electrodo instalado (varilla o antena)

### **Cargos incluidos en el concepto**

- a) perforación, sopleteo, suministro y relleno de sulfato de magnesio y bentonita del barreno.
- b) Hincado del electrodo por golpeo en la perforación rellena con mezcla de sulfato de magnesio grado industrial y bentonita o tendido en el caso de antena.
- c) Excavación de hueco de 50 cm de diámetro y 50 cm de profundidad centrado sobre la perforación, incluye suministro de mezcla con relleno de sulfato de magnesio grado industrial y bentonita (25 Kg) y empapado con 20 l de agua.
- d) Excavación de zanjas hasta 20 m de la estructura, colocación de alambre Copperweld No. 4, conexiones, y relleno de las excavaciones.



e) Lo requerido para cumplir con esta especificación.

f) Medición de los valores de resistencia de tierra una vez que halla terminado la instalación del sistema de tierras y registrarlos en los formatos de Lectura de Tierras

### **4.3. Tendido, empalmado, tensionado y enclemado de cable de guarda AG 8(5/16).**

Consistió en la realización de maniobras en un espacio de 7 semanas que comprenden los meses de octubre - noviembre en el que se realizó el tendido, tensionado, enclemado, cerrar puentes del cable de guarda calibre AG 8 (5/16) A.R. permitiendo la realización del tendido en forma manual, es decir, sin tendido bajo tensión mecánica, conformándose por las subactividades siguientes:

- Traslado de carretes de cables de acero del campamento al sitio del tendido incluyendo las maniobras de carga y descarga, el peso a considerar para el traslado deberá ser sin carrete o tara.
- Colocación de poleas en las estructuras para el tendido. (Véase en la figura 60)
- Tendido y empalmado y tensionado del cable de acero con empalme preformado
- Enclemado y cerrar puentes.

En la integración del costo unitario, el contratista debe considerar los cargos siguientes para el desarrollo de esta actividad.

#### **4.3.1 Mano de obra**

la mano de obra calificada en la cantidad necesaria para la realización de las actividades mencionadas el tiempo programado y con la calidad requerida.



### 4.3.2 Equipo y Herramientas

**Vehículo:** el contratista debe considerar la utilización del tiempo necesario del vehículo o vehículos para recorrido campamento-bodega-campamento que se utiliza el vehículo para cargar, transportar y descargar todo el material de la bodega al campamento en sitio de los trabajos.

**Equipo:** debe considerar el costo del tiempo necesario que se requiere por concepto de equipos de tendido devanadora, tensionadora y las poleas que permitan una correcta ejecución de los trabajos.

**Herramientas:** debe considerar el porcentaje de la mano de obra que considere conveniente para absorber los costos de la herramienta.

#### **Tendido y tensado de cable de guarda**

##### **Descripción**

El tendido y tensado del cable de guarda consiste en colocar el cable indicado por CFE y herrajes necesarios en los extremos superiores de las estructuras, posteriormente tensar el cable para dejarlo a una altura determinada del suelo y conectarlo a las bajadas de tierra.

Para el tendido de cable de guarda se empleará hasta donde sea posible el método de tensión mecánica controlada, salvo que la Comisión indique lo contrario, en ningún caso los empalmes quedarán a menos de 25 m de la grapa.

En cada tramo en que se haya dividido el programa de tendido se comprobarán las flechas por lo menos en 3 claros, uno al centro y en los claros extremos, programando que serán los que más se aproximen al claro regla.



Se verificarán las flechas por el método de la tercera onda de retorno (el Residente de CFE deberá estar presente en estas verificaciones) y su resultado se reportará en una tabla con los datos siguientes:

- Nombre de la Línea y datos de calibres y voltaje.
- No. de estructuras (conforme a planos de Proyecto).
- Claro real en metros.
- Tiempo de retorno.
- Flecha calculada (por CFE).
- Temperatura ambiente.

### **Tolerancias**

Las pérdidas acreditadas de la longitud total utilizada incluyendo los puentes y catenarias, no deberán exceder los porcentajes siguientes:

Se admitirá el 1% de pérdidas y desperdicios inutilizables de cables (Tramos menores de 300 metros).

Se admitirá el 2% de desperdicios utilizables de cables de largo mayor de 300 m (tramos en buen estado).

Para fines de comprobación de conductor instalado, se aumentará la longitud de la línea en proyección horizontal en 3%, debido a catenarias y desniveles.

Se admitirá una tolerancia en flechas de Proyecto de  $\pm 1.5\%$  con límite máximo en valor absoluto de  $\pm 1$  m.

No se admitirán pérdidas en herrajes y empalmes, las cantidades faltantes que rebasen más las tolerancias indicadas, se pagarán de acuerdo a lo indicado en el Punto 6.9.



## Medición

Se medirá por kilómetro- hilo considerando la longitud de la Línea en proyección horizontal, con aproximación al centésimo de kilómetro

Se harán pagos parciales a los avances de acuerdo a lo siguiente: - 30% cuando se tenga el tendido. - 70% cuando se termine el tensionado, rematado y revisado.

## Cargos incluidos en el concepto

- a) La recepción, maniobras y acarreo hasta el sitio de la obra del cable, herrajes y accesorios, así como registros para fines de contabilidad de almacén.
- b) En tendido y tensionado del cable, así como la colocación de los accesorios de acuerdo con los planos y especificaciones.
- c) Devolución de material sobrante y carretes vacíos al almacén de la Comisión.
- d) Verificación y reporte de flechas con el método de la tercera onda de retorno.
- e) Lo requerido para cumplir con esta especificación.

### 4.5. Retiro de hilo de guarda en operación cable (5/16) un hilo en la línea de 115 kv.

Esta actividad consistió en la realización de maniobras para el retiro de guarda calibre AG 8 (5/16). las actividades se realizarán con tal cuidado de no afectar a terceros, conformándose por las subactividades siguientes:

- Traslado de cable de hilo de guarda de la obra al campamento del contratista o la bodega de C.F.E. quedando el material bajo resguardo y cuidado del contratista.
- Maniobra para el retiro de hilo de guarda.

Lo antes mencionado se iniciará el mes de noviembre y finalizará durante el mes de enero.





En la integración del costo unitario, el contratista debe considerar los cargos siguientes para el desarrollo de esta actividad.

**Mano de obra:** la mano de obra calificada en la cantidad necesaria para la realización de las actividades mencionadas el tiempo programado y con la calidad requerida.

**Equipo y Herramienta:**

**Vehículo:** el contratista debe considerar la utilización del tiempo necesario del vehículo o vehículos para recorrido campamento-bodega-campamento que utiliza el vehículo para cargar, transportar y descargar todo el material de la obra al campamento o bodega de C.F.E

**Equipo:** debe considerar el costo del tiempo necesario que se requiere por concepto de equipos para retiro (poleas) que permitan una correcta ejecución de los trabajos. (Véase en la figura 63)

**Herramientas:** debe considerar el porcentaje de la mano de obra que considere conveniente para absorber los costos de la herramienta.

**4.5.1. Instalación de bajante de hilo de guarda a sistema de tierra incluye aterrizamiento de hilo de guarda**

Consistió en la ejecución de instalación de bajante de hilo de guarda a sistema de tierra incluyendo el aterrizamiento del hilo de guarda al sistema de tierra. Debe considerarse que la unidad de medida será la pieza y se dará por terminada para su estimación cuando el bajante de hilo de guarda esté conectado al sistema de tierras. Por lo que se pretende instalar el bajante durante el mes de noviembre.

En la integración del costo unitario, el contratista debe considerar los cargos siguientes para el desarrollo de esta actividad.



## **Materiales:**

- Conexión soldable por termofusión de alambre ACS-4 a varilla de tierra, 1 pieza.
- Conexión soldable por termofusión de alambre ACS-4 a superficie plana, 1 pieza.
- Molde cadweld según requiera (50 usos) como mínimo, 2/50 piezas.
- Carga cadweld según requiera, 2 piezas.
- Manija, chispero, carda etc. (50 usos) como máximo, 2/50 pieza.

**Mano de obra:** la mano de obra calificada en la cantidad necesaria para la realización de las actividades mencionadas el tiempo programado y con la calidad requerida por la C.F.E.

## **Equipo y herramienta:**

**Vehículo:** el contratista deberá considerar la utilización del tiempo necesario del vehículo o vehículos para trasladar y regresar al personal y el material que será instalado.

**Herramienta:** en este reglón el licitante debe considerar el porcentaje del costo de mano de obra adecuado, para resarcir el gasto de herramientas utilizado para esta actividad.

**Equipo:** en este caso de considerarlo conveniente, el licitante deberá considerar en este reglón el costo por el tiempo utilización del equipo de medición adecuado, para el desarrollo de la actividad.

*Para fortalecer lo ya mencionado cabe mencionar lo que la norma NORMAS DE LINEAS AEREAS 2004 PE-D1210-DAC20001.*

## **Descripción**

Consiste en hacer lecturas de resistencia de tierra de cada estructura, conforme a la especificación CFE 00JL0- 28, una vez que fueron concluidas



con su sistema de tierra normal y con esta medición se determinará si se requiere el mejoramiento.

### **Ejecución**

con el sistema normal de tierras indicado en los planos de montaje y de detalle, se hará una lectura con el equipo medidor de tierras (Megger de tierras) usando el método de la caída de potencial o del medidor de alta frecuencia. Esta serie de pruebas se harán las veces que sean necesarias conforme cambien las características del terreno.

las lecturas se harán en cada estructura y se tabularán en un formato indicando:

- Nombre de la línea y sus características.
- No. de la estructura conforme a planos de Proyecto.
- Distancia a electrodo "P", dependiendo del método utilizado.
- Distancia a electrodo "C", dependiendo del método utilizado.
- Valor de resistencia
- Condiciones del terreno (seco, húmedo, inundado, etc.)
- Tipo de terreno encontrado (arenoso, calichoso, arcilla, roca, etc.)
- Temperatura ambiente.
- Fecha

Los resultados serán entregados al Residente quién indicará si se requieren lecturas adicionales dependiendo de los valores reportados.

### **Medición.**

Se estimará por estructura a la que se le haya hecho medición. No se estimarán las estructuras que se requieran medir nuevamente por errores o discrepancias causadas por fallas del equipo o procedimientos de lectura. En el caso de



estructuras tipo "H" se requiere unir eléctricamente los postes para tomar la lectura de tierra.

### **Cargos incluidos en el concepto**

- a) Desconexión y conexión del cable de guarda en caso de estar conectado en el momento de hacer la lectura, dependiendo del método utilizado.
- b) Unión eléctrica de los postes en caso de estructuras tipo "H"
- c) Toma de lectura con equipo portátil especial para medición de tierras (Megger de Tierras), incluyendo suministro de equipos y accesorios para la medición.
- d) Serie de pruebas que sean necesarias, para determinar las distancias adecuadas a la que se colocarán los electrodos "P" y "C" en cada estructura, dependiendo del método utilizado.
- e) Elaboración y entrega del reporte.
- f) Lo requerido para cumplir con esta especificación.

### **4.6 Sistema de tierras normal.**

#### **Descripción.**

El sistema de tierras para líneas de Subtransmisión consiste en la instalación de un electrodo, el cual debe estar conectado a la estructura con los conectores del tipo fundido ó mecánicos y conforme a la especificación CFE 00JL0-28.

deberán hincarse en los extremos del alambre electrodos de tierra para reducir la resistencia del sistema de tierras, la cual no debe ser mayor a 10 ohms, medidos durante la temporada de estiaje o secas.

#### **Ejecución**



Para el caso de los postes de concreto o madera el electrodo debe ser de alambre con cobre soldado (copperweld) arrollado en la parte inferior de la estructura que se enterrara en el terreno.

Para el caso de los postes de acero Morelos o tubular, el electrodo debe ser de varilla coperweld directamente hincada en la parte inferior de la cepa y conectada a la estructura con conector fundido a través de cable de cobre desnudo protegido con manguera, para evitar el contacto con el acero de refuerzo de la cimentación.

Para el caso de torres de acero el electrodo debe ser de varilla coperweld directamente hincada en la parte inferior de cada una de las cepas de cada pata y conectadas a la estructura con conector fundido a través de cable de cobre desnudo protegido con manguera, para evitar el contacto con el acero de refuerzo de la cimentación.

La unión entre el alambre Copperweld y la estructura y en su caso a la varilla Copperweld, debe hacerse por medio de conectores del tipo fundido ó mecánicos.

### **Medición**

La unidad de medida para estimación es por electrodo instalado.

### **Tolerancias**

Sin tolerancia.

### **Cargos incluidos en el precio unitario.**

- a) Colocación del electrodo.
- b) Las conexiones a la estructura con conectores del tipo fundido ó mecánico.
- c) El equipo, mano de obra, herramientas, etc., que se requieran para la ejecución de los trabajos.
- d) La devolución del material sobrante al almacén.



## **4.7 Sistema de tierras mejorado.**

### **Descripción**

En algunos terrenos es necesario instalar varillas de tierra adicionales al sistema normal marcado en los planos, lo cual se determina mediante las lecturas de resistencia de tierra al pie de la estructura, conforme a la especificación CFE 00JL0-28.

Después de recibir el reporte de lecturas de tierra, el Residente de CFE informará al Contratista aquellas estructuras que requieren bajar su resistencia, usando electrodos normales de tierra a base de sistemas mejorados con sulfato de magnesio grado industrial y bentonita.

### **Ejecución**

La comisión indicará en cuales estructuras se instalará el sistema de tierras adicional, en dicará en cuales estructuras se instalará el sistema de tierras adicional, en caso que se requiera, el número de electrodos que se hincará y la distribución de los mismos, de acuerdo a los resultados de las lecturas de resistencia al pie de las estructuras.

Para la instalación de este sistema de tierras se tomará en cuenta lo siguiente:

En terrenos rocosos se ejecutará una barrenación de 4 cm de diámetro por 3 m de longitud, y se rellenará con sulfato de magnesio grado industrial y en la superficie del terreno se hará un hueco alrededor, de 50 cm de diámetro y 50 cm de profundidad y se rellenará con 50% de sulfato de magnesio grado industrial y 50% de bentonita, compactándose y humedeciéndose con 20 litros de agua.

El electrodo para tierra se clavará en la barrenación rellena en el paso anterior.



El alambre Copperweld que unirá la bajada de tierra de los postes con los electrodos, se colocará a una profundidad de 1 m en terreno cultivable y, 0.50 m en terreno no cultivable, procurando que su trayectoria se localice en terreno blando no pedregoso, ejecutando una excavación que permita instalar el cable a las profundidades antes mencionadas.

Antes de cubrir el sistema de tierras se harán verificaciones para comprobar la eficiencia del sistema.

Tomando como base la ingeniería del sistema de tierras, se deben instalar las antenas de la longitud necesaria de acuerdo a lo siguiente:

En torres, una antena por cada pata de la estructura.

En postes tronco piramidales, una antena a cada lado del poste en el sentido de la línea de Subtransmisión.

En postes Morelos, una antena a cada lado del poste en el sentido de la línea de Subtransmisión.

Para la instalación de los sistemas de tierras se toman en cuenta las instrucciones siguientes:

La instalación del alambre o cable indicado en el Proyecto debe hacerse a una profundidad de 1m en terrenos cultivables y a 0.50 m en terrenos no cultivables.

El relleno, de preferencia, se debe hacer con el producto de la excavación, a menos que por sus condiciones eléctricas, sea necesario sustituirlo por material de las características adecuadas para garantizar una buena conexión a tierra.

En terrenos rocosos se procura seguir una trayectoria que permita su instalación sin llegar a la necesidad de romper la roca. En este tipo de suelos la profundidad para su instalación puede ser de 0.50 m o la que la Comisión considere conveniente previa autorización.



En el caso de no cumplirse lo anterior, entonces se debe ejecutar la excavación empleando para ello el método más económico posible efectuando el relleno con material susceptible de emplearse que se encuentre en las inmediaciones de la estructura.

Cuando sea necesario el uso de electrodos de tierra, estos se deben hincar en la forma más verticales posible y en caso de sufrir inclinaciones, no deben ser mayores de 30 grados y conectarse al alambre Copperweld por medio de conectores.

Cuando los electrodos, al ser hincados, no alcancen la profundidad necesaria por encontrarse en terreno duro o semiduro, se pueden sacar e intentar su colocación en las inmediaciones (de 30 a 50 cm).

La unión entre el alambre Copperweld y la estructura y en su caso el electrodo de Copperweld, debe hacerse por medio de conectores.

### **Medición**

La unidad de medida será por electrodo instalado (varilla o antena).

### **Cargos incluidos en el concepto**

a) Perforación, sopleteo, suministro y relleno de sulfato de magnesio y bentonita del barreno.

b) Hincado del electrodo por golpeo en la perforación rellena con mezcla de sulfato de magnesio grado industrial y bentonita o tendido en el caso de antena.

c) Excavación de hueco de 50 cm de diámetro y 50 cm de profundidad centrado sobre la perforación, incluye suministro de mezcla con relleno de sulfato de magnesio grado industrial y bentonita (25 Kg) y empapado con 20 l de agua.

d) Excavación de zanjas hasta 20 m de la estructura, colocación de alambre Copperweld No. 4, conexiones y relleno de las excavaciones.

e) Lo requerido para cumplir con esta especificación



f) Medición de los valores de resistencia de tierra una vez que haya terminado la instalación del sistema de tierras y registrarlos en los formatos de Lectura de Tierras.

### Medición de resistividad del subsuelo

Para medir la resistividad del subsuelo, se debe utilizar el método de “Wenner” ilustrado en el Apéndice A de esta especificación. Se debe medir la resistividad del subsuelo colocando el instrumento de medición en el centro de la estructura (mojonera) y los electrodos verticales se deben colocar paralelos al sentido de la línea de transmisión aérea, con una separación de 1,6 m para la primera medición y 3,2 m para la segunda medición (véase figura 21). Cuando no sea práctico colocar los electrodos verticales paralelos al sentido de la línea de transmisión aérea, la medición se puede realizar en sentido perpendicular.

Los valores medidos deben registrarse en el formato F1 del Apéndice F de esta especificación y el valor final de resistividad recomendada de diseño debe estimarse de acuerdo a lo indicado en el párrafo 4.17.

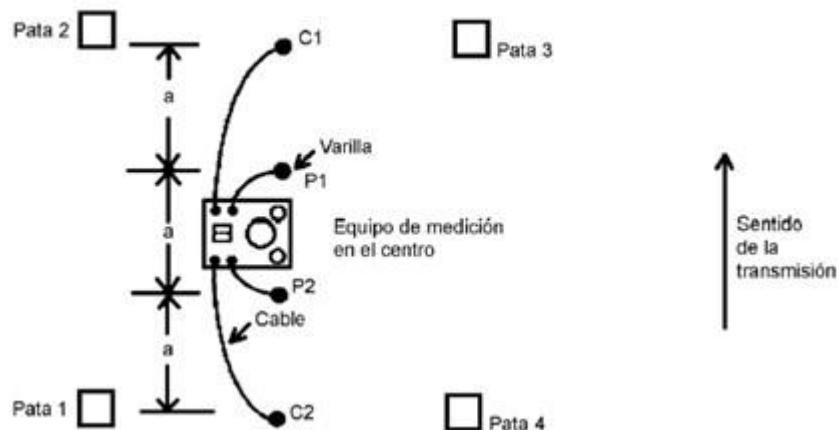


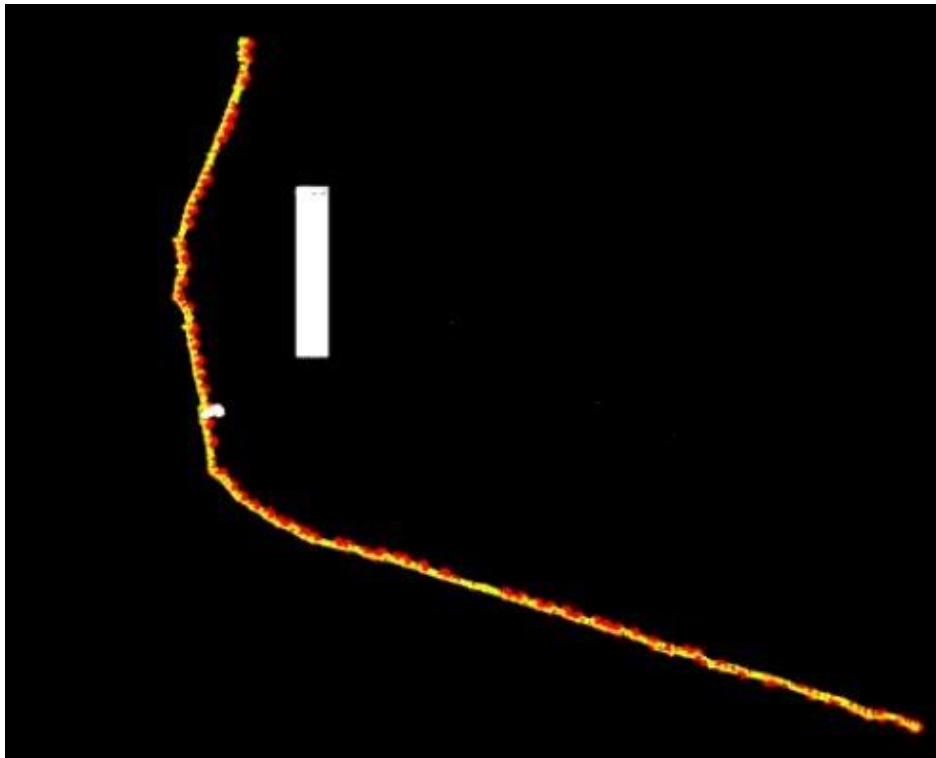
Figura 21 - Medición de la resistividad del subsuelo (vista de planta)

## CAPÍTULO V. Resultados y Conclusiones.

### Resultados.

#### Plano de Seguimiento

En esta imagen se muestra los ajustes realizados en el tramo de la línea TNQ-73410-LCJ



*Figura 22 - plano de la línea de Subtransmisión, tramo TNQ-73410-LCJ*

En este formato de coordenadas se dio continuación del plano para la mejora del tramo *TNQ-73410-LCJ*

TABLA 12 coordenadas del tramo TNQ-73410-LCJ

No ESTRUCTURA	TIPO	APARTARRAYOS	TIPO	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
				LATITUD	LONGITUD
S. E					
1	MORELOS III			17º 49' 58.2"	092º 36' 25.0"
2	TAR 30º			17º 49' 56.6"	092º 36' 25.3"
3	TAS	3	ALEA	17º 49' 42.1"	092º 36' 26.8"
4	TAS			17º 49' 29.5"	092º 36' 29.0"
5	TAR 30º			17º 49' 19.6"	092º 36' 31.1"
6	TAS			17º 49' 07.9"	092º 36' 36.2"
7	TAS			17º 48' 57.2"	092º 36' 40.4"
8	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 48' 46.4"	092º 36' 45.1"
9	TAS			17º 48' 36.7"	092º 36' 48.9"
10	TAS			17º 48' 25.5"	092º 36' 53.5"
11	TAS			17º 48' 12.7"	092º 36' 59.0"
12	TAS			17º 48' 00.7"	092º 37' 04.0"
13	TAS			17º 47' 47.3"	092º 37' 09.6"
14	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 47' 34.9"	092º 37' 16.3"
15	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 47' 21.1"	092º 37' 20.3"
16	TAR 30º	3	PROTECTO-LITTE	17º 47' 07.3"	092º 37' 26.1"
17	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 46' 55.4"	092º 37' 24.4"

Continuación de la tabla de coordenadas

18	TAR 30°	3	PROTECTO-LITTE	17º 46´ 45.5"	092º 37´ 22.7"
19	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 46´ 33.8"	092º 37´ 25.1"
20	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 46´ 19.2"	092º 37´ 27.8"
21	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 46´ 07.7"	092º 37´ 19.5"
22	TAD 60°	3	PROTECTO-LITTE	17º 45´ 00.1"	092º 37´ 10.5"
23	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 45´ 50.2"	092º 37´ 01.0"
24	TAS			17º 45´ 33.1"	092º 37´ 55.1"
25	TAR 30°			17º 45´ 23.1"	092º 37´ 35.1"
26	TAS			17º 45´ 08.1"	092º 37´ 20.1"
27	TAS			17º 44´ 32.8"	092º 37´ 05.0"
28	TAS			17º 44´ 30.3"	092º 37´ 02.6"
29	TAS			17º 44´ 14.4"	092º 36´ 59.6"
30	TAS			17º 44´ 00.4"	092º 36´ 57.5"
31	TAR 60°			17º 43´ 48.5"	092º 36´ 56.1"
32	TAS			17º 43´ 44.0"	092º 36´ 47.9"
33	TAS			17º 43´ 38.5"	092º 36´ 38.0"
34	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 43´ 26.7"	092º 36´ 32.7"
35	TAS			17º 43´ 22.4"	092º 36´ 17.9"
36	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 43´ 11.5"	092º 36´ 08.0"
37	TAS	3	PROTECTO-LITTE	17º 43´ 01.0"	092º 35´ 56.6"



Continuación de la tabla de coordenadas

38	TAS			17° 43' 00.3"	092° 35' 46.3"
39	TAS			17° 43' 01.7"	092° 35' 22.6"
40	TAS			17° 42' 50.5"	092° 35' 23.6"
41	TAR 30°			17° 42' 49.87"	092° 35' 11.4"
42	TAS			17° 42' 45.4"	092° 35' 06.0"
43	TAS			17° 42' 42.6"	092° 34' 54.5"
44	TAS			17° 42' 38.6"	092° 34' 42.0"
45	TAS			17° 42' 35.2"	092° 34' 32.3"
46	TAS	3	ALEA	17° 42' 34.8"	092° 34' 23.3"
47	TAS			17° 42' 29.0"	092° 34' 12.9"
48	TAS	3	ALEA	17° 42' 30.3"	092° 34' 05.8"
49	TAS			17° 42' 21.9"	092° 33' 49.6"
50	TAS			17° 42' 18.6"	092° 33' 30.8"
51	TAS	3	ALEA	17° 42' 16.1"	092° 33' 18.8"
52	TAS			17° 42' 10.8"	092° 33' 04.5"
53	TAS	3	ALEA	17° 42' 07.5"	092° 32' 52.8"
54	TAS			17° 42' 02.0"	092° 32' 35.0"
55	TAS	3	ALEA	17° 41' 56.9"	092° 32' 18.8"
56	TAS			17° 41' 52.8"	092° 32' 07.6"
57	TAS			17° 41' 48.9"	092° 31' 52.7"





Continuación de la tabla de coordenadas

58	TAS	3	ALEA	179 41' 45.2"	0929 31' 40.5"
59	TAS	3	ALEA	179 41' 41.0"	0929 31' 27.3"
60	TAS	3	ALEA	179 41' 37.3"	0929 31' 15.5"
61	TAS			179 41' 34.5"	0929 31' 15.5"
62	TAS	3	ALEA	179 41' 30.0"	0929 30' 51.0"
63	TAS			179 41' 27.1"	0929 30' 41.0"
64	TAS			179 41' 23.2"	0929 30' 28.4"
65	TAS			179 41' 19.7"	0929 30' 17.6"
66	TAS			179 41' 13.2"	0929 30' 06.5"
67	TAS	3	ALEA	179 41' 12.0"	0929 29' 53.5"
68	TAS			179 41' 09.8"	0929 29' 44.8"
69	TAS			179 41' 02.4"	0929 29' 32.0"
70	TAS	3	ALEA	179 41' 01.2"	0929 29' 19.2"
71	TAS	3	ALEA	179 40' 57.9"	0929 29' 06.6"
72	TAS	3	ALEA	179 40' 54.6"	0929 28' 57.9"
73	TAS			179 40' 49.5"	0929 28' 39.8"
74	TAS			179 40' 46.0"	0929 28' 29.2"
75	TAS			179 40' 43.8"	0929 28' 19.8"
76	TAS			179 40' 40.4"	0929 28' 09.5"
77	TAS	3	ALEA	179 40' 31.4"	0929 27' 57.7"

En la tabla siguiente se mencionas algunas torres que tuvieron críticas, fueron 10 estructuras que se le dio su mejora y sus mantenimientos al sistema de tierra que fueron predictivo, preventivos y correctivo. (véase en la tabla 13).

*Tabla 13. Estructuras en malas condiciones de sistema de tierra.*

No. De estructura	Coordenadas geográficas Latitud longitud	Antes	Después
4	17° 49´ 29.5" 092° 36´ 29.0"	Patas deterioradas, figura 37.	Relevo del tramo de material que sostiene la torre, figura 38.
10	17° 48´ 25.5" 092° 36´ 53.5"	fierros laterales en la extensión de la torre, suelta de la pata que sostiene la cimentación por corrosión, figura 39.	sustitución del material, del tramo que sostiene la patas en la extensión de las torres, figura 40.
17	17° 46´ 55.4" 092° 37´ 24.4"	Daño en las patas, figura 41.	Colocación de otro pedazo del tramo para ser refuerzo a la pata corroída, figura 42.
19	17° 46´ 33.8" 092° 37´ 25.1"	Cimentación, figura 43.	Reconstrucción de la cimentación, figura 44.



*Figura 22 – limpieza de unas bases de la torre*



*Figura 23 – limpieza de una base de la torre*



*Figura 24 – limpieza de una base de la torre*





*Figura 25 – Tendido de la Línea para sistema de tierra de la torre*



*Figura 26 – excavación para colocar línea para sistema de tierra de la torre*

Concluyendo con la mejora en la línea de Subtransmisión, de la línea *TNQ-73410-LCJ*, Con el paso de los 4 meses que se fue realizando el proyecto se fueron cambiando los elementos que conforman las líneas de Subtransmisión que son:

- Los aisladores
- Los apartarrayos

Estos elementos son importantes porque ayudan a proteger contra los rayos, y sostener a las fases que son las líneas de 115 kv, pero tienen algunas desventajas por qué; también provocan fallas que son las interrupciones, debido que también se le tiene que brindar los tres tipos de mantenimientos que se mencionaron al principio.

A continuación, se mencionarán algunas situaciones sobre fallas que puede presentar en las líneas de Subtransmisión. En aisladores se encuentran cuando están contaminados por el excremento de aves (véase en la figura 26) y flameos (véase en la figura 26 y 27), también en las estructuras se encuentran otro problema que provocan fallas que son las enredaderas (véase en la figura 29).



*Figura 27*



*Figura 28*



*Figura 29*





## CÁLCULO

### **RESISTIVIDAD DEL SUELO.**

***Línea de Subtransmisión del tramo TNQ-73410-LCJ. Ejemplo de cómo se realizaron los cálculos de resistividad para las estructuras de este tramo, ejemplo de la estructura 17***

Método de "Wenner" o de los 4 electrodos para la medición de la resistividad del subsuelo.

**Formula:**  $\rho=2\pi aR$

Donde:

$\rho$ = resistividad del subsuelo en  $\Omega.m$ .

$\pi$ = 3.1416.

$a$ = separación entre electrodo en m.

$R$ = resistencia medida en  $\Omega$ .

**Datos:**

$a$ : 1.6 m

$R$ : 3  $\Omega$ . (datos proporcionados con el equipo).

**Ecuación**  $\rho=2 \pi (1.6m) (3\Omega) =30.15 \Omega.m$ .

El tipo de suelo que se presentó en el área de trabajo en la medición de sistema de tierra de la estructura 17 del tramo TNQ-73410-LCJ. El sitio donde se realizó la prueba, es de arena pura y se verifico con la tabla que CFE que nos proporcionaron. (véase en la tabla 14).

Tabla 14. Resistividad del suelo

Material Natural del Suelo	profundidad al centro del anclaje			
	0.60 m	0.90m	1.20m	1.50 m
	$\sigma(\text{kg/cm}^2)$			
Pantanosos, Turba	0			
Tierra vegetal, rellenos	Hasta 0,5			
Relleno de Arena	Hasta 1,5			
Arcilla Plástica	0.5	0.8	1.2	1.5
Arena Arcillosa	1.5	2	2.2	2.5
Arena Pura	2	2.2	2.6	3
Arena Gruesa	2	3	4	4.5
Arcilla Compacta, Tosquilla	3	4	5	6
canto rodado	5	5.2	5.6	6
Roca Poco Resistente, Grez	7	10	13	15
Roca	20	24	28	30



## **Conclusiones y Recomendaciones.**

Este proyecto llevo a cabo el estudios y aplicación del sistema de tierra en las líneas de transmisión esto con la finalidad de proporcionar protección en cada unas de las torres de las líneas de transmisión.

Lo cual tiene como objetivo principal proporcionar mayor confiabilidad a las líneas de transmisión en cuestión, donde se presenta situaciones como las siguientes:

- Estén ubicadas en zonas con alta densidad de rayos a tierra (altos niveles ceraunicos).
- Rutas criticas (localización de torres en altas montañas o claros muy grandes).
- Valor elevado de resistencia al pie de la torre.
- Torres de gran altura.

Esto Contribuye a la mejora sobre la línea del tramo TNQ-**73410-LCJ**, lo cual tendrá un mejor servicio en el tramo ya que se le dio un factor muy importante que fue la realización del mantenimientos y reconstrucciones de los sistemas de tierras que estaban en críticos fallas, esto facilitara y evitara la menor interrupción de flujo constante de corriente y sobre todo mejora el suministro de la energía que se le brinda al público, para que no afecte los indicadores que le perjudica a CFE.



## Referencias Bibliográficas

### LIBROS

CFE. (2016). Lineamientos para la creación de nuevas áreas de redes de distribución. Mexico.

YEBRA, J. (2009). *Sistemas eléctricos de distribución*. MEXICO D.F.: REVERTE.

RAMIREZ CASTAÑO, S. (2004). Capítulo 1. Conceptos Fundamentales. En *Redes de Distribución de Energía* (págs. 1-18). COLOMBIA: SEDE MANIZALES.

CFE. (Febrero de 2014). Construcción de Instalaciones Aereas de Media y Baja Tension. Mexico.

Zúñiga Tabares, F. A. (21 de Marzo de 2019). Proyecto para el diseño de la red de media y baja tensión para la hacienda el Limoncito de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Castillo Herrera, M. M. (Junio de 2014). Sistema de protección contra descargas atmosféricas. D.F., Mexico.

Obando Delgado, J. C., & Sanchez, L. A. (Febrero de 2016). "Diseño y presupuesto de una red de media tensión utilizando las normas enel para la comunidad El Obraje". Managua.