

# **CAPÍTULO I**

## **ESTUDIO DEL SISTEMA DE APANTALLAMIENTO PARA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE LA LÍNEA TRIFÁSICA DE INTERCONEXIÓN ENTRE LA SUBESTACIÓN SAN RAFAEL Y LA CENTRAL DE GENERACIÓN EL ESTADO PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI.**

### **1.1. ANTECEDENTES.**

La línea trifásica de interconexión entre la subestación San Rafael y la Central de Generación El Estado, es una de las principales vías de abasto de energía a los sectores rurales de la parte occidental del Cantón Pujilí. Las muy frecuentes salidas de servicio de la misma, debido a sobrevoltajes de origen atmosférico, ponen en manifiesto la necesidad del estudio del sistema de apantallamiento.

El mismo que pretende identificar las posibles causas y así poder realizar los correctivos adecuados.

### **1. 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

#### **1.2.1. EL FENÓMENO DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

Los rayos son la causa del mayor número de sobrevoltajes en las líneas de distribución, ya sean estas producidas por descargas directas o por inducción. Sea

cual fuese la manera en que el sobrevoltaje se genere en la línea, es seguro que las descargas atmosféricas seguirán afectando a los sistemas de transmisión.

Con el experimento de Benjamín Franklin, hace 200 años, el mismo que con una cometa, demostró la presencia de electricidad en los rayos.

El mismo que fue usado para medir la intensidad de las precipitaciones o de las características del canal de descarga del rayo. Otros importantes equipos de medición son las antenas para el análisis del campo electrostático y acoplamiento magnético, oscilógrafos para el análisis de la descarga de corriente.

Existen algunas teorías sobre el origen de los rayos, características y sus efectos sobre las Líneas de Eléctricas.

### **1.2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES.**

Según WAGNER y MCCANN (1972: Pág. 542), “la manifestación física de los relámpagos ha sido desde tiempos remotos, pero solo recientemente han sido comprendidos. Franklin en sus experimentos eléctricos entre 1740 y 1750, tuvo éxito en identificar a los relámpagos como electricidad estática, en esos tiempos. Más allá de su pequeño logro aprendió hasta después de 35 años. El incentivo real a obtener un conocimiento adicional y necesariamente proteger de sus efectos a la industria eléctrica”.

Como las líneas de transmisión extensas fueron construidas, la necesidad de reducción de cortes debido a los relámpagos se hace más grave. Extensamente a través de la cooperación de la utilidad, manufactura y a través del uso de instrumentos especiales tales como: el Klidonógrafo, Rayos Catódicos, Oscilógrafo, Cámara, información de un carácter muy valioso ha sido obtenido considerando mecanismos de rayos, el voltaje y corrientes asociadas con relámpagos.

Se estima que en la tierra existen aproximadamente 2000 tormentas y cerca de 100 rayos que se descargan sobre la tierra cada segundo. En total representa unas 4000 tormentas diarias y unos 9 millones de descargas atmosféricas cada día.

No es factible ni rentable proteger un circuito de un rayo directo pero si es posible la protección de circuitos contra los efectos del 95% de las descargas y contra sus efectos secundarios, que se estima en voltajes de más de 5 kV y corrientes de unos 6 kA. La longitud media de un rayo es de 3 Km.

Los relámpagos se han manifestado desde hace mucho tiempo, pero recién han sido comprendidos. Franklin descubrió que los relámpagos son electricidad estática, con ello obtuvo un conocimiento adicional y la necesidad de proteger de sus efectos a las industrias eléctricas.

Con la construcción de las líneas de transmisión más extensas, se hace más grave la reducción de cortes debido a los relámpagos. Aportando con instrumentos especiales e información muy valiosa. Considerando mecanismos de los rayos a voltajes y corrientes que son asociadas a los relámpagos.

### **1.2.3. FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS DESCARGAS.**

A pesar del gran interés por conocer la manera de cómo se genera la carga en la nube, existen varias teorías para explicar su progresión, a continuación alguna de estas:

La teoría de Wilson, según WAGNER y MCCANN (1972: Pág. 542), establece “la existencia de campos durante el momento exacto. En tales campos bien podría ser polarizada por inducción. La carga superior adquiere una carga negativa y las del sitio más bajo carga positiva”, ver el anexo 1.

Los iones negativos tienden a ser atraídos y los iones positivos repelidos, como resultado de esta acción, las partículas acumuladas son de carga negativa.

La carga original, la cual fue distribuida al azar, produce un espacio de carga neutral, las gotas grandes portan la carga negativa hacia las partes bajas de la nube y las pequeñas retienen la carga positiva en la parte superior de la nube.

De acuerdo a esta teoría, la parte más baja de la nube está cargada negativamente y la parte superior positivamente. La distribución de la carga eléctrica es presentada diagramáticamente en el anexo 2., el mismo que muestra de forma detallada lo expuesto.

En resultados investigados en sistemas eléctricos, aproximadamente el 90% de todos los rayos bajan con carga negativa a los sistemas de transmisión.

La carga positiva en la parte superior de la nube, aumenta el campo positivo cuando el rayo se choca con la tierra. La carga negativa contenida en la parte media baja de la nube produce campos negativos, excepto donde la concentración de la electricidad tenga campos positivos.

El porcentaje de frecuencia de las curvas de potencial positivo se muestra en el anexo 3. Esto indica que la aproximación y recesión de la tormenta usualmente está acompañada por curvas negativas durante un tiempo.

El centro de la nube produce curvas negativas.

### **1.2.3.1. RAYOS.**

El rayo es una poderosa descarga electrostática natural producida durante una tormenta eléctrica, acompañada por la emisión de luz (el relámpago).

La electricidad que pasa a través de la atmósfera, se calienta y se expande rápidamente en el aire, produciendo el sonido característico del trueno.

El rango de la corriente máxima de un rayo, de acuerdo a AYORA Paúl (1995: Pág. 1), “va de: 1 a 220 kiloamperios. Pero la mayoría está en el rango de 5 a 100 kiloamperios y promedio de 20 kiloamperios”.

Además expresa que: “La duración de la corriente varía de 20 microsegundos a unos pocos milisegundos. En general, las mayores corrientes son de menor duración”.

#### **1.2.3.1.1. MECANISMO DEL RELAMPAGO.**

Según COOPER Power Systems (Pág. 12), “el rayo empieza a formarse con el proceso de separación entre partículas con carga positiva y partículas con carga negativa que se producen en las nubes”. Para que se produzca el rayo es necesario un proceso desencadenante.

Comienza con una descarga guía, una pista luminosa de electrones que se mueven desde la nube hacia el suelo (hacia otra nube o hacia una parte de la misma nube), ramificándose durante el recorrido.

La formación de tales ramas de descarga es compleja, un proceso de aceleración de electrones realiza la ionización de moléculas de gas, que a la vez da resultado en el disparo de nuevos electrones.

El anexo 4, ilustra la progresión y el lapso de tiempo en que se realiza el golpe en cada paso. El proceso puede repetirse una y otra vez apareciendo ante los ojos como un solo relámpago, siendo realmente ejecutado por varios golpes.

Los anexos 5, 6 y 7, resumen el proceso de la descarga que se ha descrito y se identifica como un relámpago negativo, puesto que se irradia desde una nube con carga negativa.

#### **1.2.3.1.2. EL TRUENO.**

El trueno es la señal acústica generada por un canal de aire caliente que se expande rápidamente, se puede extraer información sobre la localización, tamaño y orientación del rayo.

Una teoría aceptada del trueno y sus principales rasgos, solo existe desde hace unos 25 años.

El aire en el canal de la descarga se calienta y se expande en forma de una onda de choque. Posteriormente esta onda se vuelve energía acústica produciéndose el trueno. Cada componente del rayo (el líder escalonado, los líderes rápidos y las descargas de retorno), contribuyen al trueno. Los componentes más energéticos producen las frecuencias más bajas del sonido, estas frecuencias bajas se atenúan menos que las altas ya que en la atenuación es proporcional al cuadrado de la frecuencia, por ello un rayo no muy energético puede no oírse a 10 kilómetros.

El estudio del trueno ha perfeccionado los conocimientos que ya se tenían sobre el rayo y constituye un elemento fundamental para el estudio de las descargas entre las nubes y del canal de la descarga en el interior de una nube donde los medios visuales no pueden suministrar información.

El siguiente anexo 8, muestra la evolución de la descarga eléctrica, la cual tiene una duración promedio de 0.32 segundos.

#### **1.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS.**

Al impactar la descarga “de retorno” en la línea de transmisión, produce corrientes altísimas que aumentan en unos pocos microsegundos.

La duración media de una descarga es de aproximadamente 30 microsegundos, la potencia media por rayo es de unos  $10^{13}$  W. Cada rayo consta de 4 descargas por término medio separadas unos 40 ms.

Usualmente los rayos empiezan en la base de la nube en un punto cuyo campo eléctrico es del orden de los 30000V/m. Cada componente del rayo solo dura decimas de segundos.

Se presentan corrientes pico entre 20 y 200 kA, aunque estas últimas son muy raras. La probabilidad de que se produzca una descarga mayor o igual a una determinada magnitud de corriente se puede observar en el anexo 9.

Para el comportamiento del sistema ante la descarga, es importante la rampa de aumento de la corriente proveniente del rayo. Puesto que esta crece en forma lineal desde cero hasta un valor pico en un tiempo determinado, allí durante un instante y luego decrece lentamente hasta llegar a cero.

#### **1.2.5. NIVELES CERÁUNICOS.**

El nivel cerámico de la zona en estudio; se define como número de días al año en el cual se ha percibido la caída de un rayo, al menos una vez durante esas 24 horas.

Los niveles cerámicos se suele llevar a mapas isocerámicos, es decir a mapas con curvas de nivel cerámico. La figura 1., muestran la densidad de descarga a tierra, en el país específicamente entre 20 tormentas con descargas al año.

A pesar que los mapas no dan una indicación de las intensidades, duración, extensión, pero sí un número tormentas ocurridas, constituyendo datos relevantes de información registrada.

Varían ampliamente de año a año y para sistemas en regiones diferentes. Los relámpagos en algunos sistemas dependen de la ubicación topográfica para que predomine la tormenta un ejemplo de esto se presenta en el anexo 10.

**FIGURA 1.**

SE OBSERVA EL MAPA DE LÍNEAS ISOCERÁUNICAS DEL ECUADOR.



**FUENTE:** Instituto Ecuatoriano de Electrificación

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

### **1.3. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.**

El número de descargas para una línea de un nivel isocerámico dado, no es conocido actualmente con mucha certeza.

“El problema es de naturaleza estadística, en los cuales este número se encuentra determinadamente, dan solo una aproximación al valor medio de la distribución”, según MEJÍA Antonio (2008: Pág. 15).

#### **1.3.1. DENSIDAD DE DESCARGAS.**

A partir de una densidad de descargas (número de descargas / Km<sup>2</sup>) uniforme para una región con nivel cerámico constante, se determina el número de esas descargas interceptado por la línea.

El número de descargas por km cuadrado por año (N) ha sido estimado como proporcional al nivel isocerámico.

N: K. (NI).

N: Número de descargas por Km<sup>2</sup> por año.

NI: Nivel cerámico.

K: Constante determinada con base en investigaciones de campo.

#### **1.3.2. SOMBRA ELÉCTRICA.**

Se considera que la zona de influencia de una línea, llamada su sombra eléctrica o ancho de banda de atracción, que se indica en el anexo 11., depende de la altura del punto más alto de la línea sobre el terreno, que es el cable de guarda y de la distancia horizontal entre cables de guarda, si existe más de uno.

$$A = 4h + b.$$

A: Ancho de la sombra eléctrica.

b: Distancia horizontal entre cables de guarda.

h: Altura efectiva sobre el terreno del cable de guarda.

La altura efectiva tiene en cuenta que la altura del cable varía desde  $h_g$  en la torre, hasta  $h_{gv}$  en la mitad del vano. Si el vano es plano:

$$h = h_g - (h_g - h_{gv}) * \frac{2}{3}$$

Se debe tener en cuenta que no está cuantificada la influencia del paso de la línea por un terreno boscoso, el cual disminuye su altura efectiva, ni tampoco que la línea pueda estar en el borde de una montaña muy alta, lo que aumenta la posibilidad de la intercepción de los rayos.

### **1.3.3. NÚMERO DE DESCARGAS DIRECTAS A LA LÍNEA.**

Es el producto de la densidad de descargas a la zona por la línea de influencia de ésta. Si queremos determinar el número de descargas a la línea por 100 km de longitud,  $N_L$ , será entonces:

$$N_L = N \left( \frac{A}{1000} \right) * 100$$

$N_L$ : Número de descargas sobre la línea por 100 km por año.

N: Descargas por  $\text{Km}^2 - \text{año}$ .

A: Sombra eléctrica en metros.

Si se ha hecho un buen cálculo del ángulo de apantallamiento del cable de guarda, de las descargas que alcanzan la línea, prácticamente ninguna golpeará el conductor, sino a la torre o al cable de guarda.

Las que golpean el cable de guarda en la mitad del vano, por lo general, no causan flameo por varias razones:

El mecanismo de flameo entre conductores cilíndricos paralelos produce altísimas corrientes de pre-descarga, que rebajan el voltaje entre cable y fase, demorando un posible flameo; las reflexiones que llegan de las torres adyacentes, disminuyen aún más el voltaje; las distancias entre cable y fase son mucho mayores en el vano que en la torre.

Es importante, entonces, saber qué porcentaje de las descargas totales golpea el cable de guarda lejos de la torre y cuantas descargas caen sobre la torre o el cable, en cercanías de esta.

#### **1.3.3.1. DISTRIBUCIÓN EN TORRES Y VANOS.**

Si se ha hecho un buen cálculo del ángulo de apantallamiento del cable de guarda, de las descargas que alcanzan la línea, prácticamente ninguna golpeará el conductor, sino a la torre o al cable de guarda.

Las que golpean el cable de guarda en la mitad del vano, por lo general, no causan flameo por varias razones: El mecanismo de flameo entre conductores cilíndricos paralelos produce altísimas corrientes de pre-descarga, que rebajan el voltaje entre cable y fase, demorando un posible flameo; además, las reflexiones que llegan de las torres adyacentes, disminuyen aún más el voltaje. Las distancias entre cable y fase son mucho mayores en el vano que en la torre.

Es importante, entonces, saber qué porcentaje de las descargas totales golpea el cable de guarda lejos de la torre y cuantas descargas caen sobre la torre o el cable, en cercanías de esta.

Según ANDERSON J.G. (1961: Pág. 15), “presenta para torres de acero con vanos de 300 m., un porcentaje de 60% de descargas a torre (o cerca). Para apoyos en madera el porcentaje es de un 25%. Si el vano es mayor habrá menos torres, y por lo tanto menos descargas a torre por km”.

#### **1.3.4. SALIDA DE LA LÍNEA.**

Las salidas de las líneas se deben a muy diferentes razones. Entre las salidas producidas por descargas atmosféricas se deben distinguir dos tipos: las salidas debidas a fallas de apantallamiento y las debidas a flameo inverso.

Se puede observar que la causa principal de salida son las descargas atmosféricas, es decir, los sobrevoltajes producidos por estas descargas.

- **Fallas de Apantallamiento.**-Estas salidas se deben a la caída de un rayo directamente sobre el conductor de fase, por falla del cable de guarda, encargado del apantallamiento de la línea.
- **Flameo Inverso.**- Cuando la descarga cae sobre el cable de guarda, viaja hasta la torre más cercana, (a cada lado del punto de impacto), donde busca su camino a tierra.

Parte de la onda de choque se reflejará por el cable de guarda hacia atrás, parte se refractará por el cable hacia delante y la mayor parte, baja por la torre hacia tierra. Debido a la impedancia de la torre y a la resistencia de puesta a tierra, se forman a todo lo largo de aquella, voltajes de un valor bastante alto.

Cuando el voltaje en la cruceta es muy alto con respecto al conductor, tenemos el flameo cuyo punto de mayor voltaje es la cruceta, llamado flameo inverso (back flashover). Este flameo puede ocasionar, dependiendo del sistema de protecciones, una salida de la línea.

#### **1.3.4.1. NÚMERO TOTAL DE SALIDAS DE LA LÍNEA POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

Sumando las salidas por falla de apantallamiento más las debidas al flameo inverso, se obtiene un número total de salidas debidas a descargas atmosféricas.

Este número debe ser menor o igual que un determinado valor de diseño, de acuerdo con la mayor o menor repercusión que pueda tener una salida de la línea, sobre el resto del sistema y sobre la carga que está alimentando.

Se debe establecer la probabilidad de salida de la línea, debido a las descargas atmosféricas. Ya que a mayor altura, estas atraen más rayos y además el tiempo que demora en llegar la reflexión puede ser considerable permitiendo un mayor pico de voltaje resultante.

Esta consideración se puede complementar con los datos sobre mayor actividad atmosférica observada en determinados relieves del terreno.

#### **1.3.4.2. CÁLCULO DE SALIDAS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

Una vez establecido el comportamiento de la torre ante descargas, se debe establecer la probabilidad de salida de la línea, debido a las descargas atmosféricas. Como ya se aclaró, si el diseño del cable de guarda es apropiado, prácticamente todas las salidas de la línea se deberán a flameo inverso.

Para una línea de torres y vanos iguales se debe establecer la probabilidad del impacto de un rayo de determinada magnitud, con determinado tiempo de frente de onda que caiga en cierta parte del vano o en la torre.

Además, si se quiere evaluar el comportamiento de una línea real se debe considerar la particularidad de cada uno de sus vanos y torres.

#### **1.4. DISEÑO DE LÍNEAS BASADO SOBRE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DIRECTAS.**

Las descargas atmosféricas son una de las principales causas para la formación de altos voltajes en líneas de transmisión y distribución, las mismas que se diseñan con protecciones capaces de evacuar la energía de estos fenómenos, cabe señalar que los diseños que se cumplen para estas, son realizados para voltajes ocasionados por inducción.

Tanto las protecciones, como el aislamiento debe ser el adecuado para las condiciones de alto voltaje ocasionado por relámpagos, teniendo como una de las protecciones más comunes, los pararrayos e hilos de guarda.

Por el nivel de voltaje utilizado en líneas de distribución y la altura de las estructuras que la soportan, se ha obviado realizar o mejorar el sistema de apantallamiento, lo que basados en estudios anteriores realizados por MONTEITH (1972: Pág. 578), recomienda que “cada línea debe ser provista de protección contra descargas directas, para que los choques eléctricos puedan ser evacuados sin afectar a los conductores”.

## **1.4.1. DISEÑO DE LA LÍNEA.**

### **1.4.1.1. FACTORES DE DISEÑO.**

Como ya se mencionó, la protección para descargas atmosféricas es de mucha importancia tanto en líneas de transmisión como en líneas de distribución, considerando este criterio, ha determinado parámetros principales de diseño fundamentados en su teoría de descargas directas, los cuales son:

1. Cable a tierra, con suficiente fuerza mecánica, este debe ser ubicado en las líneas como protección contra descargas directas.
2. Un adecuado despeje del cable de guarda a tierra, debe ser mantenido, así toda la eficacia del aislamiento debe prevalecer.
3. Un apropiado despeje de la descarga, especialmente en un intervalo de tiempo, para prevenir la descarga disruptiva en los conductores, usada para el diseño de las líneas.
4. Finalmente, pero muy importante, son las resistencias de la torre que puede ser bajo económicamente pero muy seguro para las líneas.

Se ha determinado la importancia del hilo de guarda, los mismos que si son diseñados de una forma adecuada, evacuarán la energía producida por los sobrevoltajes de origen atmosféricos hacía tierra, sin dañar el resto de la estructura.

Otro dato importante es el mantenimiento que se debe cumplir en la línea; tanto en su sistema de protección, como en el sistema de aislamiento, debiendo ser de tipo preventivo.

Las contaminaciones en los dispositivos pueden ocasionar disrupción, permitiendo que la energía se traslade por otros sitios, además que puede producir la destrucción de los mismos.

Un buen diseño de la resistencia del electrodo a tierra, ayudará a que la energía conducida por el cable de guarda se aleje óptimamente a tierra.

La construcción de un buen sistema de tierra está determinada por las características propias del suelo, las mismas que habrá que mejorar de acuerdo a tipo de suelo que atravesará la línea.

En el anexo 12., se presenta un método estimado, el cual se basa en curvas probabilísticas de descarga de corriente.

Asumiendo que el cruce de voltaje del aislamiento ha sido determinado por un particular juego de parámetros, los requerimientos de aislamiento pueden ser determinados por las curvas características como se puede observar en el anexo 13.

El uso de las tablas permitirá determinar de forma probabilísticas los parámetros de diseño en líneas.

#### **1.4.2. ONDAS VIAJERAS.**

Cuando en las líneas de transmisión o distribución se producen corto circuitos, ruptura de conductores, descarga de rayos o conexión de componentes; ocurre el fenómeno de ondas viajeras, que se puede definir como la creación de un voltaje y una corriente diferente a la implantada en las centrales de generación.

Las características de las ondas viajeras, según COOPER POWER SYSTEM (Pág.45), “sobre una línea o cable en particular, son debidas a la distribución natural de la resistencia (R), inductancia (L), y capacitancia (C) de las líneas”. En

el anexo 14., se representa físicamente los parámetros de distribución y sus respectivos componentes.

En la investigación realizada se ha determinado, además de la onda transitoria de voltaje un acompañamiento de una onda de corriente. Esta de la misma forma está relacionada a la onda de voltaje por la impedancia de sobre voltaje ( $Z_s$ ).

Donde:

$L$ =Inductancia por unidad de longitud

$C$ =Capacitancia por unidad de longitud

La velocidad ( $v$ ) de la propagación de la onda se describe por la ecuación:

En el anexo 15., se muestra la relación de propagación de las formas de onda de voltaje ( $e$ ) y corriente ( $i$ ).

Otro parámetro importante de ondas viajeras, es que de acuerdo a las características de la línea, esta será refractada o reflejada.

Por ejemplo en condiciones de discontinuidades y terminales de la línea o cable, la onda se reflejará, dependiendo de la característica y su comportamiento. Así también será refractada, de acuerdo al tipo de onda; sea esta de voltaje o de corriente.

Conociendo que en las líneas de transmisión y distribución se producen ondas viajeras tanto de voltaje como de corriente, es importante señalar que el comportamiento de las mismas es estudiado en los diferentes eventos como se detallan a continuación:

- En conexión de líneas diferentes; este caso se puede observar comúnmente en líneas de distribución de tipo radial, las mismas que son diseñadas con su circuito troncal diferente a sus derivaciones, en el anexo 16 (a) se puede observar lo expuesto, mientras que en el anexo 1.16 (b) se puede observar el progreso de la onda en este caso.
- Junto a un corto circuito; se ha notado en la investigación que la onda es reflejada negativamente, esto quiere decir que el voltaje se anula.
- Junto a un circuito abierto; el voltaje se comporta de modo diferente que en el anterior caso, el mismo se duplica, lo que se puede observar en el anexo 17.
- Junto a una terminación capacitiva; se puede apreciar en el anexo 18. que el capacitor en primera instancia se presenta como un circuito abierto hasta el momento que se carga, y se comporta como un corto circuito.
- Junto a una terminación inductiva; su comportamiento es inverso al de una terminación capacitiva, como se observar en el anexo 19.
- Junto a un pararrayos; el comportamiento de la onda será igual que en el caso del circuito abierto hasta el momento en que el pararrayos llegue al punto de cebado. En el anexo 20 (a), y en el anexo 20 (b), se puede observar el comportamiento de este caso.

### **1.5. SELECCIÓN Y COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO.**

Uno de los puntos importantes que también se ha considerado en el diseño de líneas de transmisión y distribución, es la coordinación y la selección adecuada de un buen aislamiento, este dependerá de las condiciones por donde atravesará la línea, quedando su diseño a expensas de varios factores.

Cuando se hace el perfil de la trayectoria que tendrá la línea; además de conocer su longitud y características específicas, es de prioridad la investigación de factores como: presión atmosférica, humedad, resistividad del suelo, temperatura y primordialmente el nivel cerámico, al cual la línea estará sometida.

Como una idea general se ha considerado el criterio de los principios básicos en la selección de aislamiento de Paul Ayora, que analiza “los esfuerzos eléctricos de un equipo o un sistema conformado por varios equipos”, en los siguientes voltajes:

- a) Voltaje de frecuencia industrial, bajo condiciones normales de operación, esto es voltaje (normales) que no exceden al máximo de un equipo.
- b) Sobrevoltajes temporales.
- c) Sobrevoltajes por maniobra y,
- d) Sobrevoltajes por descargas atmosféricas.

Los voltajes normales dependen de las condiciones del sistema y de la forma técnica de explotación que se la haga; para cumplir con los valores sujetos a las normas y para dar continuidad de un servicio confiable.

Los sobrevoltajes ocasionales los debidos a maniobras son limitados por los dispositivos de protección (pararrayos principalmente).

Para la selección de aislamiento se encontraron valores normalizados, los mismos que pueden ser encontrados en tablas (anexo 21.). Estos valores dependerán principalmente de la magnitud y frecuencia de los esfuerzos eléctricos que se esperan durante la ocurrencia de los sobrevoltajes.

Entre los parámetros de diseño del aislamiento también se ha considerado como un componente más de la aislación a la separación dieléctrica de los elementos, esto se lo realizará una vez esté definido el nivel de aislamiento.

Con una separación dieléctrica es posible tener un aislamiento exclusivamente a través del aire entre electrodos a diferente potencial, como el que existe entre barras de una subestación, pero este tipo de aislamiento también está afectado por las mismas condiciones de presión atmosférica y por humedad del ambiente.

Para resumir se puede decir que un sistema eléctrico se diseña de manera que todas sus partes tengan el mismo nivel de aislamiento y que todos los pararrayos tengan un nivel de protección inferior, al nivel de aislamiento de los componentes del sistema.

#### **1.5.1. DEVALUACIÓN DEL NIVEL DE AISLAMIENTO.**

El principal factor por el que se ve afectado el aislamiento de un sistema, es el tiempo, el mismo que con ayuda de la humedad, temperatura, reducirán de manera significativa la vida útil del material aislante y por lo tanto disminuirá la efectividad del aislamiento para el que fue diseñado.

Los contaminantes exteriores, dependerán del grado de polución del sector. Este tipo de contaminación afecta principalmente al aislamiento de tipo “separación dieléctrica” el mismo que se ve mermado al reducirse las distancias de separación entre los elementos.

##### **1.5.1.1. LAS SEPARACIONES DIELECTRICAS O DE AISLAMIENTO.**

El aislamiento logrado por una Separación Dieléctrica, que no es sino una aislación exclusivamente a través del aire entre electrodos a diferente potencia, también se ve afectado por la presión atmosférica y por la humedad de ambiente.

En el caso de la presión, para mantener el nivel de aislamiento seleccionado, se corrige a la separación dieléctrica, según la norma 71 de la C.E.I., a partir de los 1000 m., de altura sobre el nivel del mar hasta los 3000 m., aumentándola en una magnitud igual al 1.25% por cada 100 metros de altitud, respecto al valor referencial constante en la norma.

#### **1.5.1.2. LIMPIEZA Y LAVADO DE LOS AISLADORES.**

La limpieza periódica de la superficie de los aisladores es una de las soluciones utilizadas para reducir el problema de flameo causado por la contaminación atmosférica, posiblemente, el método más sencillo para limpiar el aislador contaminado, consiste en utilizar agua a alta presión.

Este método es efectivo cuando los depósitos contaminantes son altamente solubles al agua, caso tal de la sal marina, ciertos contaminantes químicos, o cuando dichos depósitos son insolubles pero presentan una poca adherencia sobre la superficie del aislador. Esta limpieza se puede efectuar manualmente o por el lavado de los aisladores desenergizados o por lavado en caliente (con sistema energizado).

En caso de contaminación superficial en porcelana o vidrio, se recomienda seleccionar una distancia superficial de contorno mínima entre 2 á 3 cm/kV; dependiendo del grado de contaminación.

##### **1.5.1.2.1. SOLUCIONES AL PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN.**

La severidad del problema de contaminación en una instalación específica está gobernada generalmente por lo siguiente:

- Densidad o rata de depósito del contaminante.
- Frecuencia e intensidad de las aguas lluvias y del viento.

- Naturaleza del contaminante, su conductividad y su facilidad de adherirse a la superficie del aislador.

Con el fin de reducir el efecto de la contaminación superficial, se emplean actualmente las siguientes soluciones:

#### **1.5.1.2.1.1. SOBREAISLAMIENTO.**

Una forma efectiva de prevenir problemas de flameo en zonas contaminadas, consiste en aumentar la distancia de fuga sobre la superficie del aislador.

La tabla 1 utilizada por RWE (Rheinisch Westfälischen Elektrizitätswerk Aktiengesellschaft), recomienda los valores de distancia de fuga por kV de voltaje nominal del sistema para las cuatro diferentes categorías o grados de contaminación (4).

Una forma de aumentar la distancia de fuga consiste en utilizar aisladores sobredimensionados, por ejemplo: aisladores de 34.5 kV en circuitos de 13.2 kV. (Cuando se trata de aisladores tipo pin, “line post”, etc.). O aumentar el número de unidades cuando se trata de una cadena de aisladores de suspensión.

**TABLA 1.**

**VALORES DE DISTANCIA DE FUGA POR kV DEL VOLTAJE NOMINAL.**

<b>CLASE DE AISLAMIENTO</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>ZONA</b>	<b>DISTANCIA DE FUGA mm/KV SISTEMA</b>
A	1	Agrícola, forestal, no industrial.	17 - 20
B	2	Ligera a mediana contaminación pero niebla frecuente.	22 - 25
C	3	Áreas industriales, extrema contaminación.	26 - 36
D	4	Zonas costeras - contaminación con depósitos conductores.	38 - 45

**FUENTE:** Boletín GAMMA, Selección aisladores bajo contaminación, pág. 5.

**ELABORADO:** Grupo de investigación.

## **1.6. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBREVOLTAJES.**

### **1.6.1. PARARRAYOS.**

Un pararrayos o apartarrayos, se define como un aparato diseñado para proteger equipos eléctricos contra sobrevoltajes transitorios, desviando a tierra y limitando la duración.

Los elementos de protección contra sobrevoltaje se dividen en tres clases:

- a) **Pararrayos Tipo Resistencia No Lineal.-** Son dispositivos que están diseñados y son instalados para limitar la magnitud de los sobrevoltajes, de tal forma que el voltaje total entre sus terminales no exceda un valor aceptable.

Se los especifica con el máximo voltaje eficaz permisible, de frecuencia industrial, entre sus terminales al que están diseñados para operar

correctamente. Este voltaje puede aplicarse continuamente a un pararrayos sin producir cambios en sus características de operación.

Estos pararrayos tienen capacidad para limitar e interrumpir la corriente de cola. Esta capacidad es dependiente del voltaje de frecuencia industrial entre sus terminales, siendo su valor máximo aplicable el correspondiente al de su especificación.

**b) Pararrayos Tipo Expulsión.-** Consiste esencialmente en un descargador, conectado en serie a otro explosor tipo varilla, encerrado en una capsula de un material que al paso de la corriente se vaporiza. Este vapor, juntamente con una cierta porción de vapor de agua presente, forman un gas des-ionizante, que expulsa el aire ionizado por el arco.

Como resultado de esta acción, cuando la corriente de cola pasa por cero, el plasma del arco es destruido por des-ionización. Estos pararrayos tienen por lo tanto capacidad para interrumpir la corriente de cola, pero no para limitarla apreciablemente.

Esta corriente de cola puede ser muy alta, del orden de las corrientes de falla, pero de muy corta duración, menos que dos medios ciclos, generalmente menos que un medio ciclo, por lo que no se presentan molestias en la red. Los voltajes residuales de los pararrayos tipo expulsión son bajos. Los voltajes de descarga en el frente de onda son mayores que los correspondientes a pararrayos del tipo resistencia no lineal.

Los pararrayos tipo expulsión se clasifican como de Distribución y de Transmisión. Los de clase transmisión nunca deben usarse para protección de aparatos porque sus voltajes de descarga a impulsos son generalmente mayores que los que puede soportar la aislación de tales aparatos.

**c) Descargadores.-** Los descargadores o explosores (que se los considera en este análisis como un apartarrayo de menor precisión y exactitud) están constituidos por pares de electrodos de forma y disposición geométrica conocidas, separados distancias específicas en el aire. Uno de estos electrodos está conectado a tierra y el otro está energizado.

Estos dispositivos usualmente no limitan ni interrumpen la corriente de cola, pero esta dificultad es ampliamente superada por un rápido re-cierre automático del circuito asociado.

El voltaje de descarga y el tiempo para que ésta ocurra dependen esencialmente de la distancia interelectródica y son influenciados por la forma de los electrodos, por su disposición y por las distancias relativas tanto a las partes cercanas energizadas como a las partes cercanas conectadas a tierra.

El uso de explosores ha sido satisfactorio en sistemas de voltaje de hasta 245 kV, en países y regiones con moderada densidad de rayos.

La protección obtenida por medio de explosores es menos precisa que la obtenida con pararrayos y el nivel de protección no puede ser dado con tanta precisión como con éstos.

Algunas limitaciones de los descargadores o explosores como medio de protección se dan cuando por su funcionamiento se presente continuas interrupciones de servicio, por falta de un rápido sistema de re-cierre del circuito.

Así mismo por la “onda cortada” producida por su operación en la cercanía de los terminales del aparato protegido (especialmente peligrosa en devanados de alto voltaje).

También el arco producido puede ser peligroso si los explosores no han sido instalados en una posición adecuada, ya sea para la aislación asociada o por la propagación del arco a otras fases.

#### **1.6.1.1. PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA APLICACIÓN DE PARARRAYOS.**

El procedimiento para la selección y colocación de pararrayos toma como base la aislación a ser protegida y se reduce a una serie de pasos que se los presenta a continuación. Se supone que el terminal de tierra del pararrayos está conectado con el terminal de tierra del equipo y que las conexiones (tanto la de línea como la de tierra) son tan cortas como sean posibles.

1. Determinar el máximo voltaje fase-tierra de frecuencia industrial en el punto de instalación del pararrayos.
2. Estimar la magnitud y forma de onda de la corriente de descarga más severa del pararrayos.
3. Determinar el nivel de aislamiento de la aislación a los impulsos, recordando que el aislamiento decrece con la altitud m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).
4. Seleccionar tentativamente el valor nominal del pararrayos y su clase. Use el anexo 22, para determinar su voltaje nominal y verifique que el pararrayos seleccionado soporte la corriente determinada en el paso 2.
5. Determinar el nivel de protección a los impulsos otorgado por el o los pararrayos preseleccionados, esto es correlacione las características del pararrayos con los datos de la aislación obtenidos en el paso 3.

6. Ubicar el pararrayos lo más cerca posible al equipo protegido, recordando que la proximidad de objetos con el potencial de tierra y la altura del pararrayos sobre el suelo pueden deteriorar sus características de operación (siendo esto importante a muy altos voltajes).
7. Determinar el voltaje impuesto sobre la aislación protegida, cuando este es limitado por la operación del pararrayos, considerando las separaciones y otros factores de importancia en el punto de aplicación. Un sencillo programa computacional puede ayudar en esta cuantificación, necesaria sobre todo cuando ciertas restricciones en el sitio no permitan una cercanía suficiente entre el pararrayos y el equipo protegido, en cuyo caso se pueden generar voltajes peligrosos sobre la aislación.
8. Correlacionar los pasos 3 y 7. Si el pararrayos es inadecuado se deberá seleccionar otro (de voltaje nominal o clase diferente) o incrementar el nivel de aislamiento del equipo a ser protegido.

## **1.7. PUESTAS A TIERRA.**

### **1.7.1. CONEXIÓN A TIERRA.**

La conexión a tierra o puesta a tierra de cualquier instalación eléctrica consiste en el establecimiento de un camino de baja impedancia entre los propios elementos de la instalación eléctrica y la tierra, creándose un camino adicional para la circulación de la corriente, la misma que generalmente se produce por fenómenos transitorios en las líneas eléctricas.

El conductor o conjunto de conductores enterrados y en contacto eléctrico con la tierra se denomina electrodo o red de puesta a tierra. Las puestas a tierra se

realizan colocando picas clavadas en el terreno, varillas, cables enterrados dispuestos de forma radial, mallada o anular, placas o chapas enterradas.

### **1.7.2. RAZONES DE LA PUESTA A TIERRA.**

El anexo 23., a) muestra que la corriente  $I_R$  del receptor o carga circula por el conductor superior y retorna por el inferior no circula corriente hacia la tierra tampoco existe diferencia de potencial entre la carcasa metálica y el terreno, pues están unidos por un conductor y no circula corriente por él. Se observa que la puesta a tierra no tiene influencia en condiciones normales de funcionamiento de un sistema.

### **1.7.3. PUESTAS A TIERRA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.**

Puesto que las líneas de transmisión son las más expuestas a los fenómenos atmosféricos, ya sea por los sectores que atraviesa o por las distancias que recorren, se ha diseñado sistemas de apantallamiento, para prevenir posibles afecciones.

El apantallamiento contempla sistemas encargados de direccionar los transitorios de las líneas a tierra, no obstante, no todos los puntos donde se pretende colocar un sistema de puesta a tierra tendrá la adecuada impedancia, la misma que deberá ser de un valor muy bajo.

Los elementos a tener en cuenta para el diseño de una línea de transmisión desde el punto de vista de descargas atmosféricas son:

- Espaciamiento eléctrico.
- Cantidad de aisladores.
- Ángulo de apantallamiento.

- Sistema de puesta a tierra de las estructuras.

Con respecto a los espaciamentos eléctricos de las líneas de transmisión, LEÓN Ortiz Jaime (2008: Pág. 1) expone, “las exigencias atmosféricas tienen menor importancia a medida que el nivel de tensión se eleva, debido al aumento del nivel de aislamiento de las líneas de transmisión”.

Con respecto a los sobrevoltajes de baja frecuencia se deben hacer correcciones por variables ambientales tales como: densidad relativa del aire, humedad absoluta y relativa, precipitación (lluvia), contaminación y viento (factor determinante del ángulo de balanceo).

Pero cuando el aislamiento está sometido a impulsos de origen atmosférico no se hacen correcciones por variables ambientales porque no alteran el comportamiento del aislamiento (lluvia, humedad, etc.).

Con respecto al ángulo de apantallamiento, se dice que el blindaje efectivo de los cuadros conductores se logra cuando la posición de los cables de guarda es tal, que el número de salidas debido a la incidencia de los rayos en los conductores de fase (descargas directas) sea igual a cero.

De acuerdo con las mediciones efectuadas en las líneas de transmisión se establece que la falla del blindaje está asociada con rayos de baja intensidad de corriente y las salidas por descargas en los cables de guarda o en las torres son debidas a rayos con corrientes de alta intensidad.

### **1.7.3.1. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

Cuando una descarga atmosférica impacta a un cable de guarda, la corriente debida a la descarga fluye en ambos sentidos a través de la impedancia de impulso

del cable de guarda (la corriente y la tensión), se propagan hasta llegar a la torre, bajan por esta y se encuentran con una resistencia de puesta a tierra que disipa la energía asociada con la descarga atmosférica como se muestra en el anexo 24. (a).

En el anexo 24 (b), se puede observar la descarga atmosférica cuando cae directamente en la torre.

Como se ha descrito anteriormente, una descarga atmosférica, puede considerarse como una fuente de corriente, capaz de hacer fluir una corriente permanente (la asociada con el rayo) a través de una impedancia.

La tensión producida por la descarga es producto de la corriente y de la impedancia a través de la cual fluye.

Las descargas atmosféricas que inciden en los vanos de los cables de guarda y en las torres, tienen la tendencia de caer en las proximidades de éstas, porque se constituyen en los puntos más elevados de las líneas de transmisión.

La descarga atmosférica que cae en el cable de guarda o directamente en la torre, al llegar a la base de la torre (suelo) y encontrar una alta resistencia (resistencia de puesta a tierra de la estructura) no encuentra un medio propicio para el esparcimiento de la corriente del rayo de manera eficiente y hace que la torre alcance un alto potencial eléctrico, que aumenta súbitamente la tensión entre el brazo de la torre y el conductor de fase, hasta el punto que se supera el aislamiento proporcionado por el aire exterior a la cadena de aisladores y se presenta un flameo desde el brazo de la torre (que se encuentra a un alto potencial) y el conductor de base.

Dependiendo del tipo de torre y de su masa metálica pueden llegar a caer hasta el 60% de los rayos en las proximidades de la torre.

#### **1.7.4. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

Para conocer el comportamiento del terreno se ha tenido que estudiarlo desde el punto de vista eléctrico, como elemento encargado de disipar las corrientes de defecto que lleguen a través de los electrodos, es decir, se debe conocer la resistividad.

La resistividad del terreno, según Martínez y Toledano (2004: Pág. 5), es “la resistencia que presenta al paso de la corriente”. Un cubo de terreno de un metro de arista se mide en ohmios metro y se representa con la letra  $P$  como se muestra en el anexo 25.

La resistividad del terreno depende de su naturaleza, estratigrafía (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura. La resistividad de un terreno se ve afectada por las variaciones estacionales.

##### **1.7.4.1. ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

Para poder dar un valor de impedancia muy bajo en la resistencia de tierra, y que esta sirva para los propósitos para los que fue diseñado, se necesita conocer factores que influyen en la resistividad del terreno y de alguna forma mejorarlos para nuestro beneficio

Uno de los primeros aspectos y tal vez el más perceptible a simple vista será el de su propia naturaleza, este aspecto hará que el sitio donde se pretenderá colocar un sistema de tierra sea de carácter bueno, regular o malo. En el anexo 26., se puede observar la resistividad para diferentes tipos de terreno.

Cabe mencionar que su naturaleza se verá afectada por otro de los factores, como el de la humedad, dando la premisa de: al aumentar la humedad disminuye la

resistividad y al disminuir la humedad aumenta la resistividad como se observa en el anexo 27.

La humedad además es un factor que influye al variar la temperatura del sitio por ejemplo. La resistividad aumenta al disminuir la temperatura pero cuando se enfría por debajo de 0 °C la resistividad aumenta rápidamente como se ve en el anexo 28.

La calidad del suelo también puede variar de acuerdo al grado de sales que este contenga y hacer que un terreno mejore sensiblemente su valor de resistividad aparente o incluso puede hacer bueno un terreno de alta resistividad simplemente añadiéndole sales.

Los suelos no están compuestos completamente de lo que se puede observar en su superficie o tal vez bajo unos metros de esta, ya que los suelos generalmente están formados de capas, las mismas que contienen diferentes composiciones y resistividades. Su resistividad será la combinación de las diferentes capas.

La resistividad de las capas inferiores obliga al estudio y medición de las mismas si se necesita conocer el valor de la toma de tierra a una profundidad determinada como se muestra en el anexo 29.

Las diferentes estaciones del año influyen de forma significativa, por lo que para evitar estas variaciones la puesta a tierra se entierra con profundidad, ya que las variaciones causadas por las variaciones estacionales se producen más en la superficie del suelo.

#### **1.7.5. RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.**

La resistencia de puesta a tierra está directamente relacionada con la composición natural del suelo, (características físicas y químicas), es decir, que el suelo será de

resistencia baja cuando sea altamente húmedo, con composición arcillosa y con un alto contenido de minerales conductores.

Al contrario se presentará una alta resistencia de puesta a tierra cuando el suelo sea de composición seca y altamente rocosa, lo que implica que la resistencia de puesta a tierra puede variar con la época del año.

La corriente asociada con la descarga atmosférica al llegar a la base de la estructura, encuentra o no un medio propicio para disipar la energía del rayo, según la composición del suelo.

Por esta razón el buen diseño de la misma es primordial para la efectividad del sistema de apantallamiento.

## **CAPÍTULO II**

### **EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI.**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN.**

ELEPCO sirve a la Provincia de Cotopaxi con dos principales fuentes de energía, la primera con generación propia abastecida por cinco centrales distribuidas en toda la Provincia, las Centrales Illuchi 1 e Illuchi 2 en el cantón Latacunga, las Centrales Angamarca y El Estado en el cantón Pujilí, y La Central Catazacón en el cantón Pangua, siendo todas estas generadoras de tipo hidráulico.

La segunda fuente energética y la de mayor suministro es el Sistema Nacional Interconectado, con dos principales nodos de conexión, el primero ubicado en la subestación Ambato y el segundo en la subestación Mulaló, los mismos que energizan nuestro sistema a 69 kV.

Los cantones con mayor demanda de servicio energético, tales como: Latacunga, cuenta con cinco subestaciones, siendo estas; S/E San Rafael, S/E El Calvario, S/E La Cocha, S/E Mulaló y S/E Lasso. Salcedo es el segundo cantón con mayor demanda de energía y cuenta con la S/E Salcedo, Sigchos por otra parte se atiende con la S/E Sigchos, y la recién creada S/E La Mana cubre el sector rural del cantón La Mana, el sector occidental del cantón Pujilí y la totalidad del cantón Pangua, sumando ocho subestaciones que abastecen la demanda de la Provincia de

Cotopaxi, todas con una alimentación de 69 kV y salidas de distribución a 13.8 kV.

Adicional a esto la Empresa Eléctrica Cotopaxi a proyectado la construcción de dos subestaciones mas, siendo las mismas la S/E Pujilí que actualmente ya se encuentra en espera de entrar a operación en los próximos años y que servirá el cantón de Pujilí y las S/Es Locoa y Saquisilí, las misma que se encuentra en planes de estudio, y cubrirán la demanda de Latacunga Sur y el cantón Saquisilí.

## **2.2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI.**

### **2.2.1. RESUMEN HISTÓRICO.**

“El día domingo 11 de abril de 1909 el Coronel Justiniano Viteri, Presidente del Concejo Municipal de Latacunga inaugura en forma oficial el servicio de alumbrado eléctrico de esta ciudad, conformándose lo que se llamó los **SERVICIOS ELÉCTRICOS MUNICIPALES**, entidad que desde aquella fecha fue la encargada de administrar la energía eléctrica producida por una pequeña planta hidráulica de 30 kV, localizada en el Barrio Miraflores, el servicio que se brindaba era exclusivamente alumbrado de domicilios y de las calles céntricas de la ciudad” ELEPCO (2011).

“Al transcurrir los años y al incrementarse la utilización del servicio eléctrico fue necesario que en 1925 se inaugure otra Central Hidráulica de 300 Kw en el río Yanayacu. El voltaje al cual se generaba era el mismo al que se distribuirá y consumía, es decir 110/220 v. Con la primera central y luego con la segunda se distribuía a 2.400 v”.

Al seguir creciendo la demanda eléctrica, se mentalizo el Proyecto Illuchi a 10 km. al oriente de la ciudad de Latacunga y es así que en 1951 el alcalde de Latacunga Don Rafael Cajiao Enríquez inaugura la Primera Etapa de dos grupos

hidráulicos de 700 kw c/u. En la segunda etapa se instaló el tercer grupo, 1.400 kw que entró en operación en 1955. En 1967 entró en operación la Central Illuchi No. 2 con un grupo de 1.400 kw. Los caudales de agua que se aprovechaba eran de las Lagunas de Oscacocha y Salayambo y las captaciones de las acequias Retamales, Ashpacocha y Dragones.

Con las nuevas centrales se cambió el sistema de distribución a 6.300 v. Y el servicio eléctrico se extendió a las zonas rurales es decir a las parroquias: Aláquez, Joséguango, Guaytacama, Mulaló, Tanicuchí, Toacazo, Pastocalle y a 29 recintos y caseríos; además se vendía en bloque a los Municipios de Pujilí y Saquisilí.

“El día 2 de mayo de 1975 INECEL se hace cargo de la administración de la energía eléctrica en Cotopaxi y funda el SISTEMA ELÉCTRICO LATACUNGA (S.E.L.), inmediatamente inicia sus labores; sus primeras obras fueron la reparación de las Centrales Hidráulicas y el revestimiento de 15 Km. Del canal de Aducción. Luego desde 1976 se inicia la modernización, remodelación integral y ampliación de las redes de distribución de las zonas rurales de la Provincia. Las redes de distribución se construyeron exclusivamente en postes de madera tratada y de hormigón con conductores de aluminio y con un voltaje de 13.800v, en el año de 1983 este programa de remodelación fue concluido, con lo cual la empresa se dedicó exclusivamente a la ampliación y expansión”.

“En el mes de mayo de 1977 el SISTEMA ELÉCTRICO LATACUNGA (SEL) se interconecta al Sistema Nacional mediante la S/E San Rafael y una línea de 69 kV hasta la ciudad de Ambato. Con este suceso el SEL inicia una ampliación sin precedentes ya que se comienza a dar energía a varias fábricas antiguas y nuevas, instaladas en la vía a Lasso. A la vez se comienza a promocionar la integración de los cantones Salcedo, Pujilí y Saquisilí”.

“Mediante sendos convenios de administración y contratos de Fideicomiso se logra la integración de los cantones al Sistema Eléctrico Latacunga en Mayo de 1979 Salcedo, el 30 de junio de 1980 Pujilí y el 28 de marzo de 1982 Saquisilí”.

El 1 de febrero de 1984 entra en funcionamiento la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., siendo sus accionistas INECEL y los I. Municipio de Latacunga, Saquisilí, Salcedo y Pujilí.

“En el mes de marzo de 1987 se inicia la construcción de la ampliación de las Centrales Hidráulicas de Illuchi No. 2, con el financiamiento de INECEL y de fondos propios de la empresa. Esta ampliación tiene 5.200 kw, divididos en dos grupos y tuvo un costo de aproximadamente S/3.000'000.000 a la fecha en que inició su funcionamiento, en el mes de diciembre /87”.

“El 29 de diciembre de 1994 ingresan como accionistas el H. Consejo Provincial de Cotopaxi y el I. Municipio de Pangua”.

### **2.2.2. RESUMEN DEL PLAN ESTRATÉGICO DE ELEPCO S.A.**

Toda empresa es un ente que está sujeto a la influencia de factores internos y externos, constantemente cambiantes de acuerdo a aspectos políticos, sociales y económico-financieros, debe estar capacitada también para cambiar y adaptarse a las nuevas estructuras administrativas y organizacionales.

Estas nuevas tendencias económicas y tecnológicas, junto a los esquemas de modernización y privatización obligan a que nuestra institución rediseñe su administración para que pueda competir en el ámbito empresarial. El no hacerlo y mantener sus viejas estructuras, provocaría que la empresa se estanque, pierda competitividad, que obtenga resultados financieros negativos, los que podrían llevarle a su desaparición.

“Con la finalidad de afrontar los retos de la Ley de Régimen del Eléctrico, la actual Presidencia Ejecutiva y la administración de la empresa se hallan empeñadas en un

objetivo fundamental, el cual es MODERNIZAR EL SISTEMA ADMINISTRATIVO, TÉCNICO, COMERCIAL, FINANCIERO Y LABORAL DE ELEPCO S.A”, mediante la implementación del presente plan.

#### **2.2.2.1. MISIÓN.**

La misión de la empresa es proveer potencia y energía eléctrica en su área de concesión de la Provincia de Cotopaxi, en forma suficiente, confiable, continua y al precio justo, de tal manera que se tienda al desarrollo socio económico de la sociedad y de los sectores productivos de la provincia.

#### **2.2.2.2. VISIÓN.**

“La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., líder en el sector eléctrico del país, garantiza un excelente servicio eléctrico durante las 24 horas diarias”

#### **2.2.2.3. VALORES.**

Calidad, eficiencia, responsabilidad y trabajo.

### **2.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.**

De acuerdo a Francisco Leiva Zea (1984: Pág.13), se ha considerado utilizar dos métodos de investigación, siendo estos:

- “El método inductivo”.
- “El método deductivo”.
- El método científico.
- El método bibliográfico.

De esta manera la investigación realizada en este trabajo se divide en dos partes: la primera, se la ha efectuado aplicando el método inductivo, y la segunda, se realizó siguiendo el método deductivo.

### **2.3.1. MÉTODO INDUCTIVO.**

Como menciona LEIVA Zea Francisco (1984: Pág. 14), “el método inductivo es un proceso analítico-sintético mediante el cual se parte del estudio de casos, hechos o fenómenos particulares para llegar al descubrimiento de un principio o ley general que los rige”.

Se ha aplicado este método en la primera parte de la investigación debido a los pasos que este sigue.

Por ejemplo, se ha analizado el estado actual del sistema de apantallamiento de la línea en sus diferentes etapas, realizando diversos registros, los mismos que han dilucidado varios puntos críticos, hallando el verdadero problema y verificando el porcentaje de afectación del mismo.

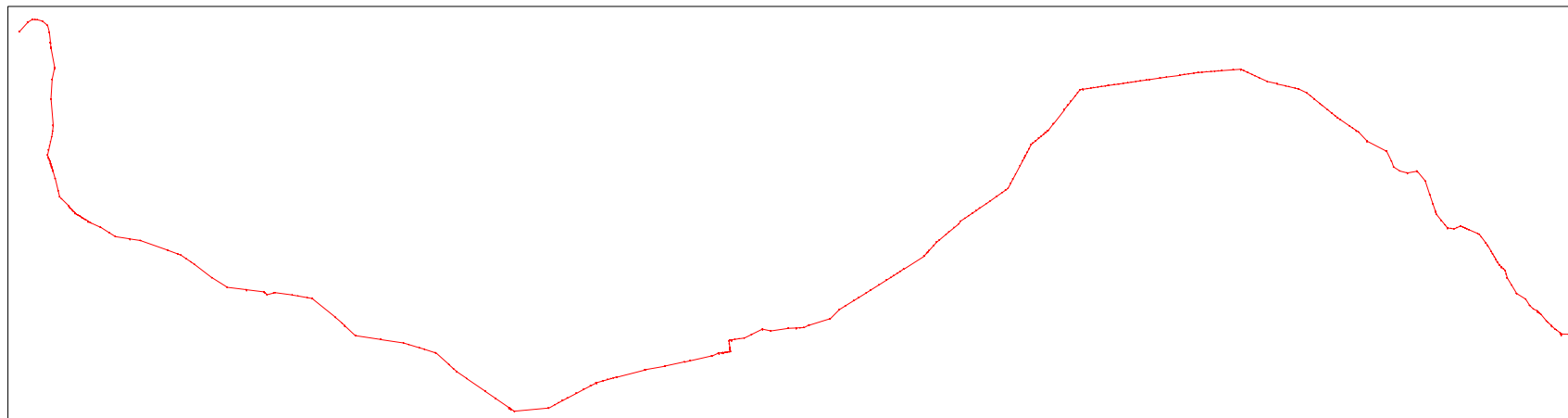
Entre los datos obtenidos a través de este método, se ha realizado levantamiento de información en el trayecto de la línea de estudio, obteniendo datos de posición de la línea mediante equipos de posicionamiento global, los mismos que nos han ayudado a tener distancias exactas para poder realizar los cálculos respectivos. Mencionado levantamiento se puede observar en la figura 2.

De entre los datos obtenidos se puede identificar cada uno de los dispositivos colocados en la red como: pararrayo y puestas a tierra, las mismas que se aprecian en la figura 3.

Se ha identificado el trayecto con mayor altura, que es el más crítico al ocurrir las descargas atmosféricas, como se muestra en la figura 4.

**FIGURA 2.**

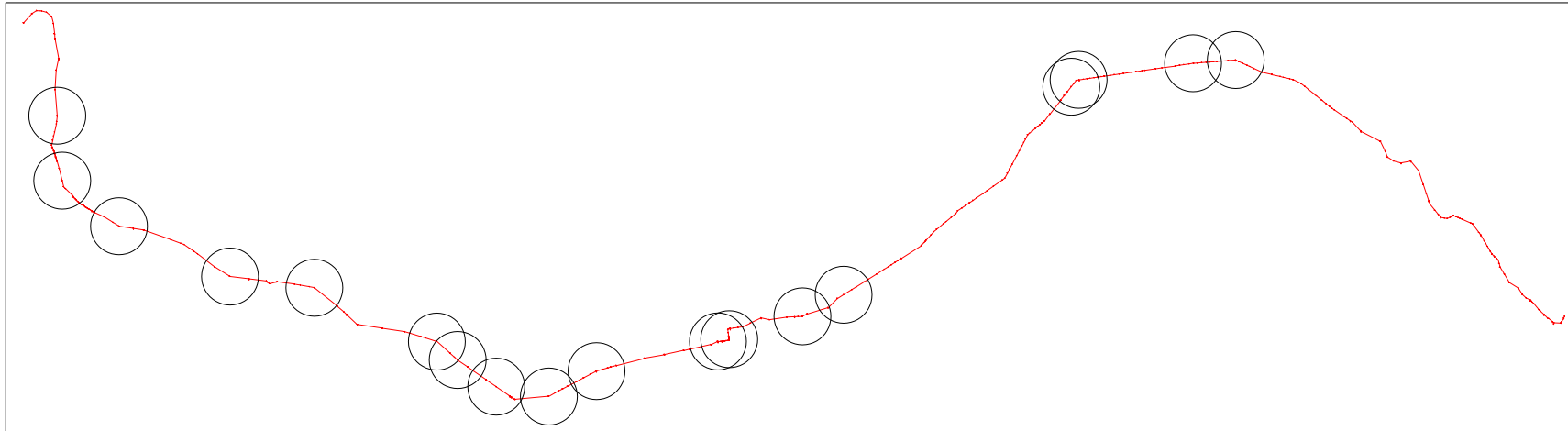
GRÁFICO DEL POSICIONAMIENTO GLOBAL DE LA LÍNEA EN ESTUDIO.



**FUENTE:** Grupo de investigación.  
**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**FIGURA 3.**

DISPOSITIVOS COLOCADOS EN EL TRAYECTO DE LA LÍNEA (PARARRAYOS, PUESTAS A TIERRA).

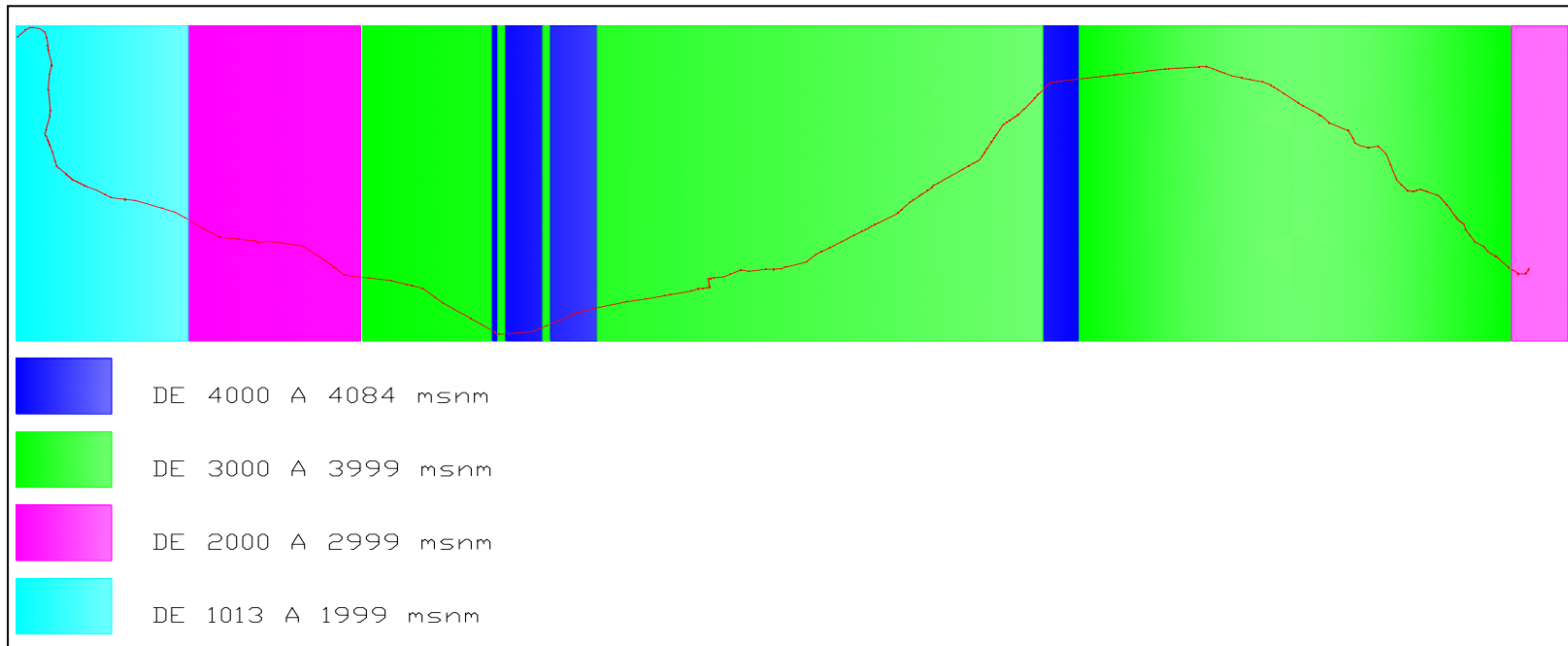


**FUENTE:** Grupo de investigación

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**FIGURA 4.**

IDENTIFICACIÓN DE ALTITUD EN LA LÍNEA.



**FUENTE:** Grupo de investigación

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

Como un dato relevante de la línea se determinó el levantamiento de datos referidos a la resistividad del terreno por donde atraviesa la línea, además se realizó la medición de la resistencia de cada una de las picas de puesta a tierra, una gráfica de la resistencia del suelo se aprecia en la tabla 2 y gráfico 1.

### **2.3.2. MÉTODO DEDUCTIVO**

Para LEIVA Zea Francisco (1984: Pág. 15), “el método deductivo sigue un proceso sintético-analítico, es decir contrario a lo anterior; se presentan conceptos, principios, definiciones, leyes o normas generales, de las cuales se extraen conclusiones o consecuencias en las cuales se aplican; o se examinan casos particulares sobre las bases de las afirmaciones generales presentadas”.

De acuerdo a esta definición, la etapa secundaria de la investigación se encarga de solucionar el problema partiendo desde criterios obtenidos en libros, normas y experiencias encontradas a lo largo de la investigación, haciendo de las mismas una guía para la mejor solución del problema.

Se ha estudiado diferentes libros de diseño y construcción de líneas de distribución, además se ha estudiado normas y reglamentos que están vigentes en otras empresas y son las que rigen el desarrollo actual de estas actividades.

### **2.3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.**

En el estudio se ha ayudado en métodos de la investigación científica como son el analítico – sintético y descriptivo, cuyas técnicas para la recolección de datos utilizadas son la observación y la encuesta.

#### **2.3.3.1. OBSERVACIÓN.**

Esta técnica ha servido para localizar fallas de diseño y mantenimiento fácilmente visibles en el recorrido de campo realizado a la línea de estudio, esto ha permitido

determinar los daños de forma rápida, obteniendo así un punto de inicio en la investigación.

Dentro de la observación se puede notar que existen problemas de diseño como de falta de mantenimiento, con esto se quiere decir que, cuando se realizó la construcción de la línea de interconexión no se consideraron aspectos como: la mejora de suelos en los sitios que se instalarían las picas de suelo, ni tampoco el sitio idóneo donde se colocarían los equipos de protección.

Además se ha notado que el mantenimiento no correspondía a un proceso establecido, si no que era el mantenimiento de tipo correctivo, con el que se pretendía restablecer de servicio eléctrico sin priorizar la solución del problema, aumentando de esta manera las consecuencias de un avería.

Se ha podido testificar que los usuarios no dudan en cometer el hurto del conductor, ya sea este del sistema de neutro como del sistema de puestas a tierra.

Por el difícil acceso en algunos por donde atraviesa la línea, hace que no se detecte de forma inmediata el material sustraído para poder reponerlo.

#### **2.3.3.2. LA ENCUESTA.**

Esta técnica se ha visto adecuada para determinar, el nivel de conocimiento y profesionalismo al personal encargado de realizar trabajos de carácter técnico.

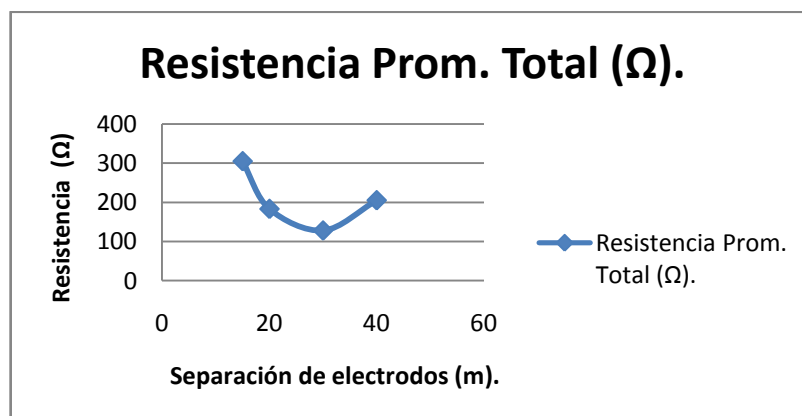
Para lo cual la Técnica, se aplica a dos grupos a encuestar; siendo uno de estos el cuerpo técnico o de ingeniería, encargado de orientar al personal a su cargo en las diferentes actividades de construcción y de mantenimiento, y el otro al personal operativo; quienes son los responsables de realizar de manera adecuada y responsable las tareas encomendadas.

Las encuestas esta realizada de manera tal, que reúnen datos de los conocimientos básicos que ellos emplean en el campo que desempeñan.

**TABLA 2.** RESISTENCIA PROMEDIO DEL SUELO POR DONDE ATRAVIESA LA LÍNEA.

<b>ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.</b>		
<b>Provincia:</b>	COTOPAXI	
<b>Estado del Terreno:</b>	SECO	
<b>Temp. Amb. Promedio:</b>	15° - 18°	
<b>Temp. Amb. Terreno:</b>	20° - 25°	
<b>Método de medición:</b>	M. WENNER	
<b>Mediciones.</b>		
<b>Profundidad de exploración (m).</b>	<b>Separación de electrodos (m).</b>	<b>Resistencia Prom. Total (<math>\Omega</math>).</b>
0,15 m	15	304,5
0,20 m	20	183
0,15 m	30	127,8
0,20 m	40	205

**GRÁFICO 1.** RESISTENCIA PROMEDIO DEL SUELO POR DONDE ATRAVIESA LA LÍNEA.



**FUENTE:** Grupo de investigación

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación

#### **2.3.3.2.1. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

Se define como población al conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado.

Para objeto del estudio, la cantidad de individuos se limita a un número corto de 20 personas en el personal operativo y 10 en el personal técnico. Puesto que el personal encargado de realizar estas funciones es reducido, se lo ha seleccionado en su totalidad para realizar la encuesta.

#### **2.3.3.2.2. ASPECTOS A INVESTIGAR.**

Los aspectos de relevancia en la encuesta planteada se han determinado de acuerdo a las actividades que realiza el personal técnico y operativo de ELEPCO.

Para lo cual se plantean dos encuestas, las mismas que van dirigidas al área de diseño y al área de mantenimiento de líneas de distribución, cabe indicar que las preguntas están enfocadas a detalles observados en la línea a investigar.

#### **2.3.3.2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA AL PERSONAL TÉCNICO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI.**

Esta encuesta contiene diez preguntas, las mismas que se las han determinado en función de los requerimientos de la línea investigada y de normativas aplicadas en otras empresas a nivel nacional y mundial que cuentan con similares características territoriales que la provincia de Cotopaxi.

***1. Para el diseño de Líneas de Distribución, ¿Qué clase de normas se utilizan en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi?***

La pregunta fue determinada debido a que la Empresa Eléctrica Cotopaxi, no cuenta por el momento con normas propias que rijan los procedimientos de diseño, y es primordial en la investigación determinar qué criterio es el más relevante en esta actividad.

El 60% del personal técnico ha manifestado que utilizan normas; para el diseño de Líneas de Distribución, de Empresa Eléctrica de Ambato, mientras que el 30% utiliza de la Empresa Eléctrica Quito y el 10% de procedimientos adquiridos en la Empresa Eléctrica Cotopaxi. Estos datos se reflejan en la tabla 3 y gráfico 2.

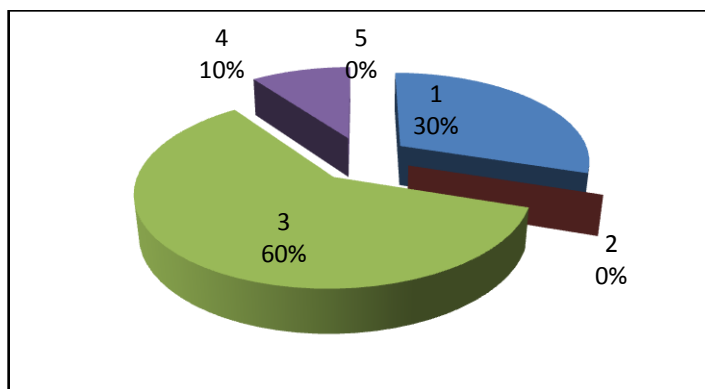
Se puede deducir que el criterio de diseño dependería de la normativa que el técnico eligiera como guía, la mayoría del personal técnico utiliza normas de diferentes Empresas para el diseño de Líneas de Distribución en la Provincia de Cotopaxi, sería importante que se realizara un consenso entre el personal involucrado y se siguiera una sola guía.

Además en la investigación se pudo determinar que el criterio utilizado en la línea de estudio fue el empleado por el ya desaparecido INECEL.

**TABLA 3. NORMAS UTILIZADAS EN ELEPCO S.A.**

<b>Nº</b>	<b>OPCIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>%</b>
1	Quito	3	30
2	Cuenca	0	0
3	Ambato	6	60
4	Cotopaxi	1	10
5	Ninguna	0	0
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

## GRÁFICO 2. NORMAS UTILIZADAS EN ELEPCO S.A.



FUENTE: Grupo de investigación

ELABORADO POR: Grupo de investigación

### 2. *¿Cree usted qué es importante el apantallamiento de las Líneas de Distribución en 13.8 kV?*

En el recorrido de reconocimiento que se ha realizado a la línea de interconexión que se investiga, se ha logrado observar que el apantallamiento realizado en líneas de distribución es de índole general, a pesar que la zona por donde atraviesa esta propensa a sufrir descargas muy cercanas, por esta razón, la inquietud de determinar el nivel de importancia que el equipo técnico aplica en cada uno de sus diseños, se hace presente en la investigación.

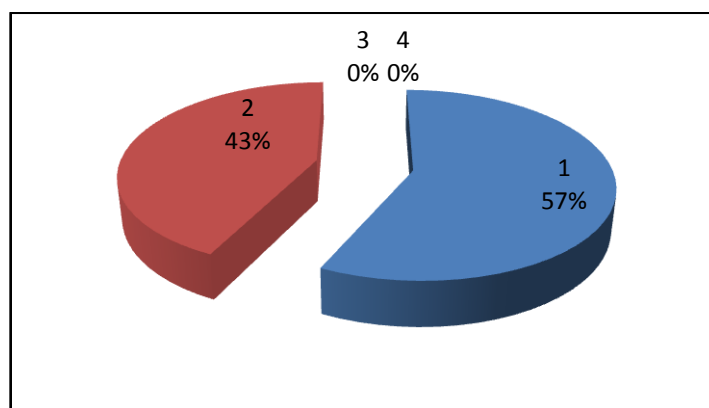
De los resultados obtenidos, el 57.14% da mucha importancia al apantallamiento en Líneas de Distribución en 13.8 kV, mientras el 42.86% revela que es importante.

De los datos mencionados se muestra en la siguiente tabla 4 y gráfico 3, y se pueden concluir que el personal técnico, coincide que es de vital importancia el apantallamiento en Líneas de Distribución para el buen funcionamiento del alimentador y así disminuir desconexiones por fallas en el apantallamiento.

**TABLA 4.** APANTALLAMIENTO EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN EN 13.8 kV.

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Muy Importante	4	57,14
2	Importante	3	42,86
3	Poco Importante	0	0
4	Nada Importante	0	0
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

**GRÁFICO 3.** APANTALLAMIENTO EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN EN 13.8 kV.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**3. En el sistema de apantallamiento para Líneas de Distribución a un voltaje de 13.8 kV ¿Se utiliza protecciones cómo?**

Esta interrogante se la ha manifestado para poder establecer cuantos tipos de apantallamiento son aplicados en líneas de distribución y saber el nivel de eficacia obtenida cada uno de los mismos.

Del 100% de los miembros del Personal Técnico encuestados, el 40% manifiesta que se utiliza como protección, en Líneas de Distribución, el hilo de guarda, el 30% que utiliza pararrayos, el 10% utiliza descargadores, mientras que el 20%

emplea varias alternativas de protecciones. Luego del análisis a las interrogantes, se puede interpretar que se utiliza diferentes maneras de protección en Líneas de Distribución a 13,8 kV

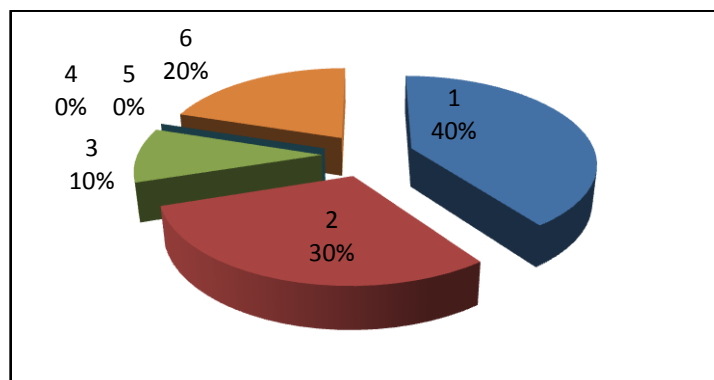
En la línea de estudio, se pudo observar el tipo de protecciones que se utilizó en el sistema de apantallamiento, los mismos que son descargadores encapsulados.

La respuesta es diferente a la realidad de las líneas de distribución en la provincia de Cotopaxi, ya que en las líneas de distribución no se ha observado hilos de guarda. Pero en la investigación se considerará que el técnico si tiene el criterio, y se investigara las causas y factores de no construir con hilo de guarda. De los resultados expuestos, se observa en la tabla 5 y gráfico 4 a continuación.

**TABLA 5. PROTECCIONES EN SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Hilo de Guarda	4	40
2	Pararrayos	3	30
3	Descargadores	1	10
4	Neutro sobre puesto	0	0
5	Ninguno	0	0
6	Todo los anteriores	2	20
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

**GRÁFICO 4. PROTECCIONES EN SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**4.- ¿En el diseño de apantallamiento en Líneas de Distribución a 13.8 kV, se considera aspectos como: resistividad del terreno?**

En el levantamiento de datos, se ha observado que la línea a investigar atraviesa por diferentes tipos de estratos de suelo, los mismos que de acuerdo a la investigación bibliográfica realizada, cada estrato tiene diferente nivel de resistividad, y se ha observado que en los lugares donde se encuentran las picas de puesta a tierra, no se han realizado tratamientos de suelo, los mismos que son recomendados para diferentes estratos, por esta razón se plantea la inquietud.

Del 100% de los encuestados, el 71,4% dice que si consideran aspectos como la resistividad del terreno, el 14,3% manifiesta que no, mientras que el porcentaje restante expresa que a veces se los toma en cuenta.

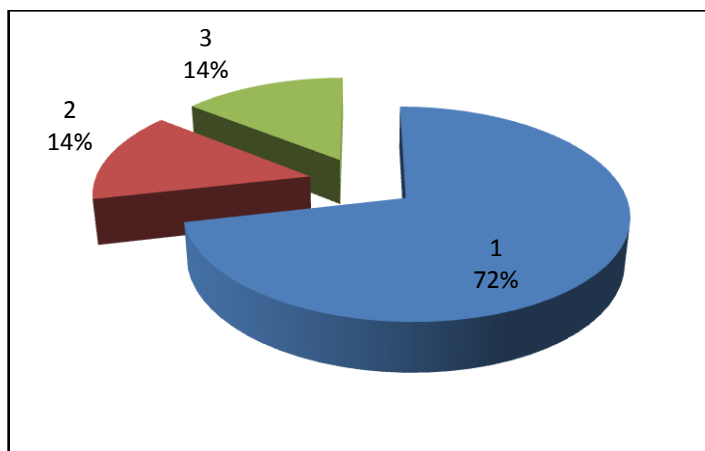
Se observa que la mayor parte del Personal Técnico, si considera como aspecto importante la resistividad del terreno, en el momento de diseñar el trazado de las Líneas de Distribución, como se demuestra en la tabla 6 y gráfico 5.

Se podría asumir que en la construcción de la línea en estudio no se considero aspectos como el mencionado en la pregunta, pero nace la inquietud que este aspecto además, no se lo considera en el mantenimiento, puesto que no se ha observado mejoras en los lugares donde constan las picas de puesta a tierra.

**TABLA 6. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.**

<b>Nº</b>	<b>OPCIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>%</b>
1	Si	5	71,4
2	No	1	14,3
3	A veces	1	14,3
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

## GRÁFICO 5. RESISTIVIDAD DEL TERRENO.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

### 5.- *¿Los Niveles Isoceráunicos de la Provincia están entre?*

Los mapas isoceráunicos fueron concebidos con la intención de conocer los sitios con mayor incidencia de tormentas eléctricas en el mundo.

El ex-INECEL ha determinado el nivel cerámico del Ecuador, con el objetivo de diseñar de forma técnica los sistemas de apantallamiento en líneas de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica a nivel nacional, al investigar en los archivos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi se constató que no cuenta con los mismos, y es de primordial importancia en la investigación determinar si el personal técnico conoce de los mapas de líneas isoceráunicas de Cotopaxi.

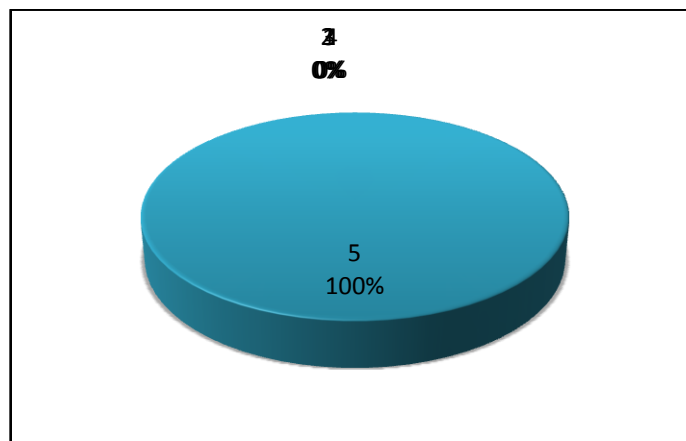
Del 100% de miembros del Personal Técnico encuestados, el 100% manifiesta que no sabe entre que cantidades se encuentra la Provincia de Cotopaxi con respecto a los Niveles Isoceráunicos.

Según los resultados obtenidos la mayoría del Personal Técnico encuestado opina que desconoce de los Niveles Isoceráunicos en la Provincia de Cotopaxi. Observando los resultados en la siguiente tabla 7 y gráfico 6, se establece la necesidad de obtener mapas que detallen el número de descargas de tormentas eléctricas o mapas ceráunicos en la Provincia de Cotopaxi.

**TABLA 7. NIVELES ISOCERÁUNICOS DE LA PROVINCIA.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	0 a 10	0	0
2	10 a 20	0	0
3	20 a 30	0	0
4	30 a 40	0	0
5	No Sabe	7	100
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

**GRÁFICO 6. NIVELES ISOCERÁUNICOS DE LA PROVINCIA.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**6.- ¿El mantenimiento que se aplica en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi es?**

Por la extensión de las líneas en la Provincia de Cotopaxi y la poca accesibilidad, principalmente en la línea a investigar, la inquietud se presenta por sí sola, y es vital importancia el conocer el tipo de mantenimiento que reciben las líneas de distribución para poder determinar la incidencia del tipo de proceso en el problema investigado.

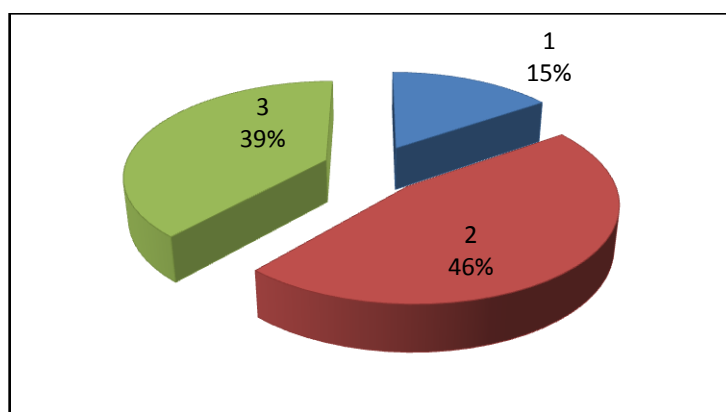
Del 100% de los encuestados, el 15,38% manifiesta que el tipo de mantenimiento que se lo realiza en ELEPCO es Predictivo, el 46,15% es Preventivo, mientras que el 38,46% dice que es Correctivo. Estos datos se pueden apreciar en la siguiente tabla 8 y gráfico 7.

Después de un análisis de los datos obtenidos en esta pregunta, se puede deducir que en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, la mayoría manifiesta que se realiza un mantenimiento Preventivo en Líneas de Distribución, siendo esta clase de operación la correcta para su desempeño normal.

**TABLA 8. MANTENIMIENTO QUE SE APLICA EN ELEPCO S.A.**

<b>Nº</b>	<b>OPCIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>%</b>
1	Predictivo	2	15,38
2	Preventivo	6	46,15
3	Correctivo	5	38,46
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

## GRÁFICO 7. MANTENIMIENTO QUE SE APLICA EN ELEPCO S.A.



FUENTE: Grupo de investigación.

ELABORADO POR: Grupo de investigación.

### 7.- *¿Con qué frecuencia se programa mantenimiento de Líneas de Distribución a 13.8 kV en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi?*

Conocer la frecuencia con la que se realiza el mantenimiento es significativo para complementar la pregunta anterior, y esto señalará que tan importante y cuál es la incidencia de realizar mantenimiento frecuente en las líneas de distribución.

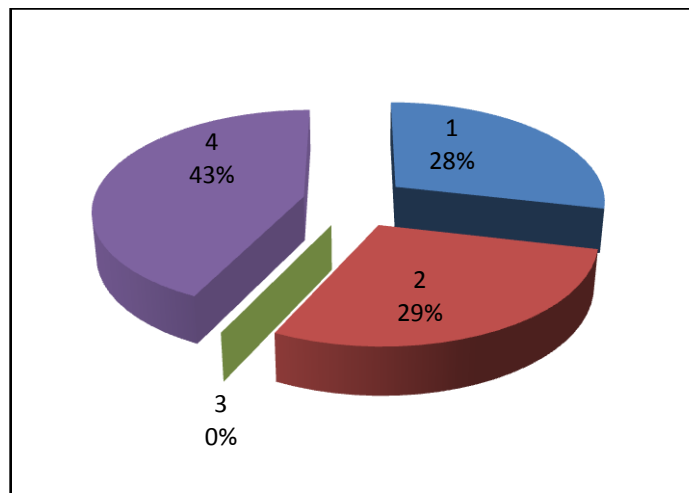
El 28.57% de los encuestados, ha manifestado que el programa de mantenimiento es trimestral, el 28.57% que es semestral, mientras que el 42.86% que lo realizan cuando se requiere. La mayoría de encuestados dice que no tiene un programa de mantenimiento, que lo realiza cuando se requiere. Esto se puede observar la tabla 9 y gráfico 8.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi no cuenta con un programa de mantenimiento durante el año, pudiendo ser una razón para que fallen las Líneas de Distribución. Se observa además que las respuestas obtenidas a esta pregunta contradicen la los datos obtenidos en la pregunta anterior. Quedando en incertidumbre estas dos preguntas.

**TABLA 9.** PROGRAMA DE MANTENIMIENTO QUE SE APLICA EN ELEPCO S.A.

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Trimestral	2	28,57
2	Semestral	2	28,57
3	Anual	0	0,00
4	Cuando se requiere	3	42,86
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

**GRÁFICO 8.** PROGRAMA DE MANTENIMIENTO QUE SE APLICA EN ELEPCO S.A.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**8.- ¿Cree usted que el personal de mantenimiento de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, está capacitado para las tareas que realizan?**

Por experiencias recopiladas en la investigación, se ha determinado que el éxito de mantener en buen estado las líneas de distribución no solo depende de la frecuencia con la que se las realice. Influye en gran medida de la calidad con las

que se efectúen las mismas, y se tendrá un gran logro de las mismas siempre y cuando el personal establecido para esta función, este completamente capacitado.

De aquí se realiza la pregunta que es fundamental en la investigación.

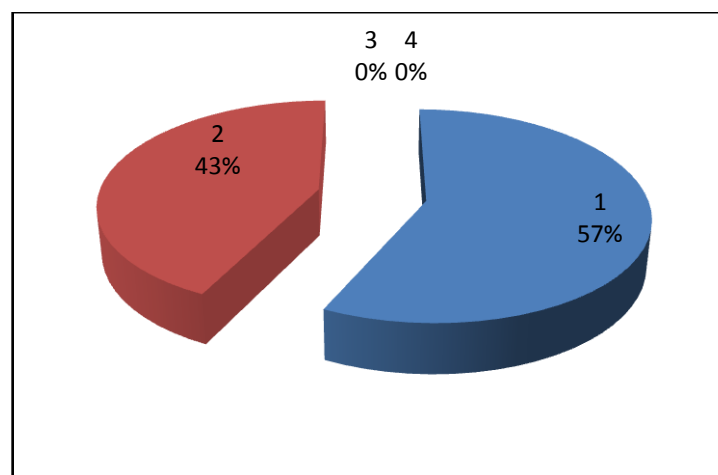
Del total del Personal Técnico encuestados, el 57,14% ha manifestado que se encuentran muy bien capacitados, y el 42,85% revela que están capacitados.

Los datos observados en la siguiente tabla 10 y gráfico 9, muestran claramente que el personal que falta capacitar es elevado, por lo que se hace visible una falencia en el equipo de diseño y mantenimiento.

**TABLA 10. PERSONAL DE MANTENIMIENTO CAPACITADO.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Muy Capacitados	4	57,143
2	Capacitados	3	42,857
3	Poco Capacitados	0	0
4	Nada Capacitados	0	0
<b>TOTAL %</b>			<b>100</b>

**GRÁFICO 9. PERSONAL DE MANTENIMIENTO CAPACITADO.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**9.- En los programas de mantenimiento realizado por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi. ¿Se considera aspectos como?**

En la investigación se ha recopilado aspectos de mantenimiento, que aunque parezcan no prioritarios son de mucha importancia para el buen funcionamiento de los dispositivos y equipos colocados en los sistemas de mantenimiento.

Estos aspectos de mantenimiento están determinados en gran parte por los fabricantes de equipos, pero en la investigación pretendemos conocer cuáles son los que la Empresa Eléctrica Cotopaxi maneja dentro de sus procesos de mantenimiento de estos equipos.

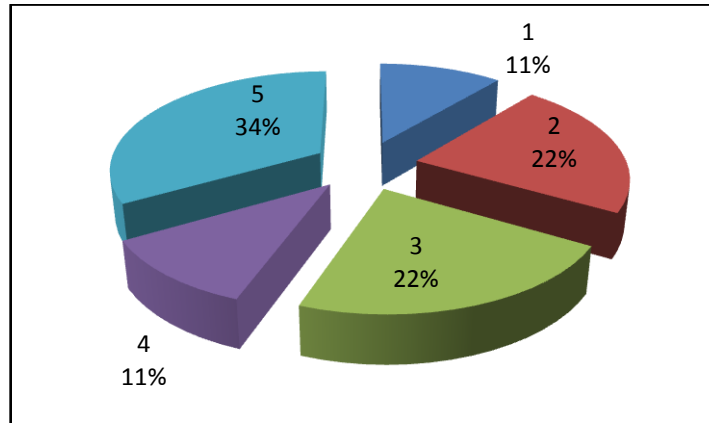
Del 100% del personal encuestado, el 11,11% muestra que en los programas de mantenimiento se considera aspectos de limpieza de aisladores, el 22,22% control de pararrayos, el 22,22% revisión de conexiones del sistema de puesta a tierra, el 11,11% control de la resistividad de suelo en los sistemas de puesta a tierra, mientras que el 33,33% la revisión de todos los elementos de protección.

De los resultados conseguidos, la mayoría del personal revisa todos los elementos en las líneas de distribución. Y como se puede observar en la siguiente tabla 11 y gráfico 10, es casi proporcional la importancia que se da a todos los aspectos del sistema de apantallamiento.

**TABLA 11. ASPECTOS QUE SE CONSIDERAN EN EL MANTENIMIENTO.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Limpieza de Aisladores	1	11,11
2	Control de los Pararrayos	2	22,22
3	Revisión de conexiones del sistema de puesta a tierra	2	22,22
4	Control de la resistividad del suelo en los sistemas de puesta a tierra	1	11,11
5	Todos los anteriores	3	33,33
<b>TOTAL %</b>			<b>100,00</b>

**GRÁFICO 10. ASPECTOS QUE SE CONSIDERAN EN EL MANTENIMIENTO.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**10.- En los recorridos realizados en Líneas de Distribución a 13.8 kV pertenecientes a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, se ha observado que el conductor neutro se encuentra conectado al cable tensor. ¿Qué se pretende lograr con este tipo de conexión?**

Al levantar datos en la línea de estudio, se ha observado que el conductor neutro se encontraba en su gran mayoría unido al cable tensor, en la investigación bibliográfica no se pudo determinar el objetivo de esta acción por lo que se ha planteado la pregunta de forma directa al personal que coordina esta acción.

Del 100% de encuestados, el 71.43% respondió, mientras que el 28,57% no respondió. Como se observa en la tabla 12 y gráfico 11.

La mayoría de los encuestados manifestó lo siguiente;

- Lo que se pretende es reducir el valor de la resistencia de puesta a tierra,
- Que no es adecuado colocar el cable neutro al cable tensor,

- Se lo realiza así por los múltiples robos de cable desde las bajantes.
- Lo mejor es un sistema de puesta a tierra independiente.

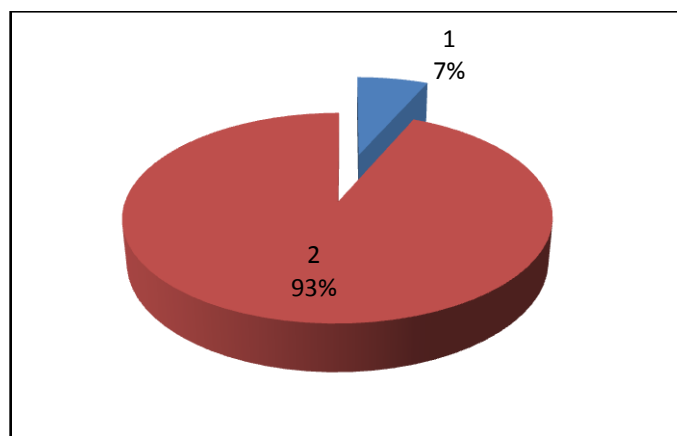
De los encuestados que no respondieron se puede determinar que no conocen la respuesta, y de quienes lo hicieron, no tienen un criterio común puesto que todas las respuestas son diferentes, quedando la inquietud aun por responder.

Por otro lado durante la investigación se ha podido conocer, que el criterio de conectar el conductor neutro al cable tensor, lo usaba el ex INECEL, con el objetivo de aumentar la protección haciéndola redundante.

**TABLA 12.** CABLE NEUTRO CONECTADO AL TENSOR.

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Responde	5	71,43
2	No responde	2	28,57
<b>TOTAL %</b>			<b>100,00</b>

**GRÁFICO 11.** CABLE NEUTRO CONECTADO AL TENSOR.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

#### **2.3.3.2.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICADA AL PERSONAL OPERATIVO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI.**

*1.- En Líneas de Distribución a 13.8 kV, ¿cree usted que el Nivel de Apantallamiento es el adecuado en Líneas pertenecientes a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi?*

Es parte importante de la investigación, el saber cual es nivel de conocimiento del personal operativo acerca de los sistemas de apantallamiento, y más importante saber el nivel de conocimiento que los mismos tienen, con respecto a las redes que existen en el área de concesión que está servida por ELEPCO.

Partiendo de esa inquietud se ha elaborado la pregunta.

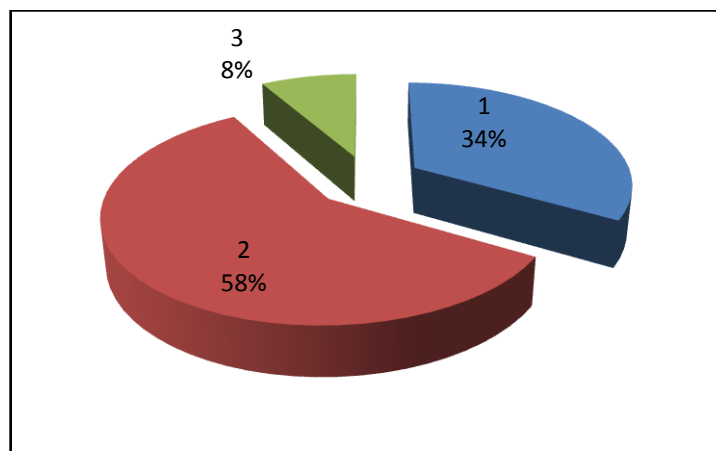
Del 100% de los encuestados, el 33,3% indica que el Nivel de Apantallamiento si es el adecuado, el 58,3% apunta que No, mientras que el 8,3% que No Sabe. Para mejor apreciación de los resultados se puede visualizar en la siguiente tabla 13 y gráfico 12.

Luego del análisis de los resultados obtenidos, se puede llegar a la conclusión que el mayor porcentaje del personal encuestado está de acuerdo con el nivel de apantallamiento con el que ELEPCO cuenta en sus líneas, pero no se tiene la certeza, que el personal operativo conozca el porqué y cómo se determina el uso de las mismas.

**TABLA 13.** ADECUADO NIVEL DE APANTALLAMIENTO.

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Si	4	33,3
2	No	7	58,3
3	No Sabe	1	8,3
<b>TOTAL %</b>		100,0	

**GRÁFICO 12.** ADECUADO NIVEL DE APANTALLAMIENTO.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**2.- ¿Cree usted, qué es importante el apantallamiento en Líneas de Distribución a 13.8 kV?**

Muchas de las ocasiones los miembros del personal operativo realizan trabajos de mantenimiento, suelen realizar trabajos de armado de herrajes y dispositivos, pero es substancial conocer cuál es el nivel de importancia que le dan a esta actividad, ya que el seguir un proceso de armado o montaje garantizará el buen funcionamiento del dispositivo y extenderá su vida útil. De aquí la pregunta.

Del total de miembros del personal operativo encuestados, el 58,3% señala que es muy importante el apantallamiento en Líneas de Distribución, el 25% expresa que

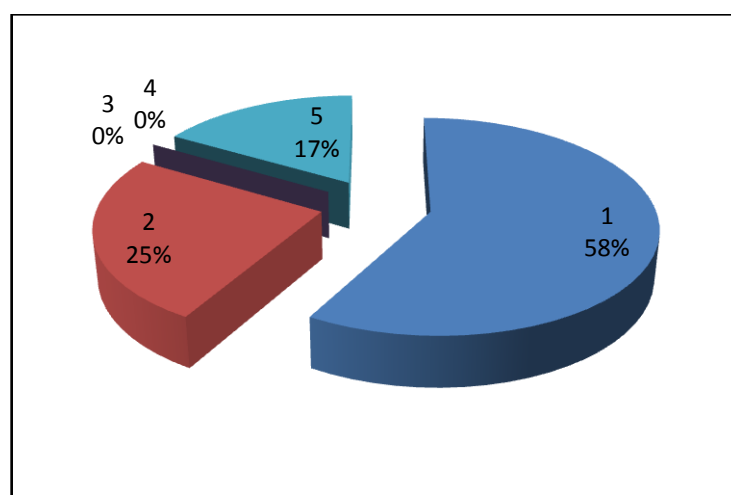
es importante, el restante 16,7% no responde, como se lo puede apreciar en el en la tabla 14 y gráfico 13 siguiente.

Un porcentaje mayoritario establece que es muy importante el apantallamiento en Líneas de Distribución a 13,8 kV, se puede concluir que es de conocimiento la importancia del apantallamiento al momento de diseñar Líneas de Distribución y más aún todavía que los miembros del personal operativo conozcan cuán importante es, que la actividad que ellos realizan, sea bien efectuada.

**TABLA 14.** APANTALLAMIENTO EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Muy Importante	7	58,3
2	Importante	3	25,0
3	Poco Importante	0	0,0
4	Nada Importante	0	0,0
5	No responde	2	16,7
<b>TOTAL %</b>		100,0	

**GRÁFICO 13.** APANTALLAMIENTO EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

***3.- ¿La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, cuenta con algún programa de mantenimiento de Líneas de Distribución a 13.8 kV?***

La pregunta plantea una inquietud muy importante, ya que varios fabricantes recomiendan para cada equipo, cierto periodo de uso entre cada mantenimiento. El mismo que está determinado bajo cierto tipo de condiciones como época del año entre otras.

Lamentablemente las condiciones varían de acuerdo al sector, de igual manera la regularidad con que se deba realizar mantenimiento.

Y la pregunta plantea, si dentro del mantenimiento realizado por el personal, ha efectuado un programa que cumpla los requerimientos para el buen funcionamiento de los equipos y dispositivos de apantallamiento.

Del 100% del Personal Operativo encuestado, el 16,7% indica que Si cuenta con un programa de mantenimiento, el 75% revela que No, y el 8.3% No sabe. De lo mencionado se muestra en la tabla 15 y gráfico 14.

La mayoría de encuestados manifestaron que no conocen de un programa de mantenimiento en la Empresa Eléctrica Cotopaxi, estos resultados plantean otra inquietud.

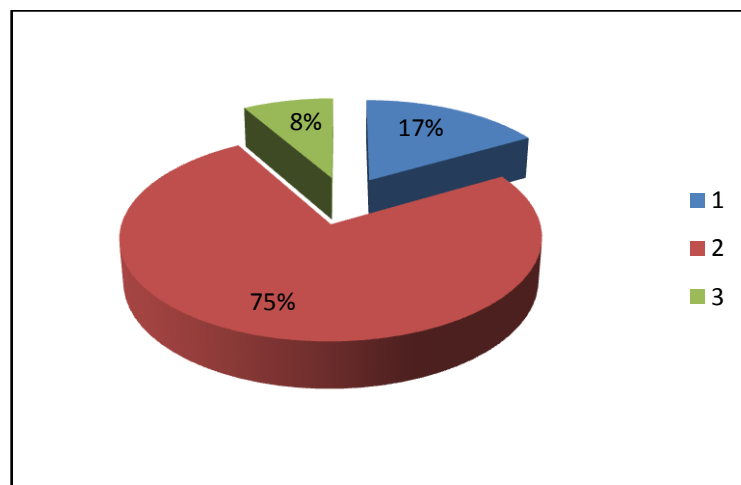
*¿A qué porcentaje de eficiencia se encuentran los dispositivos de apantallamiento con los que cuenta ELEPCO S.A. en sus redes de distribución?*

También se ha podido observar que la falta de personal para esta actividad, haga de él proceso de mantenimiento, un mantenimiento correctivo.

**TABLA 15. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Si	2	16,7
2	No	9	75,0
3	No Sabe	1	8,3
<b>TOTAL %</b>			100,0

**GRÁFICO 14. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**4.- ¿Cree usted, qué al personal de mantenimiento se lo capacita adecuadamente para las tareas que realizan?**

Esta inquietud está planteada de igual manera al personal técnico de ELEPCO, pero es de mucha importancia, conocer el criterio que el personal operativo tiene respecto a esta inquietud. Puesto que ellos están relacionados directamente con esta tarea.

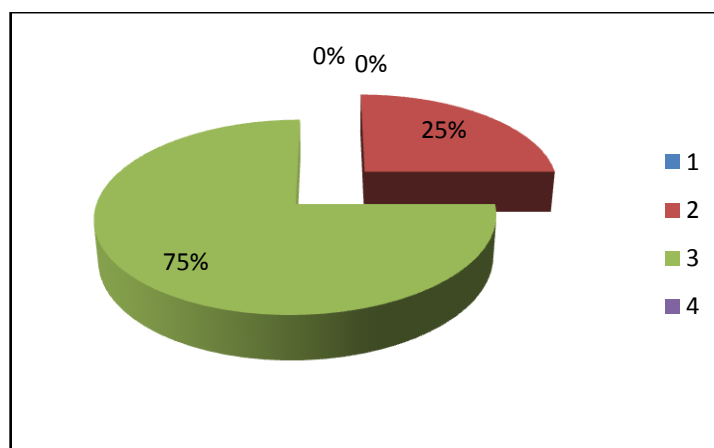
El 16,7% indica que Si, se lo capacita adecuadamente en las tareas que desempeñan, el 75% expresa que No se lo capacita, mientras que el restante 8,3% No sabe. Como se observa en la tabla 16 y gráfico 15.

Una alta proporción de encuestas manifiesta que no se lo capacita adecuadamente, pudiendo ser la causa que dificulta realizar las actividades de mantenimiento de forma óptima.

**TABLA 16. ADECUADA CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Muy Capacitados	0	0,0
2	Capacitados	3	25,0
3	Poco Capacitados	9	75,0
4	Nada Capacitados	0	0,0
<b>TOTAL %</b>		100,0	

**GRÁFICO 15. ADECUADA CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**5.- ¿Los daños ocasionados en Líneas de Distribución a 13.8 kV por descargas atmosféricas son?**

El personal operativo es quién se ve involucrado de forma directa en las actividades de reparación, montaje y sustitución de elementos y dispositivos, los mismos que se encuentran ubicados a lo largo de las líneas de distribución. Por lo que son ellos quienes ven de forma directa el daño ocasionado por las descargas a todos los elementos y estructuras.

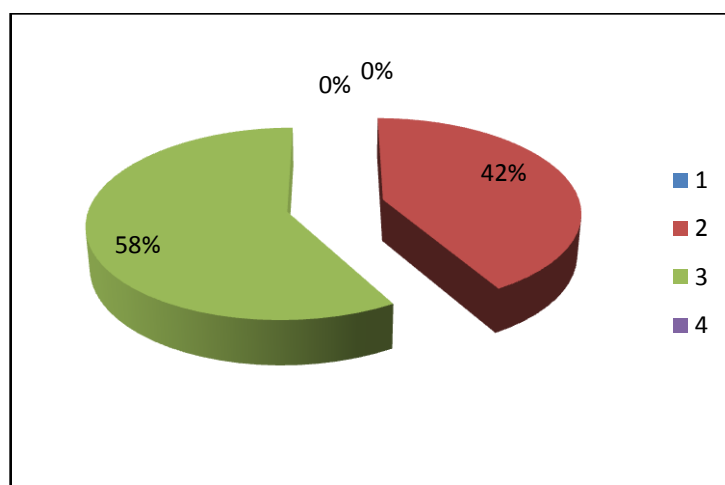
Del total de miembros encuestados, el 41,7% ha indicado que son frecuentes las descargas atmosféricas, el restante 58,3% manifiesta que son poco frecuentes.

Como se puede apreciar en la tabla 17 y gráfico 16, la mayoría del personal operativo expresa que los daños ocasionados por descargas atmosféricas son poco frecuentes, con lo que se puede determinar que los equipos de apantallamiento dan un nivel razonable de protección a las Líneas de Distribución a 13,8 kV, permitiendo que, luego de una interrupción sea mínimo el tiempo de reposición de servicio.

**TABLA 17. DESCARGAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN..**

<b>Nº</b>	<b>OPCIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>%</b>
1	Muy frecuentes	0	0,0
2	Frecuentes	5	41,7
3	Poco frecuentes	7	58,3
4	No existen daños	0	0,0
<b>TOTAL %</b>		100,0	

**GRÁFICO 16.** DESCARGAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**6.- ¿Por qué cree usted que existen daños por descargas atmosféricas en Líneas de Distribución a 13.8 kV?**

Como se sabe, uno de los mejores maestros es la experiencia, y parte de la investigación es conocer el criterio adquirido a través del tiempo, por el personal operativo, para analizar situaciones que ayudarán a solucionar el problema.

El 66,7% ha manifestado que los daños producidos en las líneas de distribución, por descargas atmosféricas, se deben principalmente a que se realiza un mal diseño para las Líneas de Distribución, el 8.3% cree por su parte que los daños se deben al poco mantenimiento que se da a los dispositivo y al sistema en sí, de apantallamiento en las Líneas de Distribución, y el 25% opta por no manifestar ningún criterio.

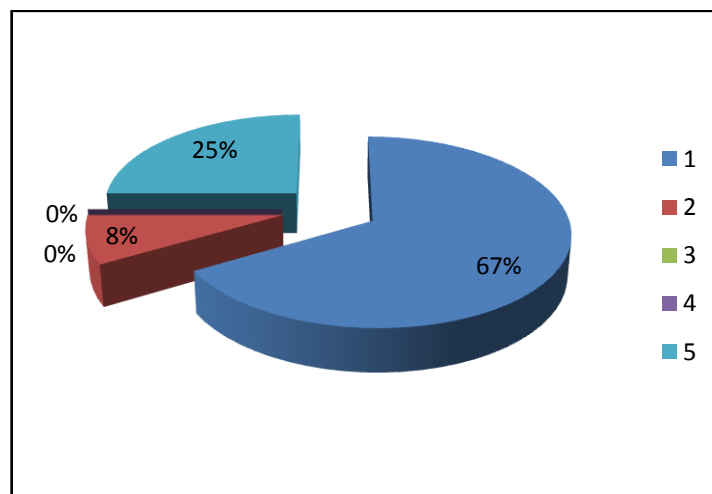
Al analizar estos datos en la tabla 18 y gráfico 17., se puede notar, que la mayor parte de encuestados indican que los daños que surgen por descargas atmosféricas, son ocasionados por un mal diseño en las Líneas de Distribución, además se puede decir que la colocación sin criterio de equipos y dispositivos de proyección,

hace que los mismos se deterioren o no presten el 100% de protección a las líneas en las cuales fueron colocados.

**TABLA 18. DAÑOS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Un mal diseño en las Líneas de distribución	8	66,7
2	Poco mantenimiento en las Líneas de distribución	1	8,3
3	Un mal mantenimiento en las Líneas de distribución	0	0,0
4	Todas las anteriores	0	0,0
5	No responde	3	25,0
<b>TOTAL %</b>		100,0	

**GRÁFICO 17. DAÑOS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**7.- ¿Cree usted que el personal de mantenimiento en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, es el suficiente para realizar esta tarea en la Provincia?**

Muchas de las ocasiones el personal administrativo, ignora la situación real del personal operativo y de sus funciones, organizando tareas en tiempos estimados, y con menos personal del que en la realidad se emplearía, por esta circunstancia se considera que es importante saber la opinión y requerimientos de las personas que se involucran directamente en estas tareas.

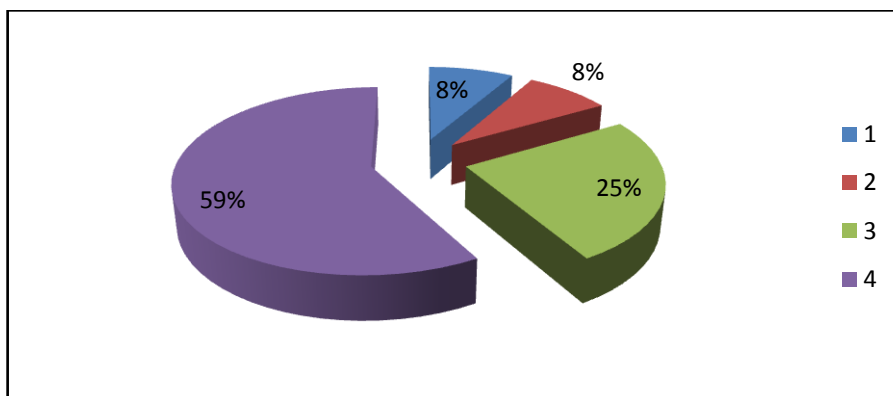
Del total del personal encuestado, el 8,3% expresa que si es suficiente el personal de mantenimiento, el 8,3% que No es necesario más personal, el 25% indica que, Si es suficiente pero necesita mejor capacitación, el 58,3% expresa que Si es suficiente pero requiere de mayor organización.

De los datos analizados en la tabla 19 y gráfico 18., se puede notar que, tener suficiente personal no siempre es la solución, ya que si no se capacita al grupo, el mismo no podrá enfrentar y efectuar a cabalidad las tareas para las que fueron contratados, así también una buena organización del personal ayudará que cada trabajo se lo realice en el menor tiempo posible.

**TABLA 19. PERSONAL DE MANTENIMIENTO.**

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Si, es suficiente.	1	8,3
2	No, es necesario más personal.	1	8,3
3	Si, es suficiente pero necesita mejor capacitación.	3	25,0
4	Si, es suficiente pero requiere de mayor organización.	7	58,3
<b>TOTAL %</b>		100,0	

## GRÁFICO 18. PERSONAL DE MANTENIMIENTO



FUENTE: Grupo de investigación.

ELABORADO POR: Grupo de investigación.

### 8.- *¿Con qué frecuencia, es capacitado el personal operativo de mantenimiento de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi?*

El refrescar y reforzar los conocimientos del personal en las tareas que realizan, es muy importante ya que se debe actualizar la información de la nueva tecnología adquirida y como es su empleo, por esto es primordial y de interés en la investigación el saber el nivel de capacitación que tiene el personal involucrado.

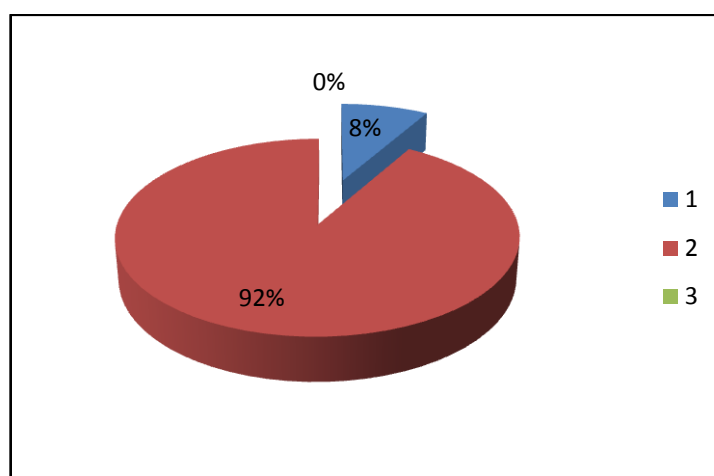
Del 100% de los encuestados, el 8,3% indica que el personal de mantenimiento siempre es capacitado, el 91,7% revela que a veces se lo capacita, como se puede observar en la tabla 20 y gráfico 19.

Luego de analizar los resultados se puede notar, que los mismos revelan una realidad en la que, la falta de interés por parte de la administración hace que el personal operativo no pueda realizar sus labores a cabalidad, repercutiendo en el servicio que la empresa brinda al usuario final.

**TABLA 20.** CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO.

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Siempre	1	8,3
2	A veces.	11	91,7
3	Nunca.	0	0,0
<b>TOTAL %</b>			100,0

**GRÁFICO 19.** CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO.



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**9.- ¿Cree usted que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, aporta con suficiente equipo para un buen mantenimiento de Líneas de Distribución?**

El conocimiento en la actualidad debe estar acompañado de equipos de última tecnología, además de una buena capacitación a los obreros para que realicen las diferentes tareas, que las redes en servicio requieren.

Si esto no es suficiente, el mantenimiento no será el adecuado. Por este motivo la inquietud se plantea por sí sola.

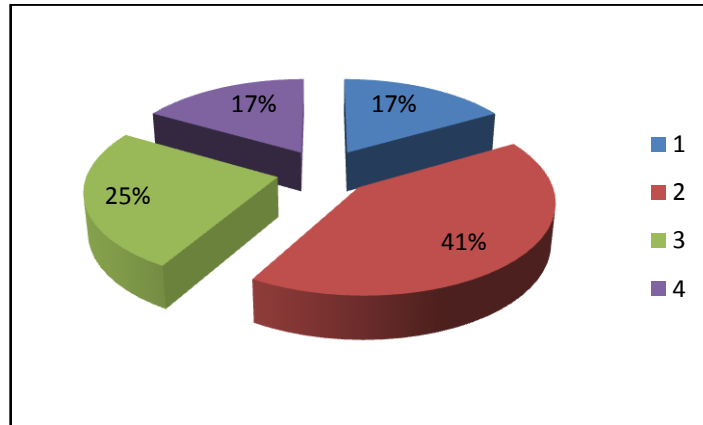
El 16,7% indica que Si, que la empresa aporta con suficiente equipo para un buen mantenimiento, el 41,7% que No es el suficiente, creen que si deberían actualizar sus equipos de operación, mientras que el 25% restante piensa que la empresa se preocupa pero los recursos son limitados, el restante 16,7% que No, afirma que la administración no le da la respectiva importancia a este asunto por lo tanto, no se preocupa.

Resumiendo, se observa que un considerable porcentaje, no está de acuerdo con los equipos y herramientas que en la actualidad cuenta la empresa para las operaciones, y los resultados de la pregunta se observan en la tabla 21 y gráfico 20., revelando que la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, no aporta con suficiente equipo para un correcto mantenimiento en Líneas de Distribución a 13,8 kV.

**TABLA 21:** APORTE DE EQUIPOS PARA UN BUEN MANTENIMIENTO.

Nº	OPCIONES	RESULTADOS	%
1	Si	2	16,7
2	No	5	41,7
3	Se preocupa, pero los recursos son limitados.	3	25,0
4	No se preocupa.	2	16,7
<b>TOTAL %</b>		100,0	

**GRÁFICO 20: APORTE DE EQUIPOS PARA UN BUEN MANTENIMIENTO.**



**FUENTE:** Grupo de investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de investigación.

**2.3.4. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO.**

Como manifiesta IZQUIERDO Arellano Enrique (1999: Pág.97), este método “consiste en la búsqueda de investigación científica en bibliotecas, lugares donde se guarda todo tipo de información escrita”.

Con este método se pretende localizar archivos y documentos históricos de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, también datos técnicos de las líneas de distribución de la misma.

Estos datos servirán para conocer el estado actual del alimentador a investigar y para realizar el análisis adecuado de cada uno de sus tramos, que ayudará a solucionar el problema que tiene el sistema de apantallamiento de la línea de interconexión entre la subestación San Rafael y la Central de Generación El Estado.

Del trabajo realizado detallamos lo siguiente:

#### **2.3.4.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA.**

El área asignada a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi para la concesión eléctrica, fue establecida por los organismos de regulación, los mismos que la determinaron en función de los límites Provinciales y de la factibilidad que las líneas de distribución pertenecientes a ELEPCO S.A., podían brindar a los poblados cercanos, como se observa en la figura 5.

Esto permite cubrir los siete cantones de la provincia, lamentablemente no de forma total en los cantones Latacunga, Salcedo, La Maná y Sigchos, los mismos que se encuentran atendidos de forma parcial por empresas vecinas, que por cercanía a sus líneas de distribución resulta técnicamente factible la alimentación desde esos puntos

Por otra parte ELEPCO cubre de forma parcial sectores de otras provincias vecinas, como es el caso de Bolívar, Los Ríos y Tungurahua, que de igual manera por la factibilidad técnica se ha asignado servir con energía eléctrica desde las líneas pertenecientes a ELEPCO.

#### **2.3.4.2. DEMANDA ELÉCTRICA DE COTOPAXI.**

La demanda registrada en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, para la Provincia es de 250 MW, los mismos que se encuentran abastecidos de dos formas, la primera por medio de la generación propia de ELEPCO que representa el 20% y el 80% restante por medio de la conexión existente al Sistema Nacional Interconectado.

#### **2.3.4.3. NIVELES DE VOLTAJE DE ELEPCO S.A.**

Para cubrir el área de concesión asignada a ELEPCO, se han creado ocho subestaciones, las mismas que se alimentan de dos maneras; desde las centrales

propias de ELEPCO, a 22 kV con la central Illuchi 1 y 13.8 kV desde la central Illuchi 2. En el sector oriental de la provincia y con las centrales: Catazón, Angamarca y el Estado, en el parte occidental y mediante el Sistema Nacional Interconectado es abastecida la demanda energética a 69 kV, como se muestra en la figura 6.

Para la comercialización de la energía, ELEPCO maneja voltajes de distribución de 13.8 kV y 220/110 V para el servicio domiciliario, en sistemas netamente de tipo radial.

## **2.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.**

### **2.4.1. ENUNCIADO.**

“Mediante el estudio del alimentador de interconexión entre la subestación San Rafael y la Central de Generación El Estado, se podrá determinar nuevas condiciones para el diseño de apantallamiento en líneas de ese tipo”

### **2.4.2. ARGUMENTACIÓN.**

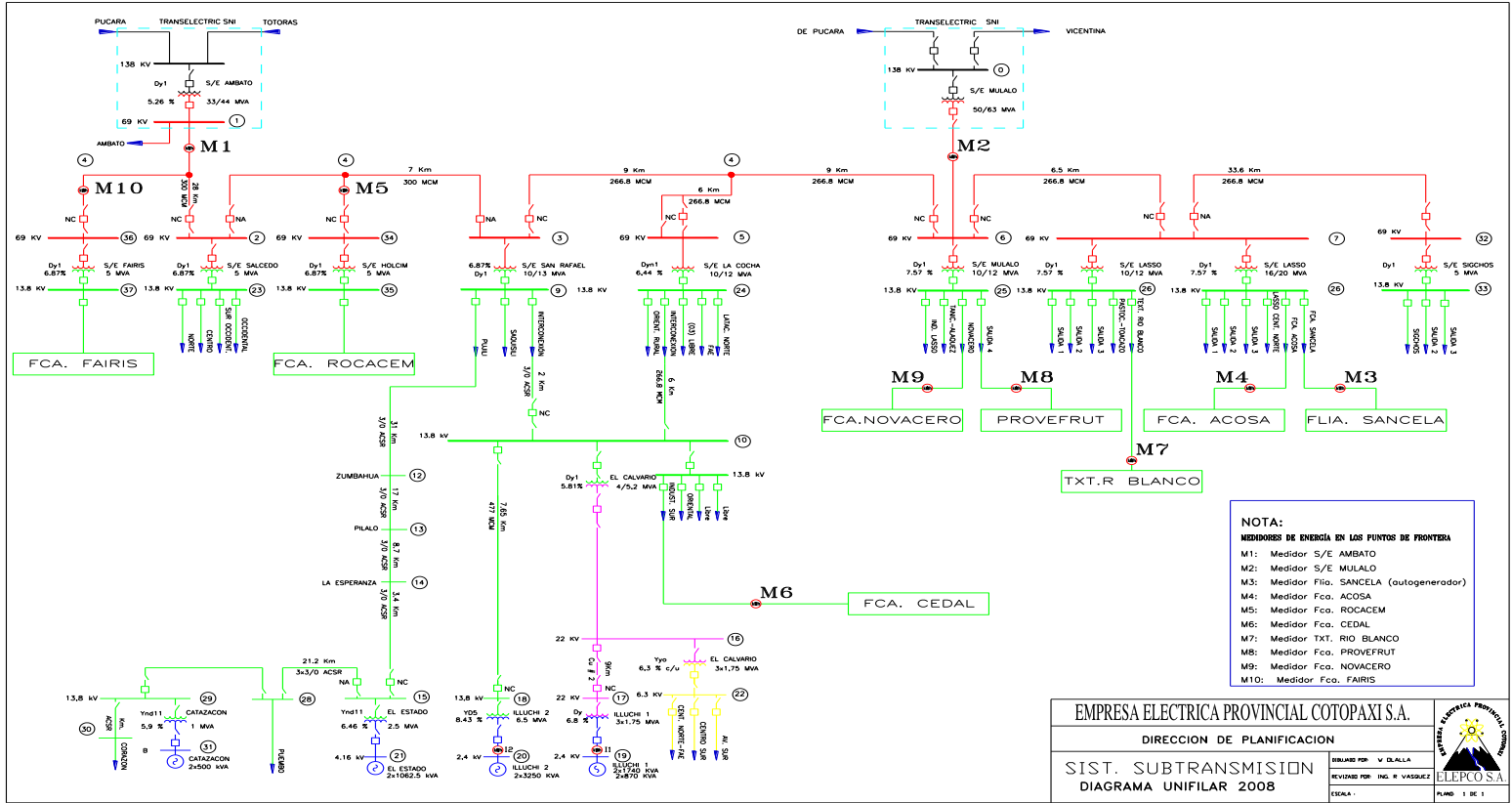
Mediante las encuestas realizadas y los datos obtenidos en el levantamiento de campo, se puede determinar que el estudio que se pretende realizar, y es muy importante para el mejoramiento de normas en diseños futuros. Además la corrección de varios factores, ayudará a que problemas que hoy existen se minimicen y en un futuro cercano se los elimine.

### **2.4.3. DECISIÓN.**

En base a los datos obtenidos al usar los diferentes métodos de investigación, y al analizar los resultados derivados de los mismos, se puede determinar que es factible realizar el estudio del diseño de apantallamiento de la línea de



**FIGURA 6. NODOS DE CONEXIÓN AL SNI Y DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN DE ELEPCO S.A.**



FUENTE: ELEPCO S.A.

ELABORADO POR: Grupo de investigación.

## **CAPÍTULO III**

### **PROPUESTA DEL “ESTUDIO DEL SISTEMA DE APANTALLAMIENTO PARA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA LÍNEA TRIFÁSICA DE INTERCONEXIÓN ENTRE LA SUBESTACIÓN SAN RAFAEL Y LA CENTRAL DE GENERACIÓN EL ESTADO PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI.”**

#### **3.1. PRESENTACIÓN.**

El presente trabajo se ha realizado con el fin de eliminar interrupciones en el servicio eléctrico, debido a fallas de sobrevoltaje producido por descargas atmosféricas, las mismas que son fenómenos inevitables, pero que se puede salvaguardar. En la actualidad se encuentra equipos y dispositivos que hacen esto posible.

La investigación recoge información de cómo es producido el fenómeno atmosférico y de cómo es su comportamiento en las líneas de distribución de energía eléctrica. Con los resultados obtenidos se ha planteado una propuesta que de acuerdo a los cálculos tendrá una respuesta favorable en el sistema de apantallamiento.

Desde su generación, con el uso de turbinas generadoras, las mismas que son impulsadas de forma hidráulica, eólica, térmica en centrales de generación.

La energía producida en las turbinas necesita ser transportada de forma eficiente por medio de líneas de transmisión y subtransmisión a las subestaciones para su distribución. Estas líneas por su extensión son propensas principalmente a fenómenos de tipo climáticos, que pueden interrumpir el servicio eléctrico, por lo que se ha desarrollado métodos de protección denominados sistemas de apantallamiento, los mismos que consisten en desviar la energía de choque directo o inducido por las descargas, a sistemas de evacuación de esta energía.

Por el nivel de voltaje utilizado en líneas de distribución no se ha considerado parámetros similares a líneas de transmisión o subtransmisión en sus diseños de apantallamiento, esto no quiere decir que la afectación de los fenómenos atmosféricos no incida de forma similar.

Con el desarrollo de la tecnología y la modernización de las empresas de comercialización de energía, las mismas que al incorporar equipos de posicionamiento geográfico se han obtenido datos georeferenciados de la ubicación real de las líneas de distribución, los mismos que se han utilizado para realizar estudios que determinarán una mejor eficiencia de las líneas.

Por la extensión y geografía de la provincia de Cotopaxi, las líneas de distribución atraviesan zonas con altitudes que sobrepasan los 3000 metros sobre el nivel del mar, haciéndolas propensas a descargas atmosféricas. Una de estas, es la línea de interconexión entre la subestación San Rafael y la central de generación El Estado, la misma que cruza la cordillera occidental de la provincia, abasteciendo de energía eléctrica a varios sectores del cantón Pujilí.

Siendo la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi la encargada de abastecer de energía eléctrica a la provincia en toda el área de concesión establecida por el CONELEC, ha ampliado sus líneas a mayores zonas rurales y comunidades de la

provincia, lo que ha hecho que se convierta en la tercera empresa con más extensión de línea en el sector rural.

Cubrir zonas de elevadas altitudes con líneas eléctricas, exige al personal de diseños más confiabilidad en los mismos, perfeccionando los sistemas de coordinación de protecciones, para evitar eventuales interrupciones de servicio y reduciendo la extensión de sectores sin energía. Fallas que resultan en pérdidas económicas elevadas para la empresa y para el sector productivo.

Las descargas atmosféricas son causantes de sobrevoltajes en líneas de transmisión, subtransmisión y distribución, los mismos que si no se despejan de forma apropiada pueden ocasionar daños en equipos y centros de transformación. Un diseño adecuado puede reducir de forma significativa el impacto ocasionado a las líneas.

Además la falta de planes de mantenimiento preventivo y el desconocimiento del estado real de la línea, hacen que la misma se encuentre en peligro latente de falla por descargas atmosféricas.

### **3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.**

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, como empresa distribuidora tiene el afán de entregar servicio eléctrico óptimo y continuo a todos los usuarios de su área de concesión, contemplados por los cantones de: Latacunga, La Mana, Pujilí, Pangua, Salcedo, Saquisilí y Sigchos, señalando además que EMELSAD Y EMELGUR sirven parte de los poblados del sector occidental de la provincia.

La línea en estudio tiene una longitud aproximada de 61,375 Km. y junto a sus derivaciones abarcan un área de servicio de 440494,189 m<sup>2</sup> aproximados, por eso es importante que la misma no sea interrumpida o de darse el caso que sea por el tiempo mínimo posible.

Debido a la altitud en la cordillera occidental de la provincia, la línea se ha visto expuesta a constantes descargas atmosféricas, las mismas que al no ser despejadas de modo seguro, disipan toda su energía en el conductor, estructuras de aislamiento y protecciones.

Mediante un análisis del sistema de apantallamiento, se ha identificado el estado actual del mismo en cada uno de los sitios donde inicialmente fue instalado, para así determinar si cuentan con una protección apropiada.

Además se ha determinado si el personal de mantenimiento que ELEPCO S.A., cuenta con un proceso establecido. Además comprobar si la periodicidad del mantenimiento es el adecuado para salvaguardar el estado de la línea, tanto en la estación de verano como en la de invierno.

Mediante un análisis del montaje del sistema de apantallamiento, tanto en la línea de descarga a tierra, como en el poste, se persigue eliminar el hurto del conductor por parte de los habitantes del sector, ubicando el material de forma disimulada y de difícil extracción de los mismos.

Por otra parte se ha analizado la resistividad del terreno, para de esta manera establecer el valor de resistencia actual y, si es el caso mejorar las condiciones del terreno para que las instalaciones de puesta a tierra garanticen la salida inmediata de las descargas.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, al conocer del estudio que se pretende en la línea de trifásica de interconexión de su propiedad, se ha manifestado de forma entusiasta, dando apertura a la información necesaria que sea requerida en el transcurso del análisis, y comprometiéndose con su personal técnico y con los equipos que se requiera. Además por la extensión del circuito y el trayecto que atraviesa pone a disposición la movilización pertinente.

### **3.3. OBJETIVO.**

#### **3.3.1. OBJETIVO GENERAL.**

Realizar el estudio del sistema de apantallamiento para descargas atmosféricas en la línea trifásica de interconexión entre la subestación San Rafael y la Central de Generación el Estado perteneciente a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, para disminuir la destrucción de estructuras y conductores en la línea, analizando las características existentes en la misma, tanto eléctricas, mecánicas y de diseño.

##### **3.3.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Investigar y recopilar información sobre estudios realizados y experiencias de varios científicos e ingenieros que han profundizado acerca del tema.
- Conocer el nivel de conocimiento de todo el personal involucrado y determinar el método investigativo más adecuado, que guiara el estudio.
- Verificar y diagnosticar el estado actual del sistema de apantallamiento para sobrevoltajes de origen atmosférico, en las líneas aéreas de distribución principalmente las que atraviesan por zonas elevadas, para así obtener una solución alternativa al problema encontrado.

### **3.4. ALCANCE.**

Para el estudio se ha seleccionado el Alimentador de la salida 2 conectado a la S/E San Rafael, el mismo que abarca el sector occidental de la provincia de Cotopaxi e interconecta la subestación con la central de generación El Estado.

Se ha analizado, tanto el comportamiento de la descarga en el circuito principal, como en sus derivaciones trifásicas y monofásicas. Las mismas que cubren

principales sectores rurales del cantón Pujilí y Sigchos, abarcando así la totalidad del circuito en estudio.

Se ha observado las fallas, para así determinar las mejores soluciones al problema encontrado.

### **3.5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.**

#### **3.5.1. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE APANTALLAMIENTO.**

La eficacia de un sistema de apantallamiento depende del diseño con el que fue construido, además del mantenimiento que se realice en el mismo. Por esta razón el análisis está enfocado al diseño original del sistema y al estado actual en que se encuentra.

Otro aspecto esencial, es el proceso de mantenimiento que se da a los diferentes elementos de un sistema de apantallamiento y la periodicidad con el que se lo realiza.

Este fue el punto de partida para determinar las posibles falencias que presenta el sistema de apantallamiento, ante la presencia de sobrevoltajes de origen atmosféricos. Con lo expuesto se pretende diagnosticar y encontrar una mejor solución a los problemas existentes.

#### **3.5.2. DATOS RELEVANTES.**

Los datos requeridos para el presente trabajo fueron un 80% de campo. Los mismos que se levantaron en el sitio por donde atraviesa la línea, y los datos restantes son de tipo bibliográficos los mismos que fueron consultados en libros de estudios relacionados y en los archivos de la Empresa Eléctrica Cotopaxi.

Todos los datos serán actualizados en caso de tener más de un año de antigüedad para poder avalar los resultados obtenidos.

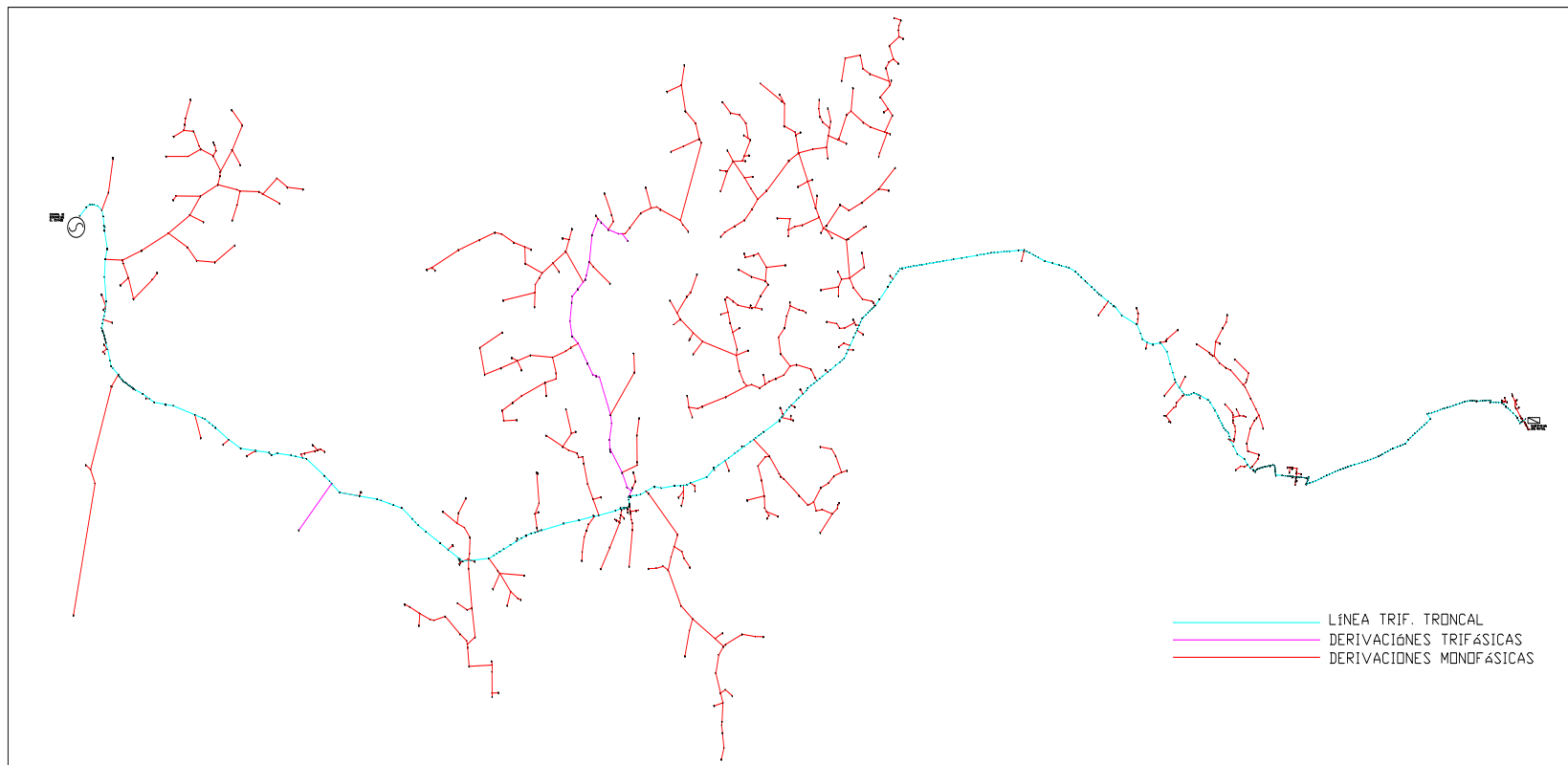
### **3.5.2.1. RECOPIACIÓN DE DATOS.**

Para la acumulación de información relevante, se ha realizado dos tipos de trabajo:

- De los datos obtenidos del desarrollo de campo, él mismo que ha ayudado a recopilar información tal como:
  1. Levantamiento topográfico de la línea trifásica y derivaciones monofásicas, el mismo que se lo realizó, con un equipo de posicionamiento global **GPS** marca Trimble de tipo GeoXT con precisión de menos de 0,5 metros, y calibrado en la zona 17 sur con el modelo estándar de SGW de 1984, el mismo que fue utilizado para levantar datos en: vértices, centros de transformación, seccionamientos, pararrayos, puestas a tierra y marcar los sitios donde se tomó varias muestras de resistividad. Los datos obtenidos se muestran en la figura 7.
  2. Registros del tipo de línea y sus características como: calibre de conductores, tipo de estructuras, estado de las puestas a tierra y fases de cada una de las derivaciones. Los datos se observa en la tabla 22.
  3. Resistividad del suelo y resistencia de las puestas a tierra. Los mismos que fueron obtenidos con el equipo marca AEMC 450, cuya información fue recopilada en varios puntos de los diferentes estratos por los que atraviesa la línea y en los puntos donde existían estructuras de puesta a tierra.
- **Bibliográfico**, obtenidos en bibliotecas y en los archivos de la Empresa Eléctrica Cotopaxi.

**FIGURA 7.**

**LEVANTAMIENTO GEOREFERENCIADO DE LA SALIDA # 2, DE LA SUBESTACIÓN SAN RAFAEL.**



**FUENTE:** Grupo de Investigación.

**ELABORADO POR:** Grupo de Investigación.

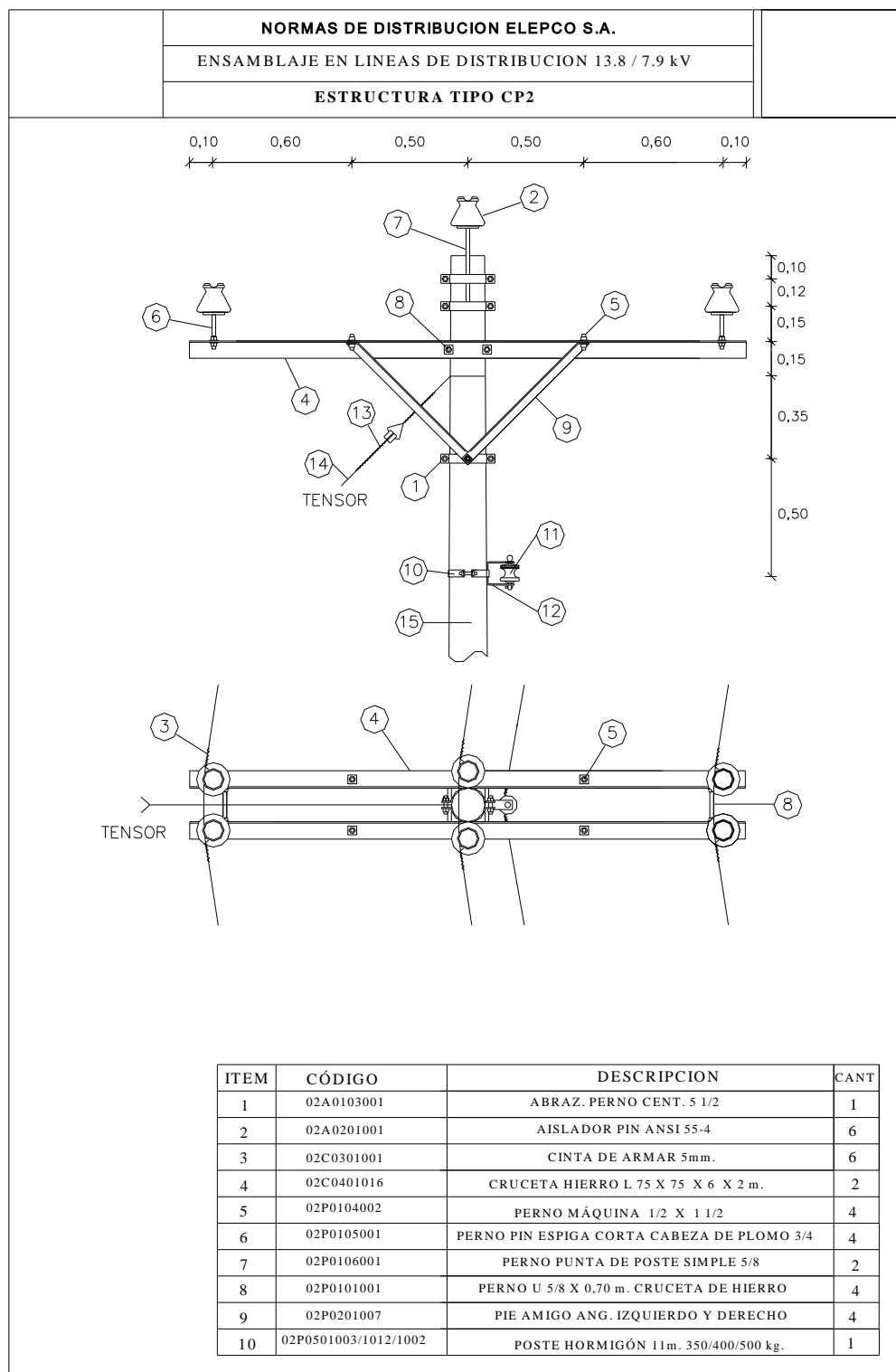
**TABLA 22. TIPOS DE ESTRUCTURA, PUESTAS A TIERRA Y PARARRAYOS, ESTRUCTURA Y FASES DERIVACIONES.**

NODO	CÓDIGO	A	MATERIAL	FASE	TRANSFOR.	X	Y	Z	HORA	ESTRUC	OTECCI	TENSOR	
Poste	18993	11	Hormigon cent.	C	MONOFASICO	749.901	9.899.219	3.897	03:40:32pm	UR11	PL	SL	TT21
Poste	19054	11	Hormigon cent.	ABC		746.259	9.901.003	3.887	05:37:06pm	CR21	3PL		2TT11 2TT11
Derivación	16111	11	Hormigon cent.	ABC		734.531	9.894.133	3.485	05:32:03pm	CR21	3PL	SL	
Poste	907161045	11	Tubo Hierro	A		726.236	9.893.651	3.686	09:35:44pm	UR21	PL		
Poste	75162	11	Hormigon cent.	ABC		720.761	9.895.368	2.122	03:35:45pm	HR21	3PL		
Poste	75435	11	Hormigon cent.	ABC	MONOFASICO	716.189	9.899.615	1.447	06:43:30pm	HR21	3PL		
Poste	19025	11	Hormigon cent.	ABC	MONOFASICO	747.373	9.901.087	3.788	05:07:10pm		PL	SL	TT11
Poste	19053	11	Hormigon cent.	ABC		746.259	9.901.001	3.884	05:38:49pm				2TT11 2TT11
Poste	19085	11	Hormigon cent.	ABC		743.023	9.900.384	4.002	03:19:47pm	CP11	3PL		TT11
Poste	19082	11	Hormigon cent.	ABC	MONOFASICO	743.230	9.900.562	4.024	03:25:54pm	CP11	SL	PL	TT11
Poste	16822	11	Hormigon cent.	ACB		736.995	9.894.884	3.696	06:24:51pm	CP11			TT11 TT11
Derivación	907161003	11	Hormigon cent.	ABC	TRIFASICO	733.671	9.893.646	3.519	06:09:48pm	CR21	3sl		TT21 TT21
Poste	16066	11	Hormigon cent.	ABC		735.908	9.894.311	3.788	04:36:32pm	HR21	PL		5TT11
Derivación	15699	11	Hormigon cent.	C		729.196	9.892.192	4.033	07:37:08pm	UR21	SL	PL	2TT11 2TT11
Poste	907161028	11	Tubo Hierro	C		726.233	9.893.645	3.686	09:36:15pm	UR21			TT11 TT11
Poste	14518	11	Hormigon cent.	ABC	TRIFASICO	733.970	9.893.708	3.509	06:04:52pm	CP11	3PL		
Poste	907161036	11	Hormigon cent.	ABC	MONOFASICO	730.457	9.892.863	4.013	07:09:10pm	CR21	4PL		
Poste	75002	11	Hormigon cent.	ABC		727.804	9.892.454	3.942	08:37:37pm	CR21	3PL		
Poste	75013	11	Hormigon cent.	ABC		726.783	9.893.158	3.786	09:01:34pm	CR11	3PL		
Poste	75315	11	Hormigon cent.	ACB		716.319	9.897.900	1.565	05:35:07pm	CP11	SL	PL	
Poste	75043	11	Hormigon cent.	C		722.993	9.895.068	2.497	02:40:10pm	UA21	SL	PL	
Poste	907181077	11	Hormigon cent.	-		720.760	9.895.366	2.122	03:36:52pm				
Poste	75226	11	Hormigon cent.	-		717.821	9.896.695	1.716	05:00:04pm				
Poste	75436	11	Hormigon cent.	-		716.188	9.899.615	1.447	06:44:01pm				

FUENTE: Grupo de Investigación.

ELABORADO POR: Grupo de Investigación

**FIGURA 8. ESTRUCTURA TÍPICA EN LA LÍNEA DE ESTUDIO.**



**FUENTE: ELEPCO S.A.**

**ELABORADO POR: Grupo de Investigación**

### **3.5.2.2. SOFTWARE EMPLEADOS.**

Los principales software utilizados tanto para el levantamiento de información como para el procesamiento de la misma son:

1. TerraSync el mismo que está diseñado para la recopilación de datos en el GPS GeoXT.
2. GPS Pathfinder Office, es utilizado al procesar la información adquirida de campo con el GPS, y migrarla a otro software requerido.
3. Microsoft Excel, empleado como una base de datos para poder realizar cálculos necesarios.
4. AutoCAD, aprovechado para graficar la información de campo y validarla de forma visual.
5. ArGIS, aplicado para determinar las coordenadas, donde se realizarían varios muestreos de la taxonomía del sector por donde atraviesa la línea.

### **3.5.2.3. DISPOSICIÓN, PROCESAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

La información se la ha dispuesto en formato de base de datos, en el software Excel, el mismo que por ser una hoja de cálculo se podrán realizar diferentes tratamientos a la información obtenida.

Para poder procesar los datos obtenidos se han utilizado software, que visualicen datos, como principal medio para graficar se ha utilizado el software AutoCad por ser un medio amigable y de fácil manejo. Otro medio visual es el software ArGIS que ayudó en la configuración de la taxonomía del sector por donde atraviesa la línea trifásica de interconexión.

### **3.5.3. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE APANTALLAMIENTO.**

El diagnóstico empieza con el cálculo de las características eléctricas de la línea de interconexión. Luego se analiza el comportamiento de la misma frente a una descarga atmosférica, y sus repercusiones a lo largo de la misma, encontrando así el eslabón más débil, para desde ese punto de partida determinar la mejor solución al problema.

La línea se divide en nueve tramos, considerados entre cada equipo de descargadores a lo largo del circuito trifásico, que es el de mayor conflicto debido a la trayectoria que atraviesa, principalmente en el sector de la cordillera occidental de la Provincia.

#### **3.5.3.1. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA LÍNEA.**

La línea en estudio es netamente de tipo radial, con un circuito troncal en línea trifásica construida con conductor ACSR de calibre 3/0, y sus derivaciones trifásicas en conductor ACSR de calibre 1/0. Además cuenta con derivaciones monofásicas construidas con conductor de calibre 2.

La línea está constituida con aisladores tipo PIN y crucetas de 2.20 metros. De longitud. Los datos se muestran en la figura 8.

##### **3.5.3.1.1. CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA DE SOBREVOLTAJE.**

Para obtener valores de la impedancia de sobrevoltaje, aplicamos la ecuación siguiente:

$$Z_s = \sqrt{\frac{L}{C}} \Omega m$$

Donde:

$Z_S$  = Impedancia de Sobrevoltaje.

$L$  = Inductancia de la Línea.

$C$  = Capacitancia de la Línea.

La impedancia de sobrevoltaje se basa en la inductancia y en la capacitancia.

Para encontrar los valores de la impedancia se procede con las siguientes ecuaciones:

La inductancia.

$$L = 7,410 \times 10^{-4} \times \text{Log}_{10} \left( \frac{GMD}{GMR} \right) \text{ henriospormilla.}$$

Esta ecuación se aplica para líneas trifásicas, y será empleado en el circuito principal de estudio como en su derivación trifásica.

$$L = 7,411 \times 10^{-4} \times \text{Log}_{10} \left( \frac{2h}{GMR} \right) \text{ henriospormilla.}$$

Esta ecuación se aplica para líneas de una fase, y será aplicada en el estudio debido a que la línea de interconexión, tiene varias derivaciones de tipo monofásico.

Capacitancia.

$$C = \frac{3,882 \times 10^{-8} \times k}{\text{log}_{10} \left( \frac{GMD}{GMR} \right)} \text{ faradaypormilla}$$

Esta ecuación se aplica a líneas trifásicas e igual que el caso anterior se empleará en el circuito principal o troncal de la línea.

$$C = \frac{3,882 \times 10^{-8}}{\log_{10} \left( \frac{2h}{GMR} \right)} \text{ faradaypormilla}$$

Esta ecuación se aplica en circuitos de una fase, por lo que, para el caso del estudio será utilizada en las derivaciones monofásicas existentes en el circuito.

En el caso de la inductancia y de la capacitancia, se puede describir sus ecuaciones así:

GMD = Distancia Media Geométrica entre conductores.

GMR = Radio Medio Geométrico del Conductor.

h = Altura del conductor.

Al reemplazar las ecuaciones para obtener la inductancia y la capacitancia de la línea, de una manera simplificada se tendrán las siguientes ecuaciones.

Cálculo de la impedancia de sobrevoltaje en líneas trifásicas.

$$Z_s = \frac{138}{\sqrt{k}} \times \log_{10} \left( \frac{GMD}{GMR} \right) \Omega$$

Donde:

$k$  = es la permitividad del espacio libre.

Cálculo de la impedancia de sobrevoltaje en líneas monofásicas.

$$Z_S = 138 \times \text{Log}_{10} \left( \frac{2h}{GMR} \right) \Omega$$

Donde:

$h$  = altura del conductor.

### **3.5.3.1.1.1. CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA PARA LÍNEAS TRIFÁSICAS.**

Para realizar el cálculo de impedancia, se considera el valor para un kilómetro de línea.

$$Z_S = \frac{138}{\sqrt{k}} \times \text{Log}_{10} \left( \frac{GMD}{GMR} \right) \Omega$$

$$Z_S = \frac{138}{\sqrt{8,85}} \times \text{Log}_{10} \left( \frac{1,31}{0,0018} \right) \Omega$$

$$Z_S = 132,57 \Omega Km.$$

Para la obtención de la impedancia de cada tramo se ha multiplicado el resultado obtenido por los valores de distancia de cada tramo. Como se observa en la tabla 23.

### **3.5.3.1.1.2. CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA PARA LÍNEAS MONOFÁSICAS.**

Todas las derivaciones con las que la línea cuenta en la actualidad fueron construidas con conductor de tipo ACSR con calibre número dos, por tanto los valores obtenidos serán empleados para todo el estudio de las derivaciones monofásicas a lo largo de la línea.

$$Z_S = 138 \times \log_{10} \left( \frac{2h}{GMR} \right) \Omega$$

$$Z_S = 138 \times \log_{10} \left( \frac{2 \times 10}{0,217} \right) \Omega$$

$$Z_S = 436,21 \Omega Km.$$

Para la obtención de la impedancia de líneas monofásica de cada tramo se ha multiplicado el resultado obtenido por los valores de distancia de cada tramo. La tabla 24, cuenta con todos los cálculos realizados en líneas monofásicas.

#### **3.5.3.1.1.3. CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA DE LOS CONDUCTORES DE PUESTA A TIERRA.**

En el montaje de los conductores de puesta a tierra generalmente se emplean conductores de cobre desnudo, debido a su baja resistencia. Por lo que es de importancia analizar el comportamiento de la onda de sobrevoltaje en su paso por este conductor, para lo cual consideramos los valores de impedancia dado en tablas.

#### **3.5.3.1.1.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO.**

Para hallar la resistencia del suelo se ha utilizado el equipo AEMC 450 el mismo que, al realizar las mediciones en las diferentes tipos de suelo existentes en la Provincia de Cotopaxi, especialmente en el trayecto de la Línea de estudio (como se observa en la figura 9.), ha proporcionado la resistencia del suelo de forma directa, siendo las mismas recopiladas en diferentes puntos del trayecto de la línea de estudio, y almacenada en la base de datos mostrados en el anexo 29, tanto en su base de datos como de forma grafica.

El equipo de medición utiliza el método del 62%, el cual resulta efectivo para el estudio realizado.

**TABLA 23. IMPEDANCIA DE LA LÍNEA TRIFÁSICA.**

LINEA DE INTERCONEXION SAN RAFAEL - EL ESTADO									
CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA ENTRE PARARRAYOS				CARACTERISTICAS ELÈCTRICAS DE LA LINEA					
CÓDIGO DE NODOS	SECTOR TOPOGRÁFICO	calibre	distancia m	resistencia $\Omega$ Km	resistencia total $\Omega$	DMG (m)	Deq (m)	ZLINEA $\Omega$	RP.Tierra $\Omega$
14289 - 19053	San Rafael - Milin	3/0	13231	0,33	4,36623	0,0018	1,3137	1754,10	90
19053 - 19085	Milin - Entrada Guangaje	3/0	3350	0,33	1,1055	0,0018	1,3137	444,13	60
19085 - 16066	Entrada Guangaje - Zumbahua	3/0	9626	0,33	3,17658	0,0018	1,3137	1276,16	60
16066 - 14518	Zumbahua - Entrada Angamarca	3/0	2314	0,33	0,76362	0,0018	1,3137	306,78	60
14518 - 907161036	Entrada Angamarca - Apahua	3/0	3698	0,33	1,22034	0,0018	1,3137	490,26	90
907161036 - 75002	Apahua - Apahua Chilca	3/0	2944	0,33	0,97152	0,0018	1,3137	390,30	105
75002 - 75162	Apahua Chilca - Pilalo	3/0	8730	0,33	2,8809	0,0018	1,3137	1157,38	105
75162 - 75436	Pilalo - La Esperanza	3/0	7048	0,33	2,32584	0,0018	1,3137	934,39	40
75436 - 75567	La Esperanza - El Estado	3/0	3568	0,33	1,17744	0,0018	1,3137	473,03	120

FUENTE: ELEPCO S.A.

ELABORADO POR: Grupo de Investigación

IMPEDANCIA DE LA LÍNEA TRIFÁSICA.

LINEA DE INTERCONEXION SAN RAFAEL - EL ESTADO								
CARACTERISTICAS DE LA LINEA Y DERIVACIONES PRINCIPALES				CARACTERISTICAS ELÈCTRICAS DE LA LINEA				
TRAMO	calibre	distancia m	resistencia $\Omega$ km	resistencia total $\Omega$	DMG (m)	Deq (m)	Z1	Z2
DERIVACION TRIF QUILOTOA	1/0	10.175	0,52	5,32	0,001	1,314	1409,85	

FUENTE: ELEPCO S.A.

ELABORADO POR: Grupo de Investigación

**TABLA 24.**

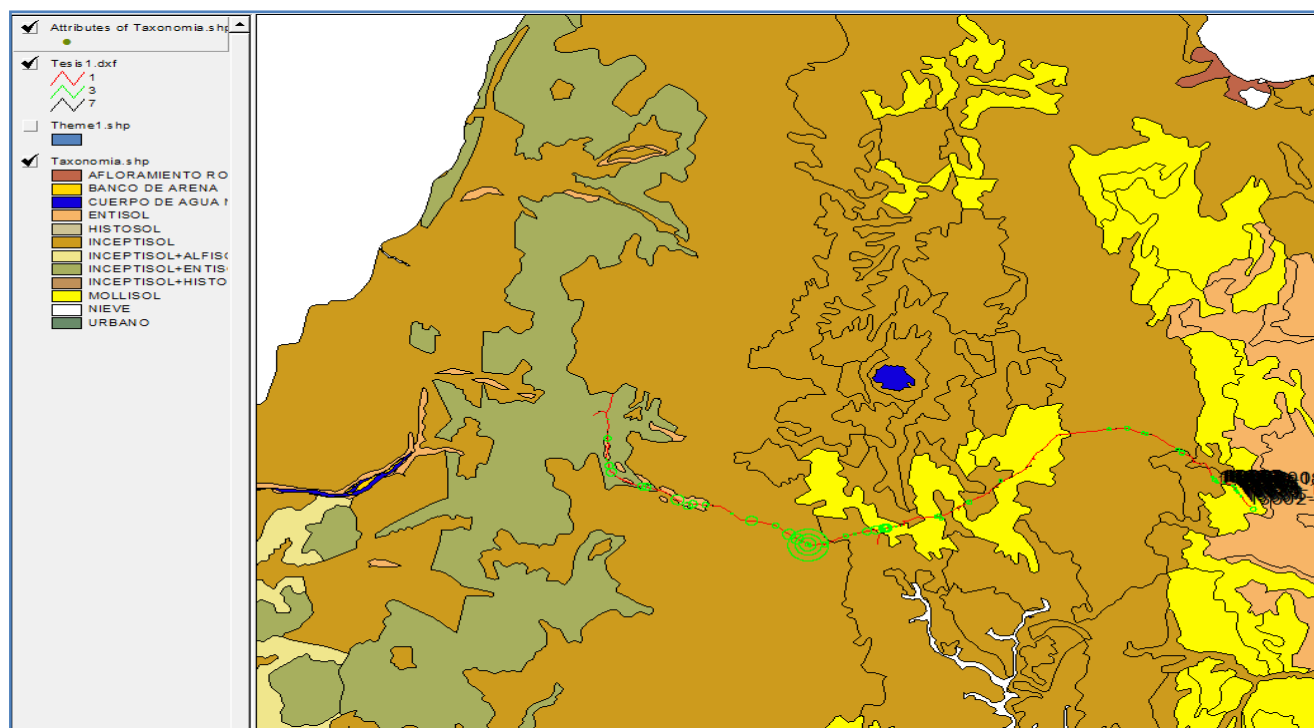
IMPEDANCIA DE LA LÍNEA MONOFÁSICA.

LINEA DE INTERCONEXION SAN RAFAEL - EL ESTADO								
CARACTERISTICAS DE LA LÍNEA Y DERIVACIONES PRINCIPALES				CARACTERISTICAS ELÈCTRICAS DE LA LINEA				
TRAMO	calibre	distancia m	resistencia $\Omega$ km	resistencia total $\Omega$	DMG (m)	Deq (m)	Z1	Z2
DERIVACION GUANGAJE	2	8206	0,85	6,98	0,000		716,74	

**FUENTE:** Grupo de Investigación.**ELABORADO POR:** Grupo de Investigación.

**FIGURA 9.**

**TIPOS DE SUELO EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.**



**FUENTE:** Ilustre Concejo Provincial de Cotopaxi.

**ELABORADO POR:** Grupo de Investigación

#### **3.5.3.1.1.5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE PICAS DE PUESTA A TIERRA.**

De igual forma las mediciones de las picas de puesta a tierra se las realizó con el equipo de medición AEMC 450, obteniendo así las resistencias de forma directa en  $\Omega$ ., los resultados son apreciados en el anexo 30., tanto en su base de datos como de forma grafica.

#### **3.5.3.2. DETERMINACIÓN DE LAS MAGNITUDES DE VOLTAJE DE DESCARGA ATMOSFÉRICA EN LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.**

##### **3.5.3.2.1. CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE RAYO INDUCIDA EN LOS CONDUCTORES DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN.**

Para determinar la corriente inducida en los conductores de las líneas de distribución, varios autores recomiendan el modelo electrogeométrico, el mismo que determina la corriente que puede inducirse en una línea de distribución apantallada con hilo de guarda, puesto que la línea de interconexión San Rafael, El Estado es una línea sin apantallamiento. Este modelo no aplica, por lo que, para el análisis se ha considerado el criterio del Ingeniero BLANDÓN Díaz Jaime (2005: Pág.2), el mismo que para su estudio señala que “las descargas se encuentran en rangos de 18 kA, y esta será la utilizada para los cálculos respectivos en el estudio”, entonces;

$$I_R = 18 \text{ kA}$$

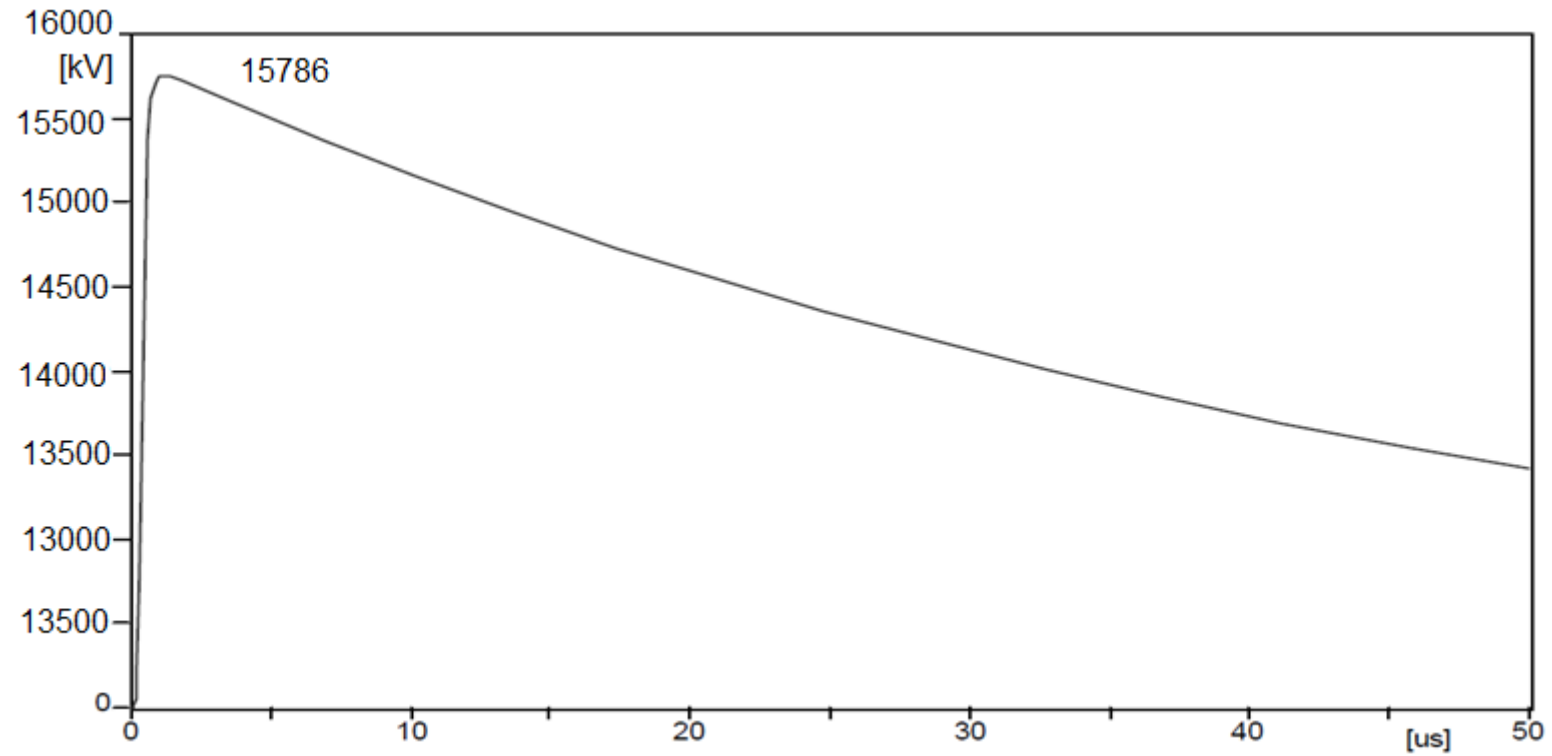
Donde:

$$I_R = \text{Corriente de Rayo}$$

Además recordar que la corriente de retorno del rayo es una magnitud de amplitud elevada y tiempo de duración muy corto, por lo que se toma el perfil de corriente propuesto por la norma IEC 61-1, que para este tipo de estudio recomienda el perfil señalado en la figura 10.

**FIGURA 10.**

FORMA DE ONDA DE VOLTAJE PROPUESTA PARA LA DESCARGA DE RAYO.



**FUENTE:** Vásquez O. Kléber S. y Ruales C. Luis.

**ELABORADO POR:** IEC 61-1

### **3.5.3.2.2. CÁLCULO DE SOBREVOLTAJE INDUCIDOS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.**

Una descarga atmosférica ocasiona daños a líneas de distribución de dos formas principales, siendo:

- Descarga directa sobre los conductores de fase,
- Descarga indirecta sobre la línea de distribución.

#### **3.5.3.2.2.1. SOBREVOLTAJE INDUCIDO EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN POR DESCARGA DIRECTA EN CONDUCTORES DE FASE.**

Este tipo de descarga es la más perjudicial para las líneas de distribución, puesto que una descarga directa en los conductores de fase ocasionan sobrevoltajes, que de seguro ocasionaran fláneos del aislamiento e inclusive la destrucción de varios equipos conectados a la línea.

Para el caso de la línea de estudio de cálculo el sobrevoltaje mediante la ley de Ohm, es decir:

$$Vi = I_R \times Z_S$$

Donde

$V_i$ = Voltaje Inducido por descarga directa en conductores de fase.

$I_R$ = Corriente de Rayo.

$Z_S$ = Impedancia de Sobrevoltaje.

Para el caso de la línea de estudio como ejemplo se considera el cálculo en el tramo más largo de la línea sin apantallar, que pertenece al tramo comprendido entre la subestación San Rafael y el punto de descargadores, ubicado en el sector de Milin, quedando los cálculos de la siguiente manera:

$$Vi = I_R \times Z_S$$

$$Vi = 18000 A \times 1754,10 \Omega$$

$$Vi = 31573,731 kV.$$

Este voltaje al momento de inducirse en la línea de distribución se divide en dos, puesto que el mismo correrá por ambos lados de la línea, como se muestra en la figura 11., por ende el voltaje de descarga directa que se circulará por el conductor de fase se determina con la expresión.

$$V1 = \frac{Vi}{2} kV$$

Donde:

V1= Voltaje Incidente

Y para el ejemplo será:

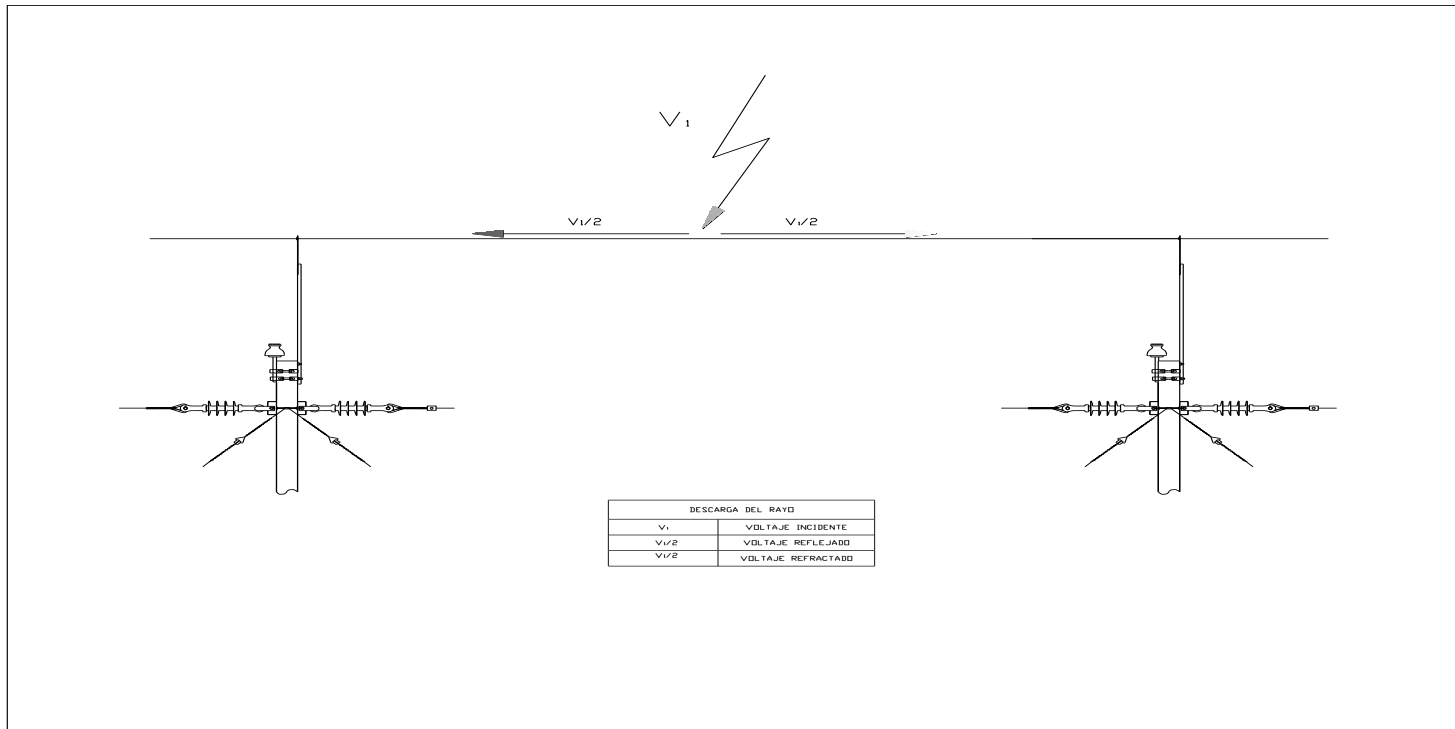
$$V1 = \frac{Vi}{2} kV$$

$$V1 = \frac{31573,731}{2} kV$$

$$V1 = 15786,87 kV$$

**FIGURA 11.**

DIVISIÓN DEL VOLTAJE INDUCIDO HACIA LOS DOS EXTREMOS DE LA LÍNEA.



**FUENTE:** Protección de sobrevoltajes, Cooper Power Systems

**ELABORADO POR:** Grupo de Investigación.

El voltaje calculado muestra un valor con forma de onda similar al producido por la corriente inducida (como se observa en la figura 10.), que seguramente ocasionará flameo en el sistema de aislación de la línea de distribución. Y es por esta razón, que una descarga directa es la más perjudicial en las líneas de distribución, pero la probabilidad de que una descarga directa caiga sobre conductores de la fase es muy escasa. Los resultados calculados se observan en el anexo 31.

#### **3.5.3.2.2.2. SOBREVOLTAJE INDUCIDO EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN POR DESCARGA INDIRECTA.**

Los sobrevoltajes inducidos en líneas de distribución por descargas indirectas, son aquellos donde la descarga se produce hasta los 3000 m en las cercanías de la línea, produciendo la inducción de un sobrevoltaje que al igual que el anterior caso podría producir flameo, esto dependería de la cercanía de la descarga producida, del valor de la corriente de rayo y de la altura de la nube. Para que este tipo de descarga suceda, según CHOWDHURI P. (1996:Pág. 4), “las variables de una descarga choquen frente a una línea de distribución”.

Chowdhuri (1996: Pág5), desarrolló un algoritmo que permite estimar el sobrevoltaje inducido en las líneas de distribución con la ecuación siguiente:

$$“Vi(x, t) = \Psi(x, t) * u(t - t_o)”$$

Donde:

$V_i$  = Voltaje inducido en función de la distancia de la descarga y del tiempo de simulación de la descarga.

$u(t - t_o)$  = es la función escalón unidad.

$\Psi(x, t)$ , viene dado por:

$$\psi(x, t) = -\frac{60h}{\beta} \left[ \frac{1 - \beta^2}{\sqrt{\beta^2 c^2 (t - t_o)^2 + (1 + \beta^2)(x^2 + y_o^2)}} - \frac{1}{\sqrt{h_{nube}^2 + (x^2 + y_o^2)}} \right]$$

Donde:

$\beta$  = es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de retorno del rayo.

$h$  = es la altura que tiene el conductor desde el suelo hacia la estructura de soporte más alta en el poste.

$c$  = velocidad de la luz en el vacío.

$x$  = distancia del vano en el cual se calcula el voltaje inducido.

$t_o$ , viene dado por:

$$t_o = \frac{\sqrt{x^2 + y_o^2}}{c}$$

$y_o$  = distancia perpendicular de la descarga respecto al conductor.

Cabe señalar que, en la ecuación anterior  $y_o$ , es una variable y para el ejemplo se ha tomado un valor referencial de 1000 metros, además  $t$  es función del tiempo por lo que en el ejemplo se considerará para el primer segundo.

$$\psi(x, t) = -\frac{60h}{\beta} \left[ \frac{1 - \beta^2}{\sqrt{\beta^2 c^2 (t - t_o)^2 + (1 + \beta^2)(x^2 + y_o^2)}} - \frac{1}{\sqrt{h_{nube}^2 + (x^2 + y_o^2)}} \right]$$

$$\psi(x, t) = -\frac{60 * 10}{69,38 * 10^{-5}} \left[ \frac{1 - 69,38 * 10^{-5^2}}{\sqrt{69,38 * 10^{-5^2} * 2,998 * 10^8^2 (1 - 1,2^{-5^2}) + (1 + 69,38 * 10^{-5^2})(6615,5^2 + 1000^2)}} - \frac{1}{\sqrt{2000^2 + (6615,5^2 + 1000^2)}} \right]$$

$$\Psi(x, t) = 60,29 \text{ kV}$$

Entonces, el voltaje inducido de 60,29 kV es de una descarga producida a 1000 metros paralelos a la línea durante el primer microsegundo. La forma de onda hasta la cresta máxima del voltaje se calcula de la misma forma para 2000 y 3000 metros de distancia, y con una duración de la descarga de 8 microsegundos, de lo dicho se aprecia en la tabla 25.

### 3.5.3.2.2.3. ATENUACIÓN DE LAS ONDAS EN LAS LÍNEAS.

Para calcular la incidencia, que la impedancia de la línea ocasiona en la onda de sobrevoltaje, se ha considerado el criterio de C. F. WAGNER and G. D. MCCANN (1972: Pág.536), que para determinar el factor de atenuación “siguen la siguiente ecuación”.

$$“\epsilon^{-\frac{R}{Z}x}”$$

Donde:

$\epsilon$ = Voltaje Incidente.

R= Resistencia de Línea.

Z= Impedancia de Línea.

x= Distancia recorrida por la onda.

Entonces al seguir con el ejemplo tendremos que el voltaje inducido por descarga directa en el tramo de estudio se atenuará, lo cual será de la siguiente forma:

$$\epsilon^{-\frac{R}{Z}x}$$

$$15786,86 \frac{2183,11}{877,04} x^{6615,5}$$

$$0,727$$

De lo cual se puede decir que el factor de atenuación en este tramo será de 0,727, obteniendo un voltaje incidente de:

$$V1 = 11482,29 \text{ kV}$$

Por lo tanto este será el voltaje que incidirá en el punto de discontinuidad, creando reflexión y refracción de las ondas de voltaje y corriente, de la misma forma procederemos en el cálculo de los demás valores, como se observa en la tabla 26.

#### **3.5.3.2.2.4. COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS PRODUCIDAS POR SOBREVOLTAJE DE DESCARGA ATMOSFÉRICAS.**

Debido al poco mantenimiento que la línea tiene por parte del personal de ELEPCO S.A., ha sufrido deterioro en el sistema de apantallamiento, ocasionando que no sea efectivo en un 100 %, por lo que; el análisis se lo ha realizado con las mediciones actuales del sistema de puesta a tierra en los dos tipos de aisladores empleados para la sujeción del conductor de línea.

Como manifiestan C.F. WAGNER and G. D. MCCANN (1972: Pág. 536), para el comportamiento de las ondas contemplará “la reflexión y la refracción de la onda, en los puntos de discontinuidad de la línea y en el sitio exacto donde se encuentra actualmente los descargadores”.

Estos elementos mencionados se encuentran en una base de datos creados en el transcurso de la investigación.

**TABLA 25.**

DATOS OBTENIDOS DEL VOLTAJE INCIDENTE POR DESCARGA INDIRECTA.

LÍNEA DE INTERCONEXIÓN SAN RAFAEL - EL ESTADO		SOBREVOLTAJE INDUCIDO POR DESCARGA INDIRECTA			
		VOLTAJE INDUCIDO A 18 KA			
CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA ENTRE PARARRAYOS		Voltaje i (kV)			
CÓDIGO DE NODOS	SECTOR TOGRÁFICO	Para Yo=1000m y t=1µs	Para Yo=1000m y t=2µs	Para Yo=1000m y t=4µs	Para Yo=1000m y t=6µs
14289 - 19053	San Rafael - Milin	60,2988573	62,37048055	63,4090223	63,75541297
19053 - 19085	Milin - Entrada Guangaje	210,5569547	212,6353409	213,6747176	214,0211901
19085 - 16066	Entrada Guangaje - Zumbahua	83,35739288	85,43242598	86,47139093	86,81782339
16066 - 14518	Zumbahua - Entrada Angamarca	264,5953225	266,6739453	267,7133502	268,0598254
14518 - 907161036	Entrada Angamarca - Apahua	195,961253	198,0395397	199,0789043	199,4253757
907161036 - 75002	Apahua - Apahua Chilca	229,7699282	231,8484178	232,8878069	233,2342805
75002 - 75162	Apahua Chilca - Pilaló	91,80956742	93,8852806	94,92432961	95,27077032
75162 - 75436	Pilaló - La Esperanza	112,8020627	114,8788718	115,9180558	116,2645098
75436 - 75567	La Esperanza - El Estado	201,2225898	203,3009148	204,3402841	204,6867559
		Para Yo=2000m y t=1µs	Para Yo=2000m y t=2µs	Para Yo=2000m y t=4µs	Para Yo=2000m y t=6µs
		59,76872378	61,8402229	62,8787492	63,22513834
		193,0918586	195,170123	196,2094849	196,5559561
		82,04361434	84,11852335	85,15747294	85,50390389
		232,4914035	234,5699057	235,6092963	235,9557702
		181,5969662	183,6751307	184,7144805	185,0609505
		207,6736065	209,7519747	210,7913492	211,1378215
		90,08490301	92,16049218	93,19952587	93,54596508
		109,7197409	111,7964262	112,835595	113,1820474
		185,7816739	187,8598769	188,8992314	189,2457018
		Para Yo=3000m y t=1µs	Para Yo=3000m y t=2µs	Para Yo=3000m y t=4µs	Para Yo=3000m y t=6µs
		58,91352991	60,98482215	62,0233227	62,36970928
		171,5586773	173,6367378	174,676075	175,0225438
		79,97964548	82,05434764	83,09327164	83,43970006
		197,7014504	199,77975	200,8191163	201,1655878
		163,2857841	165,3637443	166,4030694	166,7495369
		181,6315464	183,7097112	184,7490611	185,095531
		87,4062191	89,48160155	90,52060969	90,8670464
		105,0832457	107,1597247	108,1988681	108,5453181
		166,3314751	168,4094739	169,4488037	169,7952717

FUENTE: Grupo de Investigación.

ELABORADO POR: Grupo de Investigación.

**TABLA 26.**

DATOS OBTENIDOS DEL VOLTAJE INCIDENTE DESPUÉS DE LA ATENUACIÓN POR DESCARGA INDIRECTA.

LÍNEA DE INTERCONEXION SAN RAFAEL - EL ESTADO		SOBREVOLTAJE INDUCIDO POR DESCARGA INDIRECTA			
		VOLTAJE INCIDENTE			
CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA ENTRE PARARRAYOS		Voltaje 1 (kV)			
CÓDIGO DE NODOS	SECTOR TOGRÁFICO	Para Yo=1000m y t=1µs	Para Yo=1000m y t=2µs	Para Yo=1000m y t=4µs	Para Yo=1000m y t=6µs
14289 - 19053	San Rafael - Milin	26,95010	27,84500	28,29326	28,44272
19053 - 19085	Milin - Entrada Guangaje	101,26886	102,26010	102,75578	102,92100
19085 - 16066	Entrada Guangaje - Zumbahua	38,11535	39,04115	39,50450	39,65897
16066 - 14518	Zumbahua - Entrada Angamarca	128,62702	129,63165	130,13399	130,30144
14518 - 907161036	Entrada Angamarca - Apahua	93,93164	94,91863	95,41219	95,57671
907161036 - 75002	Apahua - Apahua Chilca	110,95973	111,95608	112,45430	112,62037
75002 - 75162	Apahua Chilca - Pilaló	42,24206	43,17613	43,64353	43,79935
75162 - 75436	Pilaló - La Esperanza	52,54884	53,49920	53,97462	54,13310
75436 - 75567	La Esperanza - El Estado	96,57408	97,56264	98,05698	98,22177
		Para Yo=2000m y t=1µs	Para Yo=2000m y t=2µs	Para Yo=2000m y t=4µs	Para Yo=2000m y t=6µs
		26,72093	27,61603	28,06441	28,21391
		92,93598	93,92787	94,42389	94,58924
		37,52890	38,45500	38,91851	39,07303
		113,10466	114,10998	114,61269	114,78026
		87,10732	88,09493	88,58882	88,75346
		100,36338	101,36041	101,85899	102,02518
		41,46562	42,40001	42,86759	43,02347
		51,13779	52,08855	52,56419	52,72275
		89,22666	90,21586	90,71055	90,87545
		Para Yo=3000m y t=1µs	Para Yo=3000m y t=2µs	Para Yo=3000m y t=4µs	Para Yo=3000m y t=6µs
		26,35110	27,24653	27,69510	27,84467
		82,65342	83,64618	84,14268	84,30818
		36,60713	37,53369	37,99747	38,15208
		96,26955	97,27570	97,77886	97,94659
		78,40059	79,38907	79,88343	80,04822
		87,86415	88,86205	89,36110	89,52745
		40,25904	41,19394	41,66181	41,81778
		49,01394	49,96532	50,44130	50,59997
		79,96368	80,95375	81,44890	81,61396

FUENTE: Grupo de Investigación.

ELABORADO POR: Grupo de Investigación.

### 3.5.3.2.2.4.1. COEFICIENTE DE ONDA DE REFLEXIÒN.

Para el caso de la línea de estudio se ha considerado calcular el voltaje de reflexión de C.F. WAGNER and G. D. MCCANN (1972: Pág. 536), que así:

$$\alpha = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Donde:

$\alpha$ = Coeficiente de onda Reflejada.

$Z_1$ = Impedancia de la línea conductora.

$Z_2$ = Impedancia de la línea de discontinuidad.

Al observar el resultado se puede notar que el valor es negativo. UMAÑA Antonio Mejía (2008: Pág. 15), expresa: “el mismo se restara al voltaje que está subiendo a medida que sube la corriente de la descarga hasta su valor máximo; por lo tanto una reflexión negativa reduce el riesgo de flameo inverso. Inversamente, el peligro de flameo aumenta considerablemente sí  $\alpha$  es positivo, es decir, si el valor de la puesta a tierra es superior al de la impedancia  $Z_2$ ”.

Entonces si se desea, conocer los valores de reflexión tanto de la onda de voltaje como de corriente, se multiplicara el valor de  $\alpha$  para conocerlos.

Se demuestra la forma de cálculo (vano elegido), considerando el voltaje incidente del caso de inducción por descarga indirecta.

Quedando de la siguiente forma:

$$V_2 = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} x V_1$$

$$V_2 = \frac{90\Omega - 1754,10\Omega}{90\Omega + 1754,10\Omega} \times 26,95 \text{ kV}$$

$$V_2 = -24,32 \text{ kV}$$

Entonces si se observa el resultado  $-24,32 \text{ kV}$  será el voltaje de reflexión en la línea de estudio, lo mismo se ha efectuado para el caso de los siguientes tramos, como se observa en la tabla 27.

#### **3.5.3.2.2.4.2. COEFICIENTE DE ONDA DE REFRACCIÓN.**

Se adopta el mismo criterio de C.F. WAGNER y G. D. MCCANN (1972: Pág.523), siendo la ecuación la siguiente.

$$\beta = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$$

Donde:

$\beta$  = Coeficiente de Onda Refractada.

$Z_1$  = Impedancia de la línea conductora del Voltaje Incidente.

$Z_2$  = Impedancia de Discontinuidad.

Para encontrar los valores de refracción de voltaje como de corriente solo se multiplicará el valor de  $\beta$ , para los valores correspondientes.

Quedando el cálculo en el vano de ejemplo así:

$$V_3 = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \times V_1$$

$$V_3 = \frac{2 \times 90 \Omega}{90 \Omega + 1754,10 \Omega} \times 26,95 \text{ kV}$$

$$V_3 = 2,63 \text{ kV}$$

Entonces, 2,63 kV será el voltaje de refracción de la línea resultante en el encuentro de discontinuidad, y para el cálculo de los valores restantes se procede de la misma forma. Los resultados obtenidos se observan en los datos de la tabla 28.

#### **3.5.3.2.2.4.3. COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS DE SOBREVOLTAJE EN LAS LÍNEAS.**

Si se nota en la figura 12. Se puede ver que la onda de voltaje se refleja en la línea retornando parte del voltaje incidente al sistema, para continuar por la línea hasta su atenuación. Mientras que en el caso de la onda de la corriente, la onda reflejada se suma a la onda incidente, ocasionando el aumento de la corriente.

#### **3.5.4. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO.**

Para determinar de una forma adecuada los datos de estudio, se han realizado los cálculos tomando las siguientes consideraciones:

- Para calcular el voltaje inducido por descarga indirecta en la línea, se ha determinado que los valores de la distancia perpendicular de descarga del rayo hacia la línea ( $y_0$ ), serán distancias igual a 1000, 2000 y 3000 metros
- Para calcular los datos del comportamiento de onda viajera en las derivaciones, se considera las derivaciones con mayor longitud tanto monofásica como trifásica.

- Para determinar la operación óptima de la línea se considera valores de resistencia de suelo de  $5\Omega$ , de acuerdo a la norma del departamento de diseño y construcción de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi.
- Los voltajes que causarían falla en el aislamiento de la línea se considera los datos tomados de las fichas técnicas de los aisladores gamma, para los aisladores de suspensión y los de tipo pin.
- En el análisis de la línea se han realizado dos etapas de los tramos: siendo la primera etapa, el análisis del comportamiento de la descarga en la línea entre descargadores, seccionando la línea en varios tramos entre cada descargador.

En la segunda etapa se analizará el comportamiento de la descarga en las derivaciones hacia la línea y de la línea hacia las derivaciones.

- Para analizar la incidencia de la descarga en los aisladores de suspensión 55-2, se ha considerado la cadena de aisladores, puesto que en las estructuras montadas en las líneas, éstas se presentan con dos aisladores, agrandando la distancia de fuga.

Por tal razón se ha duplicado los valores dados por los fabricantes para obtener el valor real de la cadena.

**TABLA 27.**

DATOS OBTENIDOS DEL VOLTAJE DE REFLEXIÓN EN LA DISCONTINUIDAD.

LÍNEA DE INTERCONEXIÓN SAN RAFAEL - EL ESTADO		SOBREVOLTAJE INDUCIDO POR DESCARGA INDIRECTA			
		VOLTAJE DE ONDA REFLEJADA			
CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA ENTRE PARARRAYOS		Voltaje 2 (kV)			
CÓDIGO DE NODOS	SECTOR TOGRÁFICO	Para Yo=1000m y t=1μs	Para Yo=1000m y t=2μs	Para Yo=1000m y t=4μs	Para Yo=1000m y t=6μs
14289 - 19053	San Rafael - Milin	-24,32	-25,13	-25,53	-25,67
19053 - 19085	Milin - Entrada Guangaje	-77,16	-77,92	-78,30	-78,42
19085 - 16066	Entrada Guangaje - Zumbahua	-34,69	-35,53	-35,96	-36,10
16066 - 14518	Zumbahua - Entrada Angamarca	-86,54	-87,22	-87,56	-87,67
14518 - 907161036	Entrada Angamarca - Apahua	-64,79	-65,47	-65,81	-65,93
907161036 - 75002	Apahua - Apahua Chilca	-63,91	-64,49	-64,78	-64,87
75002 - 75162	Apahua Chilca - Pilaló	-35,21	-35,99	-36,38	-36,51
75162 - 75436	Pilaló - La Esperanza	-48,23	-49,11	-49,54	-49,69
75436 - 75567	La Esperanza - El Estado	-57,49	-58,08	-58,37	-58,47
		Para Yo=2000m y t=1μs	Para Yo=2000m y t=2μs	Para Yo=2000m y t=4μs	Para Yo=2000m y t=6μs
		-24,11	-24,92	-25,33	-25,46
		-70,81	-71,57	-71,95	-72,07
		-34,16	-35,00	-35,42	-35,56
		-76,10	-76,78	-77,11	-77,23
		-60,09	-60,77	-61,11	-61,22
		-57,81	-58,39	-58,67	-58,77
		-34,57	-35,35	-35,74	-35,87
		-46,94	-47,81	-48,25	-48,39
		-53,12	-53,71	-54,00	-54,10
		Para Yo=3000m y t=1μs	Para Yo=3000m y t=2μs	Para Yo=3000m y t=4μs	Para Yo=3000m y t=6μs
		-23,78	-24,59	-24,99	-25,13
		-62,98	-63,74	-64,11	-64,24
		-33,32	-34,16	-34,58	-34,73
		-64,77	-65,45	-65,79	-65,90
		-54,08	-54,76	-55,10	-55,22
		-50,61	-51,19	-51,47	-51,57
		-33,56	-34,34	-34,73	-34,86
		-44,99	-45,86	-46,30	-46,45
		-47,60	-48,19	-48,49	-48,58

FUENTE: Grupo de Investigación.

ELABORADO POR: Grupo de Investigación.

**TABLA 28.**

DATOS OBTENIDOS DEL VOLTAJE DE REFRACCIÓN EN LA DISCONTINUIDAD.

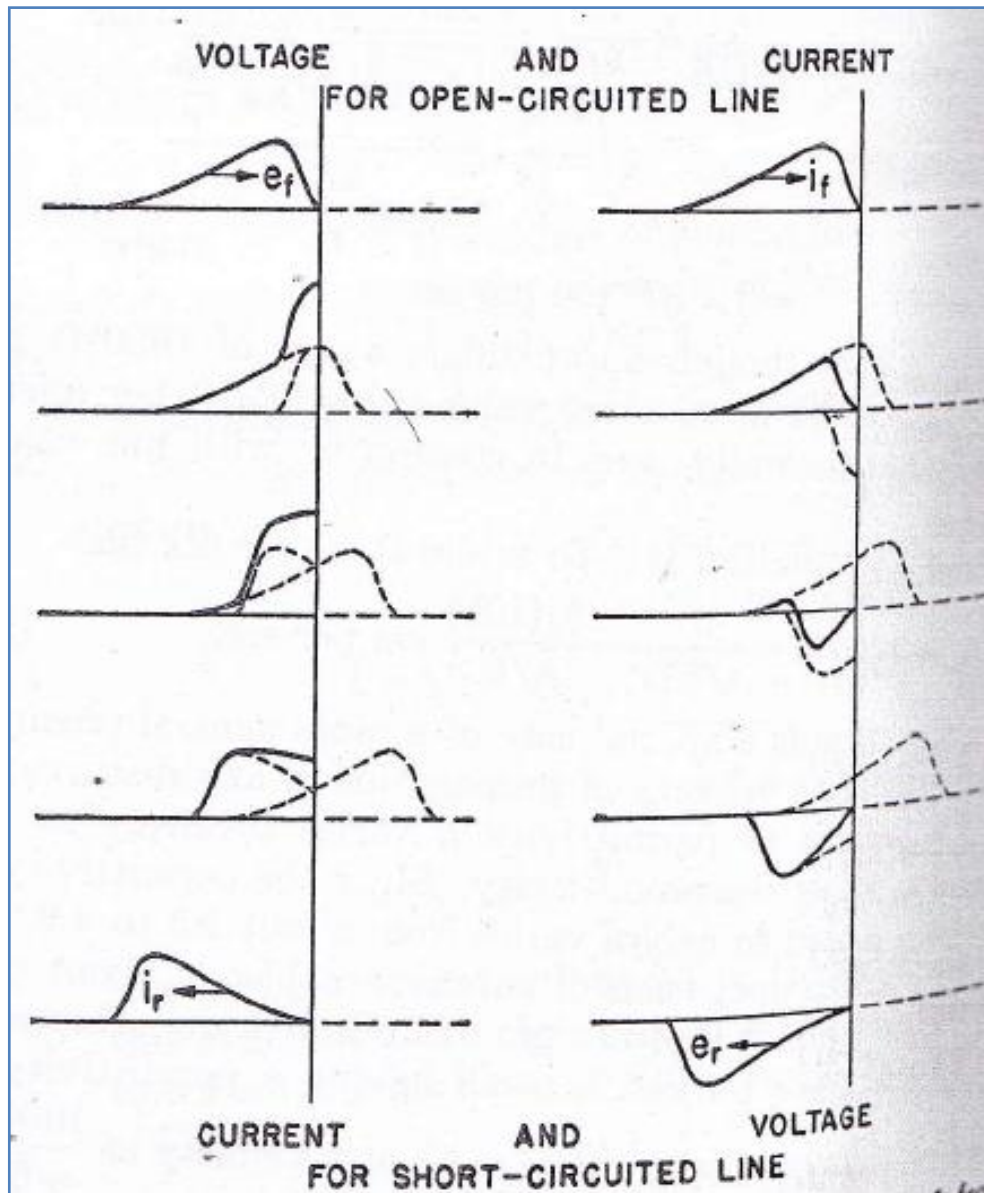
LÍNEA DE INTERCONEXIÓN SAN RAFAEL - EL ESTADO		SOBREVOLTAJE INDUCIDO POR DESCARGA INDIRECTA			
		VOLTAJE DE ONDA REFRACTADA			
CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA ENTRE PARARRAYOS		Voltaje 3 (kV)			
CODIGO DE NODOS	SECTOR TOGRAFICO	Para Yo=1000m y t=1µs	Para Yo=1000m y t=2µs	Para Yo=1000m y t=4µs	Para Yo=1000m y t=6µs
14289 - 19053	San Rafael - Milin	2,63	2,72	2,76	2,78
19053 - 19085	Milin - Entrada Guangaje	24,11	24,34	24,46	24,50
19085 - 16066	Entrada Guangaje - Zumbahua	3,42	3,51	3,55	3,56
16066 - 14518	Zumbahua - Entrada Angamarca	42,08	42,41	42,58	42,63
14518 - 907161036	Entrada Angamarca - Apahua	29,14	29,44	29,60	29,65
907161036 - 75002	Apahua - Apahua Chilca	47,05	47,47	47,68	47,75
75002 - 75162	Apahua Chilca - Pilaló	7,03	7,18	7,26	7,29
75162 - 75436	Pilaló - La Esperanza	4,31	4,39	4,43	4,44
75436 - 75567	La Esperanza - El Estado	39,08	39,48	39,68	39,75
		Para Yo=2000m y t=1µs	Para Yo=2000m y t=2µs	Para Yo=2000m y t=4µs	Para Yo=2000m y t=6µs
		2,61	2,70	2,74	2,75
		22,12	22,36	22,48	22,52
		3,37	3,45	3,50	3,51
		37,00	37,33	37,50	37,55
		27,02	27,33	27,48	27,53
		42,55	42,98	43,19	43,26
		6,90	7,05	7,13	7,16
		4,20	4,28	4,32	4,33
		36,11	36,51	36,71	36,78
		Para Yo=3000m y t=1µs	Para Yo=3000m y t=2µs	Para Yo=3000m y t=4µs	Para Yo=3000m y t=6µs
		2,57	2,66	2,70	2,72
		19,67	19,91	20,03	20,07
		3,29	3,37	3,41	3,43
		31,50	31,83	31,99	32,05
		24,32	24,63	24,78	24,83
		37,25	37,68	37,89	37,96
		6,70	6,85	6,93	6,96
		4,02	4,10	4,14	4,15
		32,36	32,76	32,96	33,03

FUENTE: Grupo de Investigación.

ELABORADO POR: Grupo de Investigación.

**FIGURA 12.**

COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS DE VOLTAJE EN LAS LÍNEAS  
SEGÚN C.F. WAGNER AND G. D. MCCANN.



**FUENTE:** C.F. Wagner and G. D. McCann.

**ELABORADO POR:** Grupo de Investigación.

### **3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Luego de los cálculos realizados se puede determinar los siguientes resultados:

#### **3.6.1. ANÁLISIS DE LA DESCARGA EN LA LÍNEA TRONCAL.**

Para el análisis se han considerado siete tramos. Determinando que la descarga directa de un rayo en la línea, rebasa todos los límites del nivel básico de impulso en los aisladores, valores que indican los fabricantes como muestran en el anexo 32.

Estos datos se muestran en la base y con la resistencia actual del suelo (anexo 33.), además se calculan con una resistencia simulada de 25 ohm, como se observa en el anexo 34.

En el caso del análisis de la línea en condiciones actuales se puede observar que, mientras más lejana es la descarga atmosférica, la inducción de una onda de sobrevoltaje es menor. Obteniendo de los resultados que las descargas mayores a 3000 metros no producirían inducción.

De los resultados obtenidos se puede decir que el eslabón más débil de las estructuras, son los aisladores de tipo pin o espiga, como se muestra en los anexos 33, y 34.

Se ha determinado que el primer frente de onda de sobrevoltaje es el más perjudicial en el sistema, puesto que los resultados arrojados muestran que sobrepasa varios de los valores determinados por los proveedores de aisladores, como se ve en los anexos 33 y 34.

Así también se observa que el tramo con mayor afectación al producirse una descarga y al inducirse un sobrevoltaje en el conductor de fase, es el denominado

como: Zumbahua – Entrada Guangaje, y por lo recopilado en la investigación se puede determinar qué:

- El mismo presenta deterioro debido a la falta de mantenimiento, es decir en la actualidad, las picas de aterramiento fueron hurtada por lo que se ha potado por unir el conductor de aterramiento al conductor neutral de la línea.
- Varias de las picas de aterramiento fueron víctimas de corrosión y sulfatación en el nodo de conexión con el conductor de aterramiento por lo que ha perdido continuidad de contacto, y no han sido reparados debido a que la línea atraviesa la cordillera por un sector bastante lejano de la vía y el acceso con equipos es difícil, el mantenimiento ha sido nulo.
- Como se apreciar en la figura 9, el sector por donde atraviesa el tramo es de tipo inceptisol, y de acuerdo a los datos obtenidos en el anexo 3.6. este tipo de suelo presenta una resistividad muy elevada y en el sitio no se ha realizado ningún tipo de mejora del suelo donde se colocaron las picas de aterramiento, simplemente se las introdujeron y se las conectaron al sistema.
- El tramo se encuentra en el sector más alto de la cordillera, y además la línea no se encuentra apantallada en todo su trayecto, lo que ocasiona que la inducción de un sobrevoltaje en el conductor de fase sea mayor que la de una línea con apantallamiento, lo que origina una falla de tipo flameo inverso.

Para los siguientes tramos de la línea troncal la tabla 23., se ha determinado qué:

- La corrosión y hurto de las picas de aterramiento, y la sustracción del conductor de cobre que es común en el sector.

Como opción, el personal de la Empresa Eléctrica Cotopaxi optó por unir el conductor de cobre al conductor neutral y este a los tensores existentes en el trayecto de la línea. Además señalar, que la resistencia del cable tensor y de la varilla de anclaje eleva de forma significativa la resistencia del sistema de descargadores.

- Anteriormente se ha empleado conectores de tipo perno partido o ranura paralela para realizar conexiones entre conductores de aluminio y cobre en la línea de estudio.

Las conexiones se las realizaron específicamente con conectores perno partido, los mismos que por efecto de la corriente en la actualidad se encuentran sin una buena conexión (flojos), y esto ha ocasionado la sulfatación en cada nodo.

- En toda la cordillera se encontraron diferentes tipos de suelo de muy alta resistividad, asimismo las picas de aterramiento se encuentran introducidas sin una mejora en las condiciones propias del suelo, por lo que la resistencia de puesta a tierra es muy elevada.

### **3.6.2. ANÁLISIS DE LA DESCARGA EN LAS DERIVACIONES.**

Para este fin, se consideran los tramos más largos en la línea tales son:

La derivación Quilotoa que fue denominada así porque sirve al sector de Ponce Quilotoa y sus alrededores. Tiene una configuración trifásica y sus características se observan en la tabla 23.

La derivación Guangaje, se ha determinado así porque la misma abastece a la parroquia Guangaje.

De los cálculos obtenidos en el anexo 35, determina, que al producirse una descarga en las derivaciones, la afectación a la línea troncal se presentaría de la siguiente forma:

El sobrevoltaje ocasionado por inducción en la derivación es evacuado de manera rápida, debido a que la impedancia de la línea troncal es menor a la de la línea derivada. Sin embargo, si el sobrevoltaje fuera originado en la troncal al momento de encontrarse en la discontinuidad de la impedancia de la derivación; el caso sería contrario, puesto que la impedancia de la derivación tiene una impedancia mucho más alta que el de la línea troncal.

Además en la figura 7. La derivación Quilotoa está unida al tramo denominado Zumbahua – Entrada Angamarca, el mismo que de acuerdo a los datos obtenidos en el anexo 35, es el tramo con más conflictos al producirse una descarga, debido a su deterioro.

### **3.7. PROPUESTA DEL ESTUDIO COMO UNA ALTERNATIVA A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.**

El estudio realizado en la línea de interconexión San Rafael – El Estado, propone:

#### **3.7.1. PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA ACTUAL.**

El sistema de apantallamiento actualmente se encuentra en mal estado y la disminución de la eficacia ante una descarga atmosférica, se debe a diferentes factores, que se detallan a continuación:

Desde la construcción de la línea de interconexión San Rafael – El Estado, no se ha creado un proceso de mantenimiento, por lo que se hace imprescindible la creación de un plan de contingencia (puede ser observado en el anexo 36). El mismo ayudará al personal encargado de esta acción a realizar el mantenimiento de manera adecuada y ordenada.

Para recuperar la efectividad del sistema de apantallamiento en la línea de interconexión San Rafael – El Estado, se debe realizar un cambio de materiales en las estructuras de aterramiento, como por ejemplo;

- Cambio de conectores que mejoren la sujeción de los conductores con los sistemas de aterramiento, en la actualidad los conectores son de tipo perno partido o ranura paralela lo óptimo sería colocar conectores Wejtap con bala.
- Suelda de tipo exotérmica entre los conductores de cobre y las picas de aterramiento, ya que en la actualidad las conexiones son por medio de abrazadera de cobre.
- Montaje del conductor de cobre por la sección interna del poste para evitar hurtos, además la pica se enterrará a mayor profundidad, para evitar el acceso a la misma y el posible robo.
- El conductor antes de unirse a la pica de puesta a tierra se colocará en un sistema de bucle alrededor del poste, como se indica en el anexo 37.
- Colocará hilo de guarda sobre la línea del tramo Zumbahua – El Estado, con la finalidad de eliminar las descargas en los conductores de fase.

## CONCLUSIONES.

De la investigación se puede concluir lo siguiente:

- Las líneas de distribución son de mucha importancia, especialmente las de circuitos troncales ya que la misma se encarga de abastecer una gran demanda de energía eléctrica a los diferentes usuarios conectados al sistema, por lo que es vital el disminuir el riesgo de una eventual salida de servicio por motivo de una descarga atmosférica.
- Existen varias investigaciones realizadas sobre el apantallamiento para disminuir el impacto de la descarga atmosférica en líneas de transmisión en el país, pero no se ha dado la importancia merecida a líneas de distribución como en el caso de otros países desarrollados, considerando que las líneas de distribución cubren mayor cantidad de terreno por lo que se encuentran más expuestas a este tipo de fenómeno.
- El personal de ELEPCO que se encuentra directamente involucrado con el mantenimiento de las líneas en la Provincia tiene poco conocimiento de cómo mejorar las condiciones de apantallamiento, realizando así un trabajo rutinario que no mejora la situación del apantallamiento actual.
- El voltaje inducido por descarga directa en el conductor de fase, es una magnitud lo suficientemente elevada como para destruir las estructuras de aislamiento a niveles de 13,8 kV, por lo que él no apantallar la misma en los sectores de mayor incidencia de las descargas atmosféricas producirían en el 100% de ocasiones, salidas de servicio de la línea.
- La efectividad de un sistema de puesta a tierra depende del estado de mantención de la misma e influye en casi el 50% en la efectividad de evacuación de la descarga como se observa en el análisis con sistemas de puesta a tierra de 5  $\Omega$ , por lo que estipula considerar que el porcentaje

restante en la falla de apantallamiento se debe al mal estado de las estructuras y conectores.

- El aumento de aisladores en el sistema de aislamiento, disminuye las fallas por voltajes críticos de flameo inverso, y el contorneo, pero no es siempre la mejor solución puesto que el mismo podría ocasionar que la onda de sobrevoltaje llegara hasta equipos costosos y que la falla resultante fuera más perjudicial.
- Las líneas de distribución de 13,8 kV, debido al nivel de voltaje que transmiten se las ensambla sin apantallamiento, dando como resultado que cuando atraviesa sectores elevados sufra daños por sobrevoltajes de origen atmosférico y aún más sin su debida protección.

## **RECOMENDACIONES.**

De la investigación se puede recomendar lo siguiente:

- Se debería contemplar un plan de mantenimiento semestral para el apantallamiento de las líneas de distribución ubicadas en toda la provincia, en especial a las que se encuentran en los sectores elevados y de alta densidad de descargas atmosféricas.
- Para la prevención de fallas del apantallamiento de la línea, se recomienda aumentar el nivel de apantallamiento en los sectores más críticos como son; Zumbahua – Entrada a Angamarca, apantallando la misma con hilos de guarda, el mismo que de acuerdo al estudio representaría un costo de 20440,37 USD, detalle que puede ser observado en el anexo 38.
- El trabajo de mantenimiento de aisladores debería realizarse frecuente por parte del personal operativo de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, puesto que la misma atraviesa zona de contaminación de clase B, el mismo que reduce el factor de aislamiento como se indica en el anexo 39.
- En las normas de construcción correspondería realizar mediciones de la clase de suelo existente y de ser el caso mejorar las condiciones del mismo, para disminuir la resistencia de este.
- Realizar un cambio total de conectores, ya que los existentes no aportan una conexión adecuada en las instalaciones de puesta a tierra.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **BIBLIOGRAFÍA CITADA.**

ANDERSON J.G, Montercarlo Computer Calculation of Transmission Line Lightning Performance, AIEE, 1961.

AYORA Paúl, Alto Voltajes, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito-Ecuador, 1995.

BLANDÓN Díaz Jaime, Consideraciones sobre el comportamiento de las líneas de distribución ante descargas atmosféricas, Electroporcelana GAMMA, 2005.

C. F. Wagner and G. D. McCann, Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Electric Corporation, Pennsylvania - Estados Unidos, 1972.

C. F. Wagner and G. D. McCann, Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Electric Corporation, Pennsylvania – Estados Unidos, 1972.

COOPER Power Systems, Protección contra Sobrevoltajes, Cooper Power Systems (versión español), Quito-Ecuador.

ELEPCO, Dirección de Planificación, 2011.

IZQUIERDO ARELLANO Enrique, Investigación Científica, 3ª edición, Loja-Ecuador.

LEIVA ZEA Francisco, Nociones de Metodología de Investigación Científica, editado en tipoffset Ortiz, Quito-Ecuador, 1984.

LEIVA ZEA Francisco, Nociones de Metodología de Investigación Científica, editado en tipoffset Ortiz, Quito-Ecuador, 1984.

LEIVA ZEA Francisco, Nociones de Metodología de Investigación Científica, editado en tipoffset Ortiz, Quito-Ecuador, 1984.

MARTÍNEZ y TOLEDANO, Puestas a Tierra en Edificios y en Instalaciones Eléctricas, editorial Thompson Paraninfo, Madrid-España, 2004.

MEJÍA Antonio, Características de las Descargas Atmosféricas y su Efecto sobre las Líneas de Transmisión, Electroporcelana GAMMA, 2008.

MEJÍA UMAÑA Antonio, Características de las Descargas Atmosféricas y su efecto sobre las Líneas de Transmisión, Electroporcelana GAMMA, 2008.

MONTEITH A.C, Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Electric Corporation, Pennsylvania - Estados Unidos, 1972.

ORTÍZ Jaime León, Puestas a Tierra en Líneas de Transmisión, Electroporcelana GAMMA, 2008.

P. CHOWDHURI, Electromagnetic Transients in Power Systems, RSP Press, John Wiley and Sons, 1996.

WAGNER Y MCCANN, Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Electric Corporation, Pennsylvania - Estados Unidos, 1972.

### **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.**

AUTORES Varios, Instalaciones Eléctricas, McGraw Hill, Madrid. España, 2007.

BERNAL César, Metodología de la Investigación, Editorial Pearson Educación, México, 2006.

BROWN G. G. y E. R. Whitehead, Field and analytical studies on transmission line shielding.

CANO Adolfo, Consideraciones en la Selección de Aisladores Bajo Condiciones de Contaminación Atmosférica, Electroporcelana GAMMA, 2008.

CHACÓN Fernando, Guía para el Diseño del Sistema Eléctrico Asociado con la Pequeña Central Hidroeléctrica, Volumen I, Editorial BID, Quito-Ecuador.

DÍAZ Pablo, Puestas a Tierra para Sistemas Eléctricos de Distribución (versión español), S&T Ensts.

ENRÍQUEZ Harper Gilberto, Líneas de transmisión y redes de distribución de potencia eléctrica, Editorial Limusa, México, 1980.

HARDER y McCann, Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse Corporation, Pennsylvania - Estados Unidos, 1972.

HARDER y CLYTON, Transmission Line Design and performance Direct Lightning Stokes

MENA Alfredo, Introducción al Estudio de Fenómenos Transitorios en líneas de Transmisión, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito-Ecuador, 1972.

ORTÍZ Jaime León, Puestas a Tierra en Líneas de Transmisión, Electroporcelana GAMMA, 2008.

RIOFRÍO Carlos, Comportamiento de líneas de transmisión a descargas atmosféricas directas.

RUIZ Vassallo Francisco, Manual de Puestas a Tierra de Equipos Eléctricos, Editorial CEAC, Barcelona/España, 1983.

SOTO Marco y TRELLES Vladimir, Programa Digital para el Estudio y Simulación del Cálculo de fallas por Apantallamiento y Flameo Inverso en Líneas de Transmisión, Tesis EPN. 2006.

THOMPSON W.G, The Mechanism of the Contamination of Porcelain Insulators, IEEE, 1964.

### **BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL.**

VILLASUSO GATO José, Ondas o Movimiento Ondulatorio (en línea), Ondas viajeras (ref. 03 de marzo del 2011, 11:22). Disponible en internet:

[http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Onda\\_sbachillerato/Ondas\\_bach\\_indice.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Onda_sbachillerato/Ondas_bach_indice.htm)

YANQUE MONTUFAR Justo, Corrientes del rayo (en línea), Symposium Internacional (ref. de 2 de febrero del 2011, 13:50). Disponible en internet:

<http://es.scribd.com/doc/55502462/9/Amplitudes-de-Corriente-de-Rayo>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS.

### C

**Cables 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.

**Capacitancia.-** es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacitancia también es una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para un potencial eléctrico dado.

**C.O.E.-** Centro de Operaciones de ELEPCO.

**CONELEC.-** Consejo Nacional de Electrificación.

**Conductor ACSR.-** Conductor de aluminio con refuerzo de acero.

**Corriente eléctrica.-** Es la circulación de cargas o electrones a través de un circuito eléctrico cerrado, que se mueven siempre del polo negativo al polo positivo de la fuente de suministro de fuerza electromotriz (FEM).

**Conexión a tierra o puesta a tierra.-** La conexión a tierra o puesta a tierra de cualquier instalación eléctrica consiste en el establecimiento de un camino de baja impedancia entre los propios elementos de la instalación eléctrica y la tierra, creándose un camino adicional para la circulación de la corriente.

La tierra como conductor es una gran masa con capacidad para absorber o entrar cargas sin cambiar sustancialmente su potencial y, por tanto, garantiza la seguridad de una instalación eléctrica, contribuyendo a la protección de las personas y de los equipos.

**Choques eléctricos.-** Un choque eléctrico ocurre cuando el cuerpo se convierte en parte del circuito eléctrico; la corriente entra al cuerpo por un punto y sale por otro.

## **D**

**Descargas atmosféricas.-** La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

**Descarga disruptiva.-** Descarga debida al transporte de cargas eléctricas mediante iones gaseosos, que va acompañada de fenómenos luminosos en la superficie de los conductores que se descargan, sin que llegue a producirse la descarga disruptiva.

**Descarga electrostática.-** Con el término descarga electrostática nos referimos a los impulsos de corriente que recorren un objeto cualquiera, cuando este objeto conectado a masa entra en contacto (directo o indirecto) con otro cuyo potencial con respecto a la masa del anterior es elevada.

## **E**

**ELEPCO.-** Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi.

**EMELGUR.-** Empresa Eléctrica Guayas Los Ríos.

**EMELSAD.-** Empresa Eléctrica Santo Domingo.

## **F**

**Falla a tierra.-** Un camino no deseado actual entre el suelo y un potencial eléctrico.

## G

**GPS.-** Sistema de Posicionamiento Global.

## I

**Interconexión.-** La interconexión es la unión de dos o más redes públicas de propiedad de uno o más operadores, en uno o más puntos, para el intercambio de información a través del tráfico de voz, datos, imágenes, video o de cualquier otra índole, de manera que todos los usuarios puedan comunicarse entre sí y puedan tener acceso a los servicios de los diferentes operadores.

**Impedancia.-** La impedancia es una magnitud que establece la relación (cociente) entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, ésta, la tensión y la propia impedancia se describen con números complejos o funciones del análisis armónico.

**INECEL.-** Instituto Nacional Ecuatoriano de Electricidad, ya desaparecido.

## L

**Líneas de distribución.-** Es el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo (las cargas). Y estos son utilizados normalmente cuando no es costeable producir la energía eléctrica en los centros de consumo o cuando afecta el medio ambiente (visual, acústico o físico), buscando siempre maximizar la eficiencia, haciendo las pérdidas por calor o por radiaciones las más pequeñas posibles.

**Líneas trifásicas.-** La mayor parte de corriente alterna (AC) de generación y transmisión, y una buena parte de su uso, llevará a cabo a través de circuitos trifásicos. Si usted quiere entender de energía eléctrica, usted debe saber algo

acerca de tres fases. Es bastante simple si usted va en la manera correcta, a pesar de que tiene una reputación de dificultad.

## **M**

**Mapas isoceráunicos.-** Las cartas o mapas isoceráunicos son la probabilidad de caída de rayos, se acude al trazado de líneas isoceráunicas, que son aquellas que delimitan áreas territoriales con un mismo nivel ceráunico.

## **N**

**Nivel ceráunico.-** El nivel ceráunico se define como el número de días de tormenta año en una región y un día de tormenta es un día en el cual por lo menos se oye un trueno. Esta definición hace que el nivel se determine en las estaciones meteorológicas por medio de observaciones y no por mediciones.

## **O**

**Ondas viajeras.-** Son aquellas ondas que se desplazan libremente por el medio. Por ejemplo, si suponemos que una soga es tan larga como nosotros queramos, la onda que generamos en esta, se propagara indefinidamente por la soga. Las ondas viajeras se dividen en transversales y longitudinales.

## **R**

**Rayo.-** Un rayo es una descarga eléctrica que golpea la tierra, proveniente de la polarización que se produce entre las moléculas de agua de una nube (habitualmente las cargas positivas se ubican en la parte alta de la nube y las negativas en la parte baja), cuyas cargas negativas son atraídas por la carga positiva de la tierra, provocándose un paso masivo de millones de electrones a esta última. Esta descarga puede desplazarse hasta 13 kilómetros, provocar una temperatura de 50.000 °F.

**Resistencia de puesta a tierra.-** Un sistema de puesta a tierra (PAT) comprende una unión metálica directa, sin protección eléctrica alguna, entre una parte de una instalación y un electrodo vinculado al suelo. El electrodo se dimensiona para asegurar que la instalación esté al mismo potencial de la tierra en ausencia de corriente y a un potencial cercano frente a una circulación de corriente de falla o de descarga.

## S

**Sobrevoltajes por descargas atmosféricas.-** Las que penetran en líneas aéreas desde la atmósfera a consecuencia de golpes de rayo o de influencia electrostática. Las sobretensiones producidas por golpes de rayo directos son las más peligrosas por ser mucho más altas que las internas y las debidas a influencia electrostática de las nubes.

**Sobrevoltajes por maniobra.-** que designan los fenómenos transitorios que acompañan a los bruscos cambios de estado de una red, por ejemplo, maniobras de disyuntores, descargas a tierra, etc.

**Sobrevoltajes temporales.-** Los sobrevoltajes temporales, también conocidos como swells, se definen como el incremento del voltaje medido en el valor RMS entre 1.1 y 1.8 pu, con un tiempo de duración comprendido entre medio ciclo y 1 minuto.

Comúnmente, este tipo de disturbio ocurre con la desconexión de bancos de capacitores grandes o cargas grandes tales como motores y transformadores de gran capacidad.

**Subestaciones eléctricas.-** Una subestación es un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos, que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, permitiendo el control del flujo de energía, brindando seguridad para el

sistema eléctrico, para los mismos equipos y para el personal de operación y mantenimiento.

## **T**

**Telurómetro.-** El telurómetro permite realizar medidas de la resistencia de conexiones a tierra empleando electrodos auxiliares, resistencia de conexiones a tierra empleando electrodos auxiliares y pinzas (para la medición de conexiones a tierra múltiples), la resistividad del terreno (mediante método de Wenner) etc.

# ANEXOS