

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“Fenómenos que se presentan  
Al realizar la transición de una línea aérea, a cable  
subterráneo en subestaciones de distribución”**

**PRESENTA:**

**JUAN ENRIQUE URBINA VILLADA**

Asesor:

Ing.: ISRAEL CAMACHO RODRIGUEZ

México, D.F. 13 de Noviembre /2013

## **Dedicatoria**

A quien me ha heredado el tesoro más  
Valioso que puede dársele aun hijo, amor.

A quien sin escatimar esfuerzo alguno

Ha sacrificado gran parte de su vida

Para formarme y educarme.

A quien nunca podré pagar

Todos sus desvelos ni aun con las

Riquezas más grandes del mundo.

Te quiero Madre y Hermanos,

Esto es un trofeo que gracias

A ustedes he logrado.

Gracias a todas la personas que me han

Brindado su apoyo y que siempre llevare

En mi corazón.

## **RESUMEN**

El Sistema Eléctrico Nacional “SEP” se interconecta de muchas maneras de los diferentes tipos de fuentes generadoras para la transmisión y distribución de la energía, tal cual es el caso de una línea de distribución subterránea, en donde el cambio de niveles de tensión de una línea a otra frecuentemente se encuentran con muchos escenarios en donde generalmente hay pérdidas eléctricas de consideración.

En el primer capítulo se menciona de forma generalizada del sistema eléctrico nacional como son: generación, transmisión y distribución, describiendo este último sus componentes que es la parte medular de este trabajo.

En el capítulo dos se detalla los fenómenos que se presentan al realizar la transición de una línea aérea a cable subterráneo en subestaciones de distribución.

El “SEP” se interconecta de muchas maneras de los diferentes tipos de fuentes generadoras para la transmisión y distribución de la energía, tal cual es el caso de una línea de distribución aérea y subterránea, en donde el cambio de niveles de tensión de una línea a otra frecuentemente se encuentran con muchos escenarios en donde generalmente hay pérdidas eléctricas; en el capítulo tres se analizan los diferentes escenarios que pueden presentarse y las posibles soluciones aportadas en este trabajo.

En el capítulo cuatro se da a conocer el impacto económico que este tipo de fallas representa. Y se dan las conclusiones y recomendaciones.

## ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	
Resumen	
Indicé general	
Glosario	
Objetivo.....	12
Generalidades.....	13
Estructura del trabajo.....	14
<b>CAPITULO I TEORÍA GENERALIZADA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA</b>	<b>15</b>
1.1 Introducción al diseño de una subestación.....	18
1.2 Requerimientos del diseño.....	18
1.3 Criterios de Diseño.....	19
1.4 Aspectos de diseño.....	20
1.5 Tipos de subestaciones eléctricas.....	20
1.6 Arreglo de barras en subestaciones.....	21
1.7 Tecnología de las subestaciones eléctricas.....	25
1.8 Subestaciones aisladas en Hexafloruro de azufre ( $SF_6$ ).....	26
1.9 Elementos básicos de las subestaciones en Hexafloruro de azufre.....	28
1.10 Línea Aérea.....	28
1.11 Características de construcción de una línea aérea.....	28
1.12 Línea Subterránea.....	31
1.13 Características de los Sistemas de Distribución Subterráneos.....	31
1.14 Criterios de diseño de operación de los sistemas de distribución subterránea.....	33
1.15 Estructuras de transición de líneas aéreas en vía pública a cables subterráneos o viceversa.....	35
1.16 Elementos constitutivos de un cable.....	35
1.17 Accesorios para cables subterráneos.....	37
<b>Capítulo II. FENÓMENOS QUE SE PRESENTAN AL REALIZAR LA TRANSICIÓN DE UNA LÍNEA AÉREA, A CABLE SUBTERRÁNEO EN SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN</b>	<b>40</b>
2.1 Análisis de la naturaleza de la falla.....	40

2.2 Fallas en las redes aéreas.....	40
2.2.1 Fallas por sobretensiones por descarga atmosférica.....	40
2.2.2 Fallas por vientos Fuertes.....	41
2.2.3 Fallas por presencia de Aves.....	41
2.3 Falla por maniobras en la red eléctrica, seccionamiento e interrupción.....	42
2.3.1 Maniobras en la red eléctrica.....	42
2.4 Descarga Parcial.....	43
2.5 Vandalismo.....	45
2.6 Falla en aislamiento del cable.....	45
2.7 Problemas ocasionados por conductores de mala calidad.....	47
2.8 Efecto Skin en conductores (piel).....	48
2.9 Efecto joule.....	49
2.10 Reportes de fallas por explosión.....	50
2.11 Reportes de fallas por Marcas de equipo electrico.....	51
2.12 Reportes de Antigüedad de Instrumentos.....	52
<b>CAPÍTULO III. ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LOS FENÓMENOS QUE SE PRESENTAN AL REALIZAR LA TRANSICIÓN DE UNA LÍNEA AÉREA, A CABLE SUBTERRÁNEO EN SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN</b>	<b>54</b>
3.1 Selección y protección del equipo.....	54
3.2 Protección por descarga atmosférica.....	54
3.2.1 Sistemas de pararrayos.....	54
3.2.2 Estándares de protección.....	56
3.3 Fallas por vientos Fuertes y por presencia de Aves.....	57
3.4 Fallas por maniobra.....	58
3.5 Falla por descarga parcial.....	58
3.6 Vandalismo.....	60
3.6.1 Prevención principios fundamentales.....	61
3.7 Ruptura de cable o falla de aislamiento.....	61

3.8 Efecto skin.....	62
3.8 Efecto joule.....	63
3.9 Reportes de Fallas por Marcas eléctricas.....	63
<b>CAPÍTULO IV. IMPACTO ECONÓMICO DE LAS PÉRDIDAS ELÉCTRICAS Y DEL INADECUADO MANTENIMIENTO</b>	<b>65</b>
4.1 Pérdidas de Energía Eléctrica.....	65
4.2 Consecuencias de mal mantenimiento en subestaciones subterráneas y equipo antiguo.....	67
<b>CONCLUSIONES Y O RECOMENDACIONES</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>69</b>

## GLOSARIO

**Voltaje:** Es la fuerza eléctrica necesaria para originar un flujo de corrientes o bien como el diferencial de potencial entre dos conductores, se representa con la letra V.

**Volt:** Es la unidad de fuerza eléctrica, se presenta con la letra V.

**Corriente:** Es el movimiento de electrones (partículas con carga eléctrica) dentro de un material conductor, se representa con la letra I.

**Ampere:** Es la unidad de corriente eléctrica, se presenta con la letra A.

**Corriente directa:** Es la energía eléctrica que proporciona un valor constante a lo largo del tiempo manteniendo constante su polaridad.

**Corriente alterna:** Es la energía eléctrica que proporciona un valor oscilante a lo largo del tiempo a cierta frecuencia.

**Frecuencia:** Es el número de ciclos o repeticiones de las ondas de tensión y corrientes nominales que se presentan en un segundo; se representa con la letra f.

**Potencia aparente:** Se define como la energía total que el transformador es capaz de proporcionar, está dada por el producto del voltaje nominal por la corriente nominal ( $V * I$ ), se mide en volt-amperes y se representa como VA.

**Voltampere:** Se define como la unidad de la capacidad o potencia aparente, se representa como VA.

**Potencia activa:** Se define como la energía necesaria para mantener un cierto flujo de corriente, está dada por el producto del voltaje por la corriente que está realizando trabajo. Se representa con la letra P. Este tipo de potencia es la más conocida.

**Watt:** Se define como la unidad de la potencia activa, se presenta como la letra W.

**Factor de potencia:** Se define como la relación de la potencia activa a la potencia aparente, siempre es menor o igual a 1. Es realmente una medición para saber que tan eficiente es el sistema.

**Conductor eléctrico:** Material que permite el movimiento libre de los electrones a través del mismo.

**Aislador o aislamiento eléctrico:** Es aquel material que no permite el movimiento libre de los electrones.

**Conductividad:** Es la propiedad que permite la circulación de la corriente a través de un conductor.

**Resistencia eléctrica:** Es la oposición a la circulación de la corriente, se representa con la letra R y sus unidades son los Ohms ( $\Omega$ ).

**Campo eléctrico:** Son las líneas de fuerza eléctrica, invisibles, que en forma radial rodean a un cuerpo cargado eléctricamente; se representa con la letra E.

**Campo magnético:** Son las líneas de fuerza magnética, invisibles, que en trayectorias circulantes rodean a un conductor por el que circula una corriente eléctrica; se representa con la letra B, un campo magnético variable con el tiempo induce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de esta.

**Voltaje inducido:** Un conductor eléctrico que se mueva en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él.

**Flujo:** Es la cantidad de líneas de fuerza por unidad de área, se representa con la letra griega  $\phi$  y sus unidades son Gauss.

**Permeabilidad magnética:** Es la propiedad de permitir la circulación del flujo magnético del núcleo.

**Pérdidas sin carga.** También llamadas pérdidas en vacío, se define como la energía que consume el transformador al estar el primario conectado a la fuente y el secundario sin carga; es la necesaria para mantener el flujo magnético en el núcleo. Están compuestas por pérdidas en el conductor por la circulación de corrientes de excitación, pérdidas en el aislamiento, pérdidas por magnetización (Histéresis) y pérdidas por corrientes circulantes en la laminación (Eddy). Como las primeras dos componentes son muy pequeña, a las pérdidas sin carga se les llama también pérdidas del núcleo o de hierro, Se representan como  $W_{Fe}$  o NLL (No Load Losses, en inglés) y se miden en Watts.

**Impedancia:** Mejor conocido como voltaje de impedancia, es el voltaje aplicado al primario capaz de producir la corriente nominal en el secundario, estando las terminales de éste último en cortocircuito. Representa la oposición del transformador a la corriente durante un cortocircuito y se expresa en porcentaje del voltaje nominal del primario como %Z.

**Pérdidas totales.** Es la suma de las pérdidas sin carga y las pérdidas con carga. Representa la cantidad de energía consumida por el transformador y se traduce en calor.

**Eficiencia.** Es la relación que existe entre la potencia nominal de salida con respecto a la potencia que es necesario alimentar a la entrada para tener a la salida la potencia nominal, es un indicador de la cantidad de pérdidas totales, se mide en % y usualmente el valor de eficiencia se encuentra en  $\% \eta \approx 98\%$ .



**Regulación.** Es la variación de la tensión medida en terminales del secundario con respecto a la tensión nominal, que ocurre al conectar una carga, manteniendo constante la tensión alimentada al primario.

**NBAI o BIL.** Nivel básico de aislamiento al impulso, representa la capacidad de un transformador para soportar una sobretensión producida ya sea por una descarga atmosférica o por la apertura o cierre del cortocircuito donde se encuentra conectado el transformador. Indica el valor máximo de la sobretensión que debe soportar el equipo y se expresa en kV.

**Conexión.** Describe el tipo de operación del transformador en su lugar de uso, de aquí se determina el número de terminales.

**Enfriamiento.** Nivel de elevación máximo de temperatura por encima de la del ambiente; en °C, así mismo se establece si es sólo auto enfriado o bien si cuenta además con algún paso de enfriamiento forzado.

## Índice de Figuras

Figura 1. a) Central Eólica, La venta I, Figura b) Central Nuclear de Estados Unidos

Figura 2. a), b) Ejemplos de líneas de transmisión de alta tensión

Figura 3. a), b) Ejemplos de líneas de distribución de media y baja tensión

Figura 4. Ejemplo del SEP, "Sistema Eléctrico de Potencia".

Figura 5. Ejemplo de un Arreglo de barra simple o sencilla.

Figura 6. Ejemplo de un Arreglo de barra radial.

Figura 7. Ejemplo de un Arreglo de barra en anillo.

Figura 8. Ejemplo de un Arreglo de barra de transferencia

Figura 9. Ejemplo de un Arreglo de interruptor y medio.

Figura 10. Ejemplo de una subestación aisladas en intemperie.

Figura 11. Ejemplo de Subestación SF<sub>6</sub>

Figura 12. Ejemplo de línea aérea

Figura 13. Ejemplo de línea Subterránea

Figura 14. Ejemplo de canalización de ductos

Figura 15. Partes constitutivas de un cable, (1)

Figura 16. Muestra el rayo producido por una nube cargada negativamente

Figura 17. Ejemplo de descarga Superficial sobre un carro de interruptor

Figura 18. Ejemplo de una descarga interna en un transformador de corriente seccionado

Figura 19. Ejemplo de un Cable con falla de aislamiento

Figura 20. Ejemplo de una falla por corto Circuito

Figura 21. Riesgos de un conductor de mala Calidad

Figura 22. Características de Fabricación del cobre

Figura 23. Ejemplo del comportamiento del efecto Skin

Figura 24. Ejemplo de una Termografía de los conductores.

Figura 25. Ejemplo de una Termografía de un Transformador.

Figura 26. Mapa de isodensidad de rayos en la República Mexicana elaborado en 1991 por CFE.

Figura 27. Ejemplo de dispositivo antipalomas y control de aves.

Figura 28. a),b) Imagen en microscopia digital 3D: Electrical- tree en semiconductor interna.

Figura 29. Imagen por Rayos X, terminal 13,2 KV.

Figura 30. Componentes de un cable Condumex.

Figura 31. Precios de energía Eléctrica Fuente Secretaria de Energía.

Figura 32. Ventas internas de Energía Eléctrica Fuente Secretaria de Energía.

Gráfica 1. Fallas de Transformadores que originaron Explosión con incendio 2000-2010.

Gráfica 2. Estadística de fallas de Transformadores y Reactores de potencia totales por marca 2000-2011.

Gráfica 3. Antigüedad de los transformadores e instrumentos.

Tabla 1. Sección transversal de conductores.

Tabla 2. Sección trasversal y configuración de conductores.

Tabla 3. Fallas totales. Fallas de Transformadores que originaron. Explosión con incendio 2000-2010.

Tabla 4. Estadística de fallas de Transformadores y Reactores de potencia totales por marca 2000-2011.

## **Objetivo**

En el presente trabajo se analizarán los diferentes fenómenos que se presentan cuando ocurre la transición de una línea aérea a cable subterráneo en subestaciones de distribución se planteará el cómo reducir las pérdidas eléctricas y económicas bajo las normas vigentes.

## **Justificación**

Eliminar el problema que representa el alto costo del remplazo de materiales por fallas de sobretensiones, calentamiento, descargas parciales, contaminación, vandalismo, fallas en el cableado, efecto Skin, efecto joule, reportes de falla por explosión, reportes de falla por marca, reportes de antigüedad de instrumentos, son un problema que en la actualidad se presentan de manera habitual en los enlaces de reducción de una línea aérea a subterránea debido a las características de construcción de la misma el tamaño de los conductores, los instrumentos, y el modo en el que opera (por el mecanismo y operaciones en la misma),etcétera.

Y en virtud de una mejor distribución de energía eléctrica que conlleve a una mejor calidad en cuanto al suministro la razón por la cual se debe analizar estos fenómenos.

## **Capítulo I**

### **Teoría generalizada del sistema eléctrico de potencia.**

Teoría generalizada del sistema eléctrico de potencia, se analizará y dará una introducción a los fenómenos que se presentan el funcionamiento de voltaje, y los conductores.

## **Capítulo II**

### **Fenómenos que se presentan al realizar la transición de una línea aérea, a cable subterráneo en subestaciones de distribución.**

Analizaré los fenómenos eléctricos que se presentan en las líneas de distribución, entendiendo de manera más clara donde intervienen y el problema que generan.

## **Capítulo III**

### **Estrategias para reducir los fenómenos que se presentan al realizar la transición de una línea aérea a cable subterráneo en subestaciones de distribución.**

Abordare posibles soluciones prácticas y puestas en prueba, donde una vez tomadas estas soluciones se reduce considerablemente las pérdidas de energía en cada uno de estos fenómenos eléctricos, constituyendo un enorme ahorro de energía eléctrica, aportaré información del mismo fenómeno en condiciones típicas de operación.

## **Capítulo IV**

### **Impacto económico de las pérdidas eléctricas, del inadecuado mantenimiento.**

Presentaré pruebas y datos de las consecuencias que genera el no atender este tipo de fenómenos y su oportuna solución.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Se presentarán las conclusiones a lo que el trabajo ha demostrado, y las recomendaciones oportunas para así mejorar la calidad del sistema eléctrico de potencia.

## CAPITULO I

### TEORÍA GENERALIZADA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

La industria eléctrica nació a finales del siglo XIX, Nikola Tesla fue el promotor más importante del nacimiento de la electricidad comercial, las aportaciones de Tesla y su trabajo teórico formaron las bases de los sistemas modernos de potencia eléctrica, por corriente alterna (CA), pasaron muchos años para que se pudiera desarrollar la infraestructura capaz de transmitir la energía eléctrica desde puntos alejados, hasta los centros de consumo, se empezaron a considerar factores como el tecnológico social demográfico y poder hacer posible su engrandecimiento.

Es innegable que el proceso de la sociedad humana y su civilización, se deban en gran medida, entre otras cosas, a la electricidad, en sus inicios y más recientemente a los sistemas eléctricos, ya que al facilitar el crecimiento de la actividad industrial elevan el nivel de vida de las personas, de esta forma tanto el desarrollo tecnológico como el industrial y el social va a estar en constante expansión, demandando un mayor uso de la energía eléctrica.

Teniendo en cuenta las necesidades de energía y combustibles disponibles que se pronostican para el próximo siglo, la demanda de energía eléctrica se espera que sea cada vez más.

En general la definición de un sistema de energía eléctrica incluyen: generación, transmisión, y un sistema de distribución.

**Generación:** Se refiere al modo de producir la energía eléctrica dependiendo del método empleado para ello se le denomina el nombre y son la principal fuente de alimentación eléctrica de sistema eléctrico nacional.

La generación de energía en México tiene varias fuentes<sup>1</sup>, la primera de ellas y la más antigua son las hidroeléctricas, entre las más importantes por su capacidad de generación se encuentran la de Chicoasén, en Chiapas “Manuel Moreno Torres” que genera 2,400 Mw.; la del malpaso en Tecpatán, Chiapas; “El Infiernillo”, situado en la unión de Guerrero, que produce 1,000 Mw.;le sigue Aguamilpa, en Tepic, Nayarit, la cual es capaz de generar 960 Mw.; el sistema cuenta también con la hidroeléctrica “Belisario Domínguez”, o angostura, en Chiapas que genera 900 Mw, la hidroeléctrica “Leonardo Rodríguez Alcaine”, conocida como “El Cajón”, produce actualmente 750 MW desde Santa María del Oro en Nayarit. Otra de gran importancia es la que se encuentra en Choix, en Sonora que lleva el nombre de “Luis Donald Colosio”,

---

• <sup>1</sup> [www.explorandomexico.com.mx](http://www.explorandomexico.com.mx)



Figura 1. a) Central Eólica, La venta I, Figura b) Central Nuclear de Estados Unidos

Conocida también como “Huites”, la cual genera en su máxima capacidad 422 MW por mencionar algunas.

**Transmisión:** Se refiere al método de transporte mediante el cual se hace llegar la energía eléctrica a los diferentes centros de consumo del país.



Figura 2. a), b) Ejemplos de líneas de transmisión de alta tensión

**Distribución:** Es el método por el cual se distribuye la energía eléctrica a los centros de consumo permitiendo así distribuir de manera equitativa y eficiente la energía transportada desde los centros de generación.

Dependiendo del nivel de voltaje al cual se realiza la transmisión de energía eléctrica, se tiene clasificadas a las redes en tres categorías: transmisión, subtransmisión y distribución.

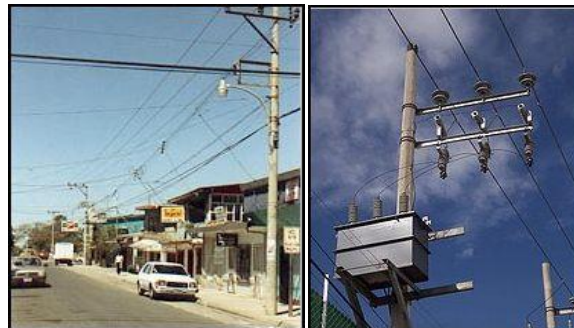
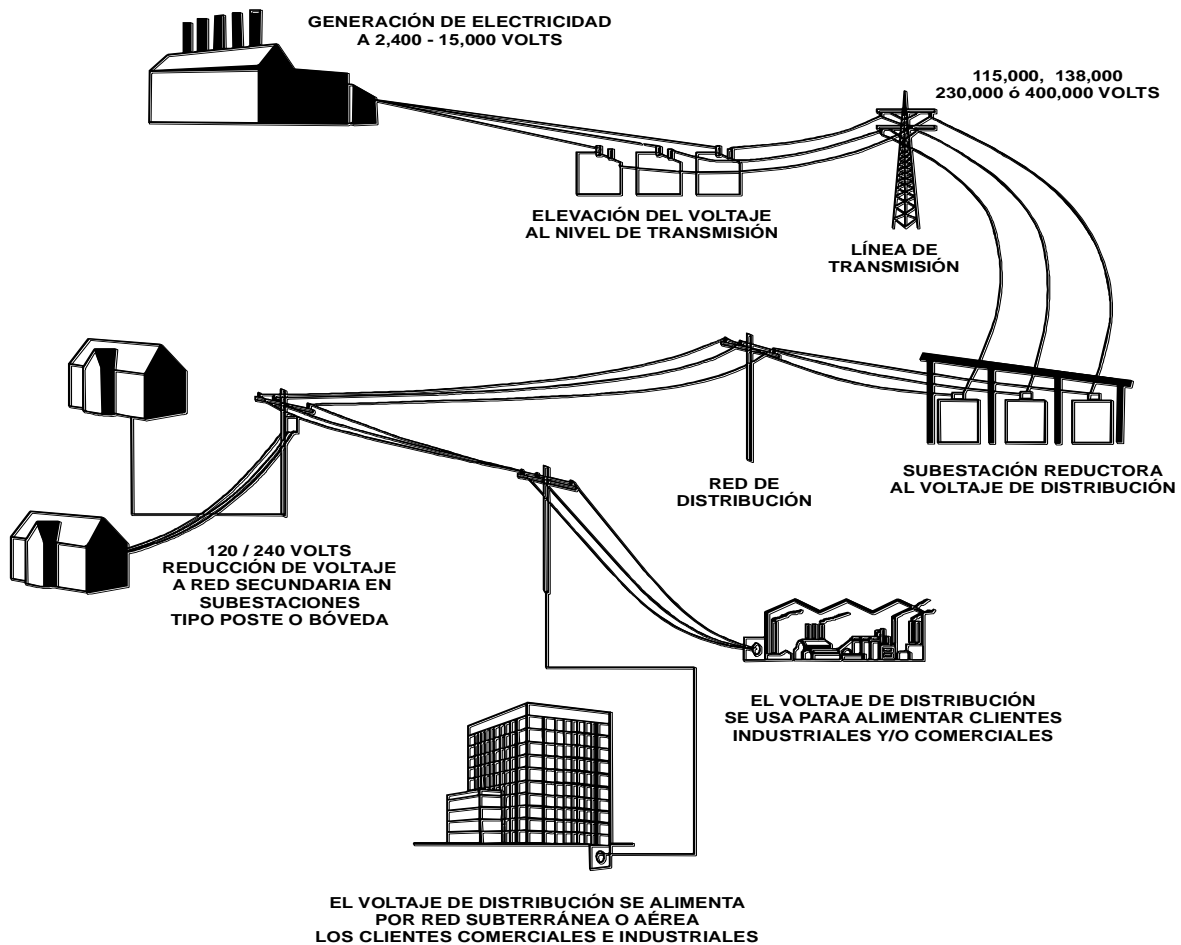


Figura 3 a), b) Ejemplos de líneas de distribución de media y baja tensión



**PARTES DE UN SISTEMA TÍPICO DE DISTRIBUCIÓN**

Figura 4, Ejemplo del SEP, “Sistema Eléctrico de Potencia”.

**Enlaces de transformación**

Son aquellos que permiten la transferencia de energía desde las plantas Generadoras mediante elevar el nivel de tensión para el traslado de la energía eléctrica y cuando se llega al centro de consumo reducir el nivel de tensión y redireccionar la energía a los centros de consumo usualmente son subestaciones de enlace o entronque.

En pocas palabras, la importancia económica del sistema de distribución es muy alta, y el importe de las inversiones que dicta una cuidadosa planificación, diseño, construcción y operación



## 1.1 Introducción al diseño de una subestación.

En la fase de planeación, se debe de probar que el diseño es óptimo y que son prácticas para construir y operar.

**El diseño conceptual**<sup>2</sup> en los sistemas eléctricos de potencia, se puede establecer como la armoniosa integración de varios aspectos son discretos, pero compiten en el diseño y satisfacen los requerimientos y objetivos operacionales en forma económica.

En el diseño conceptual también se le conoce como la ingeniería básica de los proyectos y requiere de una familiarización con las distintas fases del diseño y de mantener en forma anticipada los posibles conflictos potenciales entre otros aspectos.

En el caso del diseño de subestaciones eléctricas, la ingeniería básica o diseño conceptual deben estar familiarizados con los estudios de corto circuito del sistema, la protección y la coordinación de los dispositivos de protección, los estudios de flujos de carga, los estudios de estabilidad dinámica y de estado estacionario. También, para el diseño de las subestaciones del tipo industrial, se deben tener conocimientos elementales de las necesidades de distintos tipos de cargas y procesos, tales como los que se tienen e las industrias, papelera, metalurgia, cementera, petrolera, petroquímica, electroquímica, electrometalurgia, etc.

## 1.2 Requerimientos del diseño.

**En primer lugar**, antes que nada se deben establecer los objetivos primarios y secundarios para el proyecto del sistema eléctrico, a través de la consulta con ingenieros de proceso, operadores y personal de mantenimiento. Esto podría incluir objetos, tales como: continuidad de servicio y la clasificación de los procesos como crítico, esencial o de propósitos generales.

**En segundo lugar**, una buena comprensión del tipo de carga y su aplicación resulta fundamental para una buena planeación el sistema, se debe tomar también una información completa del comportamiento de la carga para determinar las necesidades de potencias real y reactiva.

Así mismo, se debe hacer una revisión de las cargas, de sus procesos y requerimientos de confiabilidad, basados en los aspectos económicos, que es establecer cuál es el costo de la producción o equipo dañado debido a las fallas en el suministro de la energía eléctrica, las salidas temporales, las depresiones o elevaciones de voltaje o las ondas de sobretensión.

---

<sup>2</sup> Elementos de Diseño de subestaciones eléctricas, 2da Edición, G. Enríquez Harper, Ed Limusa

**En tercer lugar**, Determinar la carga total, factor de carga y la demanda cuya definición es la siguiente:

Carga pico. Es la máxima carga, ya sea en máximo instantáneo o en máximo promedio en un periodo de tiempo.

Carga promedio. Es la carga promedio en un periodo de tiempo, que puede ser un día, una semana un mes o un año.

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Carga promedio}}{\text{Carga pico}}$$

Carga conectada. Es la suma de las capacidades nominales de todas las cargas conectadas.

Demanda. Es la carga eléctrica promediada durante un periodo de tiempo, usualmente se expresa en KW o KVA, promediando el tiempo en periodo de 15 días o 30 minutos o una hora.

Demanda máxima. La mayor de todas las demandas que ocurren durante un periodo de tiempo específico. El periodo para propósitos de facturación es de un mes.

$$\text{Factor de demanda} = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga conectada}}$$

Demanda coincidente. Es cualquier demanda que ocurre en forma simultánea con cualquier otra demanda.

**En cuarto lugar**, se deben considerar las necesidades futuras para un sistema para los próximos cinco, diez y hasta veinte años, tomando en consideración no sólo crecimiento de la demanda, sino también posibles cambios en los procesos y la incorporación de accionamientos eléctricos para máquinas eléctricas.

**En quinto lugar**, en particular para las subestaciones o sistemas eléctricos industriales, se debe tomar en cuenta, en ciertos casos a posibilidad de cogeneración, si existen proyectos de autoabastecimiento o de compra de mayor cantidad de energía o una tarifa diferente. La generación local generalmente incrementa la confiabilidad del sistema eléctrico para cargas locales.

### **1.3 Criterios de Diseño.**

Se requiere de un criterio uniforme de diseño o estándar para los propósitos de selección del sistema o equipos, así como para comparar distintas alternativas de un proyecto. Una vez que los requerimientos de la carga se han establecido, es necesario

algún criterio básico para que se seleccione un sistema de distribución apropiado; la comparación entre distintos sistemas consideraciones básicas son las siguientes:

Seguridad, Confiabilidad, Simplicidad de operación, Calidad de voltaje, Mantenimiento Flexibilidad y Costo.

#### **1.4 Aspectos de diseño**

Hay seis aspectos de diseño principales que deben ser considerados en el diseño de los sistemas eléctricos de potencia, que son:

La selección del nivel de tensión, el conocimiento del nivel cortocircuito, la forma de aislar las fallas a tierra, la liberación rápida de fallas, la operación selectiva de la protección, la prevención de la operación con fallas monofásicas.

#### **1.5 Tipos de subestaciones eléctricas.**

Dependiendo del nivel de voltaje, potencia que manejan, objetivo y tipo de servicio que prestan, las subestaciones se pueden clasificar como:

##### **a) Subestaciones elevadoras**

Este tipo de subestaciones se usa normalmente en las centrales eléctricas, cuando se trata de elevar los voltajes de generación a valores de voltajes de transmisión.

##### **b) Subestaciones reductoras**

En estas subestaciones, los niveles de voltaje de transmisión se reducen al siguiente (subtransmisión), o de subtransmisión a distribución o eventualmente a utilización.

##### **c) Subestaciones de enlace**

En los sistemas eléctricos, se requiere tener mayor flexibilidad de operación para incrementar la continuidad del servicio y consecuentemente la confiabilidad, por lo que es conveniente el uso de las llamadas subestaciones de enlace.

##### **d) Subestaciones en anillo**

Estas subestaciones se usan con frecuencia en los sistemas de distribución para interconectar subestaciones que están interconectadas a su vez con otras.

##### **e) Subestaciones radiales**

Cuando una subestaciones tiene un solo punto de alimentación y no se interconecta con otras, se denomina RADIAL.

## **f) Subestaciones de Switcheo**

En estas subestaciones no se tienen transformadores de potencia, ya que no se requiere modificar el nivel de voltaje de las fuentes de alimentación y sólo se hacen operaciones de conexión y desconexión (maniobra o switcheo).

### **1.6 Arreglo de barras en subestaciones.**

Las subestaciones eléctricas en transmisión y distribución se diseñan también para tener, en la medida de lo posible, una máxima confiabilidad y flexibilidad de operación. La facilidad para switchear o desconectar equipo y sacarlo de servicio para salidas programadas o no programadas, manteniendo en operación, es esencial para la operación confiable de los sistemas.

Los circuitos que se conectan o derivan de las barras, pueden ser generadores, líneas de transmisión, bancos e transformadores, bancos de tierra, etc.

En una subestación se pueden tener uno o varios arreglos de barras para que son usadas por las distintas empresas eléctricas para satisfacer el requerimiento de una operación confiable de los sistemas dependiendo del propio diseño de la subestación para satisfacer el requerimiento de una operación confiable y flexible del sistema. Algunos de estos arreglos se usan en las subestaciones para grandes usuarios industriales y comerciales.

Las barras colectoras están formadas principalmente de los siguientes elementos:

- a) Conductores eléctricos.
- b) Aisladores que sirven de elemento aislante eléctrico y de soporte mecánico del conductor.
- c) Conectores y herrajes que sirven para unir un tramo de conductos con el siguiente y para sujetar el conductor al aislador

La selección de un arreglo de barras en particular y su representación en un diagrama unifilar, de los llamados simplificados, requiere de un estudio previo donde se determinen: los requerimientos de la demanda de energía, las amplificaciones del sistema y la afectación que esto pueda tener, la flexibilidad y facilidad para el mantenimiento, así como los costos de barras. Los arreglos de barras más comunes son los que se indican a continuación, en orden de complejidad y costo.

Una descripción genérica de algunos de los arreglos de barras más comunes o de uso más generalizado se da a continuación:

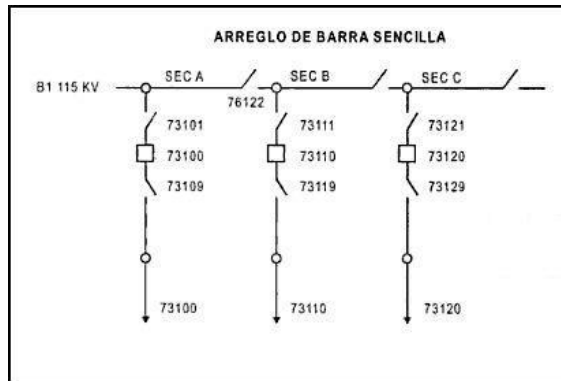


Figura 5 Ejemplo de un Arreglo de barra simple o sencilla.

### a) Arreglo de barra sencilla

Son subestaciones que constan solamente de una barra para cada tensión, por lo que no ofrecen mayor grado de flexibilidad, ya que una falla en barras produce la salida total, por lo que se procura que tengan la capacidad de poder ser seccionados a través de cuchillas. El mantenimiento en ellas se dificulta al no poder transferir el equipo, su utilización es principalmente en subestaciones de pequeña capacidad o de tipo industrial pequeñas.

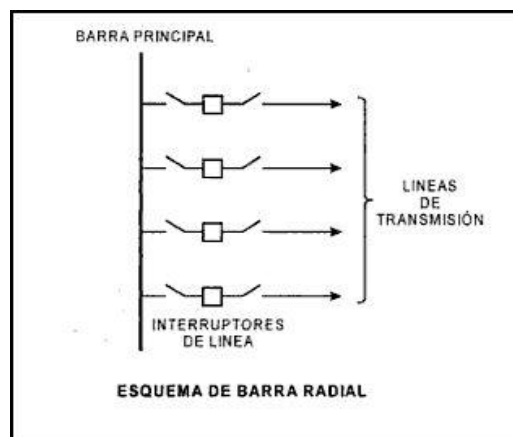


Figura 6 Ejemplo de un Arreglo de barra radial.

### b) Arreglo de barra radial

El esquema de barra radial mostrado en la siguiente figura, representa el arreglo más económico en términos de requerimiento del equipo. Obsérvese que solo se tiene un interruptor por cada terminación de línea, sin ninguna previsión para alimentar una línea de otra barra dentro de la subestación; por lo tanto, la configuración radial ofrece la menor flexibilidad operativa.

Se usa en subestaciones de distribución o de subtransmisión.

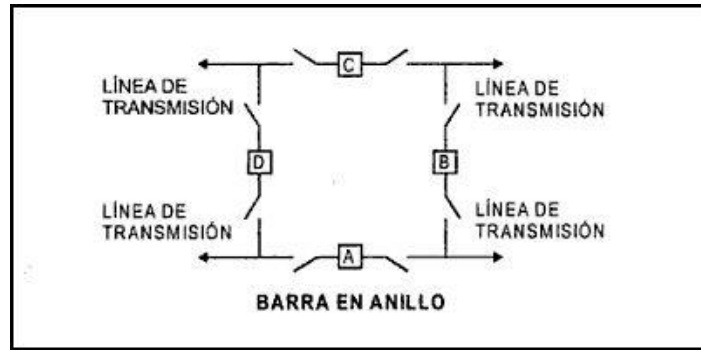


Figura 7 Ejemplo de un Arreglo de barra en anillo.

### c) Arreglo de barra en anillo

En el esquema de barra en anillo, que se muestra en la siguiente figura, el número de interruptores es igual al número de líneas que terminan en la subestación. La barra en anillo es un diseño más económico que el denominado de interruptor y medio, pero también ofrece menor flexibilidad de operación.

El nombre de barra o bus en anillo, viene del hecho que los interruptores y el bus de trabajo forman un anillo eléctricamente.

### d) Arreglo de barra de transferencia

El arreglo con barra de transferencia puede tener algunas variantes, en este tipo de arreglo cada línea de transmisión está conectada a la barra principal por medio de una cuchilla desconectadora. La barra o bus de transferencia está conectado a la barra o bus principal por medio de un interruptor de transferencia, el bus de transferencia sirve entonces como una alternativa de suministro para cualquiera de las líneas de transmisión. En condiciones normales de operación, el bus de transferencia y el bus principal están energizados.

Cuando es necesario retirar de servicio alguno de los interruptores de línea, se puede seguir el orden de desconexión que se indica:

- 1.- Disparar o desconectar el interruptor de transferencia.
- 2.- Se cierra el interruptor del bus de transferencia de la línea afectada.
- 3.- Se recierra el interruptor del bus de transferencia.
- 4.-Se dispara o abre el interruptor de la línea afectada.
- 5.-Se abre la cuchilla desconectadora para aislar el interruptor.

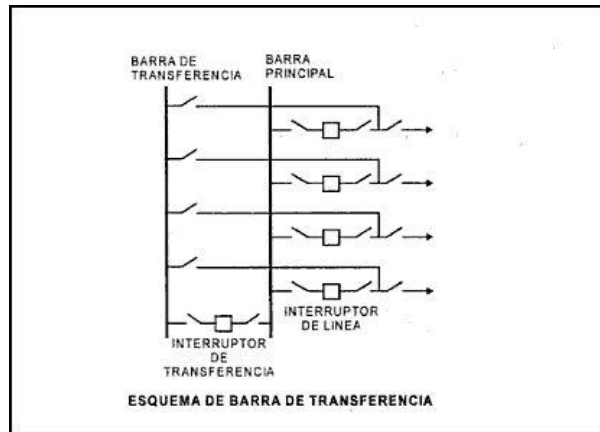


Figura 8 Ejemplo de un Arreglo de barra de transferencia

### e) arreglo de interruptor y medio

El esquema e interruptor y medio se usa normalmente en subestaciones eléctricas de la red de transmisión, en voltajes de 220KV, 230 KV o superiores. En este esquema de arreglo de barras para subestaciones, hay dos barras o buses principales con tres interruptores que conectan a las dos barras. Las líneas de transmisión terminan en un punto eléctricamente entre cualquiera de los dos interruptores. El nombre “interruptor y medio” viene probablemente del hecho que hay tres interruptores por cada dos líneas de transmisión, o bien,  $1 \frac{1}{2}$  interruptor por línea, el interruptor a medio es, de hecho, compartido por dos líneas.

Para subestaciones con más de cuatro terminaciones para líneas de transmisión, se requieren más bahías de interruptores con las líneas terminales. Con este esquema se logra un alto grado de confiabilidad, dado que cualquier interruptor se puede retirar de operación, manteniendo todas las líneas de transmisión energizadas.

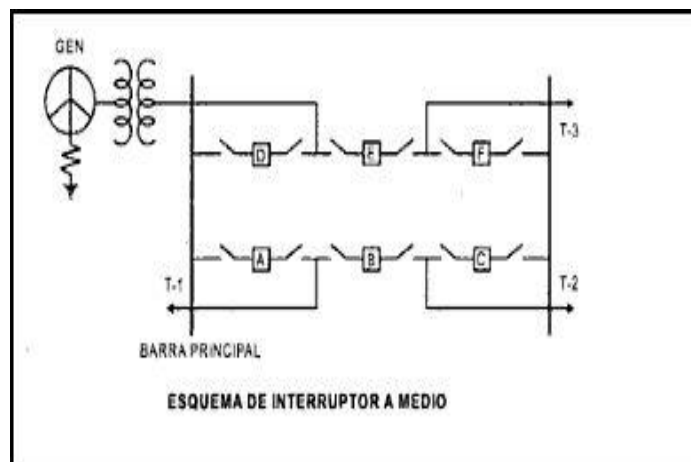


Figura 9 Ejemplo de un Arreglo de interruptor y medio.



Figura 10 Ejemplo de una subestación aislada en intemperie.

### 1.7 Tecnología de las subestaciones eléctricas<sup>3</sup>.

Existen tres tipos de tecnología de las subestaciones eléctricas:

Subestaciones aisladas en aire

En este tipo de subestaciones, el aire sirve como medio aislante y, por lo tanto, se usan principalmente en exteriores. En el caso de subestaciones de alta y extra alta tensión, tienen el inconveniente de que ocupan un espacio importante para su construcción, por lo que su aplicación en áreas urbanas densamente pobladas está restringida a la disponibilidad de terrenos. De este hecho, las subestaciones aisladas en aire tienen dos variantes constructivas: subestaciones tipo intemperie y subestaciones tipo interior.

Subestaciones tipo intemperie. Estas subestaciones se construyen en terrenos en áreas expuestas al medio ambiente (intemperie) y por lo tanto, requieren de un diseño de aparatos y máquinas que sean capaces de soportar el funcionamiento en condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, contaminación aérea, nieve descargas atmosféricas, etc.).

Esta modalidad se usa en condiciones atmosféricas adversas para alta y extra alta tensión (superiores a 500 KV).

Subestaciones tipo interior. En este tipo de subestaciones, los equipos y máquinas usadas están diseñadas para las subestaciones aisladas en el aire, con la creciente utilización de las subestaciones aisladas en Hexafloruro de azufre; sin embargo, como

---

<sup>3</sup> <http://es.scribd.com/doc/96483642/11/tecnologia-de-las-subestaciones-electricas>



diseño, sigue siendo una opción en ciertos casos de subestaciones localizadas en áreas urbanas.

### **1.8 Subestaciones aisladas en Hexafloruro de azufre ( $SF_6$ ).**

En México, este tipo de subestaciones generalmente se diseña en el rango de 115 a 400 KV y tensiones superiores en otros países. Se aplican en aquellos casos en que por problemas de espacio o de impacto del medio ambiente, existen restricciones para construir las subestaciones convencionales con aislamiento en el aire. Las subestaciones en ( $SF_6$ ) ocupan aproximadamente  $\frac{1}{4}$  del espacio de las equivalentes aisladas en aire pueden estar diseñadas para operar en exterior o interiores, para exteriores (intemperie) operan en rangos de temperatura de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en tanto que para interiores el rango va de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ .

En la Ciudad de México y zona conurbana, se tiene la necesidad de satisfacer la creciente demanda de energía en áreas densamente pobladas, donde la escasez de terrenos y su alto costo, limita y encarece la construcción de subestaciones. Asimismo, las restricciones gubernamentales referentes al impacto ambiental, han impulsado la construcción de subestaciones encapsuladas en  $SF_6$ , considerando que estas se instalan dentro de edificios con adecuada ambientación ecológica que produce un efecto visual integrado a su entorno, así como reducción en los niveles de contaminación auditiva.

Gas  $SF_6$ : El gas  $SF_6$  se obtiene de la síntesis directa del flúor y el azufre en forma líquida. El gas es químicamente muy estable y la temperatura ambiente puede ser considerada como un gas neutro. Térmicamente es también sumamente estable, hasta el punto de que su disociación es un fenómeno prácticamente reversible, esta característica es altamente deseable para su uso como medio apropiado para interrupción de arcos eléctricos. Su resistencia dieléctrica es de aproximadamente 2.5 veces la que dispone el aire en sus condiciones más ventajosas. Este gas es un excelente fluido de corte de arcos eléctricos por las razones siguientes: dispone de una energía de disociación, lo cual le da una notable capacidad de enfriamiento de los arcos; su rápida recombinación de las moléculas de gas disociadas le permiten el restablecimiento de tensiones muy severas; su toxicidad es nula en su estado normal y como consecuencia, su uso es inocuo para el hombre.

Comparando las propiedades de  $SF_6$  con las de los otros dieléctricos se concluye lo siguiente:

- a) Los dieléctricos, bajo la acción de las descargas eléctricas pueden ser dañados tanto superficialmente como en su masa, el  $SF_6$  no sufre alteraciones apreciables porque una buena dosis de sus productos de descomposición se regeneran espontáneamente.



b)

c) Figura 11 Ejemplo de Subestación SF<sub>6</sub>

- d) Los dieléctricos líquidos (aceites para transformadores) son generalmente inflables, tienen un elevado peso específico y bajo la acción de descargas forman productos de descomposición estables. El SF<sub>6</sub>, no es inflamable, tiene bajo peso específico y no se altera en forma apreciable.
- e) Algunos otros dieléctricos gaseosos no tienen propiedades de regeneración espontánea y presentan puntos de condensación más altos.
- f) Otra propiedad fundamental de gas SF<sub>6</sub> es su capacidad de extinguir los arcos en corriente alterna, hasta cien veces mayor que con el mismo dispositivo de interrupción, presión y condiciones del circuito eléctrico, pueden interrumpirse en aire.

Las subestaciones en SF<sub>6</sub>, cuentan con las siguientes ventajas:

- a) Debido a que todas las partes con tensión están contenidas en envolturas metálicas conectadas a tierra, se elimina la probabilidad de un contacto accidental con partes energizadas aumentando la seguridad del personal y la confiabilidad del servicio.
- b) La construcción blindada protege a la instalación de los efectos de la contaminación atmosférica (polvo, nieblas salinas, humo).
- c) La construcción blindada disminuye también los efectos de la subestación sobre el medio ambiente, evitando la radio interferencia y disminuyendo el nivel de ruido debido a la operación de interruptores.
- d) La disminución de las dimensiones de la subestación y especialmente la disminución de la altura, mejora la apariencia de la subestación y permite realizar, en caso necesario, instalaciones subterráneas y se puede alojar en edificios de escasos metros cuadrados de construcción.
- e) Otro de los aspectos más ventajosos son los bajos costos de mantenimiento ya que las fallas más comunes son las fugas de gas en los diversos compartimientos y estas son muy ocasionales.

### 1.9 Elementos básicos de las subestaciones en Hexafloruro de azufre.

Las subestaciones aisladas y encapsuladas en SF<sub>6</sub> están integradas básicamente por los mismos elementos que constituyen a las subestaciones convencionales, salvo elementos adicionales como son las cuchillas de puesta a tierra que garantizan su seccionamiento para efectos de mantenimiento y pruebas.

### **1.10 Línea Aérea.**

Se define como línea aérea al elemento de transporte o distribución formado por conductores desnudos apoyados sobre elementos aislantes que, a su vez, son mantenidos a una determinada altura sobre el suelo y en una determinada posición, por medio de apoyos repartidos a lo largo de su recorrido.

Para su correcto funcionamiento una línea aérea debe sujetarse a las siguiente norma mexicana<sup>4</sup>: NMX-J-150/1-ANCE

### **1.11 Características de construcción de una línea aérea.**

Lo primero es planear el trabajo, siendo la base para optimizar la construcción y mantenimiento en las instalaciones aéreas en media y baja tensión.

Posteriormente selecciona los herrajes y se considera sus medidas en función del nivel de fijación al poste.

La alineación de los herrajes con respecto al poste y a la línea es básica para una óptima construcción y presentación estética.

#### **Herrajes para cable conductor**

Todos los herrajes deben ser del tipo “libre de efecto corona”, adecuado para mantenimiento con línea energizada (Hot Line).

#### **Datos meteorológicos**

Se refiere a las consideraciones meteorológicas que aplican en el proyecto, como son:

- a) Temperatura de las regiones de la trayectoria. Máxima (°C), media, mínima, coincidente, presencia de hielo.
- b) Velocidades regionales del viento. Con período de retorno de 10 años (km/h), con período de retorno de 50 años (km/h).
- c) Presiones de viento en cables (Pascuales). Reducida asociada a una velocidad regional con un periodo de retorno de 10 años y se considera el 50 % de la velocidad regional, máxima asociada a una velocidad regional con un período de retorno de 50 años.

---

<sup>4</sup> <http://www.dof.gob.mx/>

## **Limitaciones ambientales**

Se refiere a los aspectos ambientales que se deben aplicar dentro de las actividades de diseño, mismos que se encuentran manifestados en los requerimientos establecidos en las características particulares del proyecto.

## **Desarrollo del diseño electromecánico**

El diseño electromecánico podrá ser realizado en forma manual o utilizando un software especializado.

Dentro del diseño electromecánico se debe considerar lo siguiente:

- a) Localización de estructuras.
- b) Sistema de tierras.
- c) Sistema de amortiguamiento.
- d) Señalización especial.

Localización de estructuras.

- a) Cálculo del parámetro

El parámetro de diseño está definido por la siguiente ecuación:

Debe considerar lo siguiente:

Deformaciones elásticas provocadas por el cambio de temperatura y el cambio de tensión mecánica en el conductor, del estado inicial al estado final.

Deformaciones plásticas provocadas por el cambio del módulo de elasticidad debido a la aplicación de tensiones máximas y la fluencia metálica del conductor debida al tiempo.

La diferencia de longitud del conductor entre el estado inicial y final es equivalente a la suma de las deformaciones elásticas y plásticas en el conductor.

Aplicar el método de la catenaria que considere la forma geométrica que adopta un cable tendido entre dos puntos de apoyo.

## **Restricciones del diseño electromecánico**

Se refiere a las consideraciones especiales que deben ser tomadas en cuenta durante el desarrollo de las diferentes actividades del diseño.

- a) Todas las estructuras de deflexión y remate deben estar localizadas de tal forma que la flecha de los cables conductores y cables de guarda a la temperatura diaria de trabajo, permita una recuperación mínima de 10 cm para poder liberar los -



Figura 12 Ejemplo de línea aérea

Conjuntos de tensión sin generar sobre tensiones durante los trabajos de mantenimiento en las estructuras.

- b) Dentro de la ingeniería de localización de estructuras el contratista debe revisar que las condiciones mecánicas (tiros ascendentes, tensiones desbalanceadas, entre otros) a que puedan estar sometidas las torres durante la vida útil de la línea de distribución no superen las condiciones de diseño de las mismas.
- c) Para la localización de estructuras, se debe considerar que las utilizaciones máximas admisibles son las indicadas en las características particulares del proyecto y en la relación de estructuras normalizadas.

### **1.12 Línea Subterránea.**

Las líneas subterráneas surgieron por la necesidad de él transporte de una gran cantidad de energía pera lo cual las torres de alta tensión no eran una opción factible por lo cual se requería otro tipo de medio, por el cual permitiera el paso de los conductores pero sin que pudiesen ser afectados por usuarios o afectara algún medio alguno, lo cual se vieron en la necesidad de resolver este problema mediante túneles que permitieran el paso de los conductores aun que también presentaba algunas mejoras como era:

- Mayor Continuidad
- Mejor apariencia
- Mayor seguridad
- Armonía con el entorno
- No se afecta la ecología

Estadísticas recientes de Comisión Federal de Electricidad “CFE” indican que este tipo de construcciones son más factibles por el bajo costo de obra civil, eléctricas estéticas que representan a la sociedad y requieren mucho menos mantenimiento.<sup>5</sup>

### **1.13 Características de los Sistemas de Distribución Subterráneos.**

Para este tipo de sistemas se debe tomar en cuenta muchos criterios para lograr un óptimo desempeño porque aparte del requerimiento de tensión y el tipo de cableado como se menciono antes en los requerimientos de sistemas, una vez instalando este tipo de instalación difícilmente se puede cambiar a menos que se vuelva a perforar toda la instalación.

#### **Tipos de Carga**

Debido a las diferentes condiciones climatológicas y de desarrollo existentes en el país así como los diversos factores que se deben considerar para obtener las densidades de carga afectadas por que cada región de México está dividida en zonas geográficas que involucran las zonas y nivel de voltaje de generación, transmisión y distribución esta determinara cuales son las aplicadas a cada zona en específico.

#### **Zonas Turísticas**

Según estadísticas de la Secretaría de Turismo, en los últimos años debido al gran incremento de densidad urbana y al alto impacto de zonas comerciales, en zonas como playas ha incrementado este sector esta situación ha generado la necesidad de instalar sistemas subterráneos de distribución para garantizar el servicio

#### **Condiciones de terreno.**

El tipo de suelo se puede clasificar en dos categorías generales:

##### **En tipo de suelo grueso y fino:**

La suelos gruesos consisten en arenas gravas, los finos en arcillas. El tipo de terreno determina las características de un fluido de perforación, la función del fluido es proveer la refrigeración necesaria a la cabeza de perforación para permitir la lubricación necesaria a la cabeza de perforación, así como permitir la inmersión de los ductos y estabilizar los túneles impidiendo que se derrumben.

#### **Procedimiento de trabajo**

Mantener el acceso para el tráfico vehicular y de peatones evitando la interrupción de operación de los derechos de vía pública con las señalizaciones de tránsito necesarias

---

<sup>5</sup> Diario Oficial de la Federación, Op. Cit.



Figura 13 Ejemplo de línea Subterránea

Donde por condiciones de congestamiento vehicular y peatonal, de concentración de comercios, servicios y otros donde CFE lo decida; los trabajos preferentemente se realizan por la noche, así evitamos trastornos mayores a estas actividades.

### **Condiciones del suelo**

Con la información disponible de las dependencias que tienen las instalaciones subterráneas (teléfonos, agua, semáforos, televisión por cable, etc.) el contratista antes de barrenar tiene la obligación de realizar la localización de todos los sistemas de servicios, aunque no estén indicados en los planos, con pruebas físicas y de detección electrónica o de sondeos en puntos donde coincidan con la ubicación de registros como última alternativa con el fin de evitar daños a los mismos.

### **1.14 criterios de diseño de operación de los sistemas de distribución subterránea**

Los criterios de diseño son los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones subterráneas para redes eléctricas de comunicación y sus equipos asociados, para salvaguardar a las instalaciones y a las personas durante la instalación, operación y mantenimiento, conservando o mejorando el entorno ecológico del lugar donde se lleven a cabo artículo 923, NOM-001-SEDE-2012<sup>6</sup>.

Los criterios de densidad de carga mínima ( $12,000 \text{ KVA}/m^2$ ) y en zonas costeras que presentan riesgos de huracanes, es necesario hacer la construcción de sistemas subterráneos de distribución.

---

<sup>6</sup> Diario Oficial de la Federación, Op. Cit.

Tabla 1. Sección transversal de conductores (2)

Sección Transversal mm <sup>2</sup>		Conductor
53,5	(1/0 AWG)	Aluminio
85,0	(3/0 AWG)	Aluminio
253,4	(500 kcm)	Aluminio o cobre
380,0	(750 kcm)	Aluminio o cobre
506,7	(1000 kcm)	Aluminio o cobre

A continuación se dan diversos lineamientos y criterios utilizados por las compañías suministradoras del país, en lo que se refiere a la distribución subterránea en zonas comerciales y residenciales:

### **Distribución en Media Tensión.**

Se utiliza en los circuitos primarios 3 fases- 4 hilos. En lo que respecta a la estructura de la red, se usa la configuración de anillo con operación radial.

En la red primaria existen diversas tensiones de operación, entre las que destacan: 13,2; 23 y 34.5 KV.

El conductor primario es del tipo distribución subterránea que se instala en sistemas de 200 a 600 A en condiciones normales de operación. Mientras que el calibre que como mínimo debe usarse es el 1/0 AWG con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLP), aun que también se utiliza el etileno propileno (EP ó EPR) con cubierta de policloruro de vinilo (PVC).

Con relación al alojamiento de los cables primarios, estos se instalan en ductos hechos de cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PAD) ideal para conductores climatológicas adversas como son: alta contaminación, el exterior de las transiciones (resistente a los rayos ultravioleta), nivel friático alto, etc.; colocando un cable en cada uno de ellos. Los cables secundarios también se colocan en tubos, dentro de los cuales pueden ser introducidos más de un cable, dependiendo la distribución de los circuitos.

### **Distribución en baja Tensión**

La distribución en baja tensión se suministra energía monofásica a 2 fases- 3 hilos o 3 fases 4 hilos. El nivel de tensión es menor a 600V.

El cable secundario es del tipo Triplex para el sistema monofásico y cuádruplex para el trifásico, con aislamiento de XLP en los calibres:



Tabla 2, Sección transversal y configuración de conductores.<sup>7</sup>

Sección Transversal mm <sup>2</sup>		Conductor
13,3	(6 AWG)	Triplex y cuádruplex
21,15	(4 AWG)	Triplex y cuádruplex
33,6	(2 AWG)	Triplex y cuádruplex
53,5	(1/0 AWG)	Triplex y cuádruplex
85,0	(3/0 AWG)	Triplex y cuádruplex
177,3	(350 kcm)	Triplex y cuádruplex

### Sistema de canalización

La canalización de los conductores se encuentra dentro de los ductos como se muestra en la siguiente figura 14 de esta manera se ofrece protección contra posibles excavaciones.



Figura 14 Ejemplo de canalización de ductos

Las profundidades promedio de las canalizaciones para distribución comercial y residencial, son las siguientes:

-Cables de baja tensión

Menos de 600 V                      0.60 metros.

-Cables de 15, 25 y 35 KV            0.85 metros.

<sup>7</sup> Moreno Segura Eduardo. Estudio de rentabilidad de un Sistema de Distribución Subterránea". México, 2008. P. 40

### **1.15 Estructuras de transición de líneas aéreas en vía pública a cables subterráneos o viceversa.**

Protección. Las estructuras de transición de cables eléctricos deben estar provistas de una protección mecánica que rodee completamente al cable hasta una altura mínima de 2.45 metros sobre el nivel del suelo y cuando menos hasta una profundidad de 30.00 centímetros dentro del mismo suelo.

Cuando la protección conste de un tubo “conduit” o cubierta metálica, ésta debe ser puesta a tierra de acuerdo con lo establecido en el Artículo 250 de la NOM-001-SEDE-2012<sup>8</sup>.

Los cables deben subir verticalmente desde el suelo y sólo con la desviación que sea necesaria para fijarlos en la estructura, sin que se rebase el radio de curvatura permisible de los cables. La instalación de las estructuras de transición debe hacerse de tal manera que el agua no permanezca dentro de la protección mecánica de los cables.

Los cables deben estar soportados de forma que se evite su daño o el de las terminales. Los cables deben instalarse o fijarse de forma que se evite el daño de los mismos en los extremos de la protección mecánica, debido al movimiento relativo entre ésta y el cable.

Las estructuras de transición de cables deben localizarse en el poste o estructura en la posición más segura, teniendo en cuenta el espacio para que suban las personas y el posible riesgo de daño por vehículos.

Estructuras de transición en equipos tipo pedestal. Los cables que lleguen a transformadores, interruptores u otros equipos instalados en pedestal, deben colocarse y arreglarse dentro del registro que corresponde a la acometida del equipo, de manera que no se dañen sus cubiertas.

La entrada de los cables a equipos instalados en pedestal debe mantenerse a la profundidad adecuada para su clase de tensión hasta que queden protegidos abajo del pedestal, a menos que se coloque una protección mecánica adecuada.

### **1.16 Elementos constitutivos de un cable.**

La forma de transmitir la electricidad de un punto a otro, es a través de cables de energía, los cuales son normalmente construidos en cobre o aluminio dada sus ventajas para conducir este recurso energético y su precio en el mercado. En este punto se verán las partes constitutivas de este elemento dentro del sistema de distribución subterránea.

Un cable para distribución subterránea está compuesto por seis capas diferentes, como se muestra a continuación.

---

<sup>8</sup> Diario Oficial de la Federación, Op. Cit.

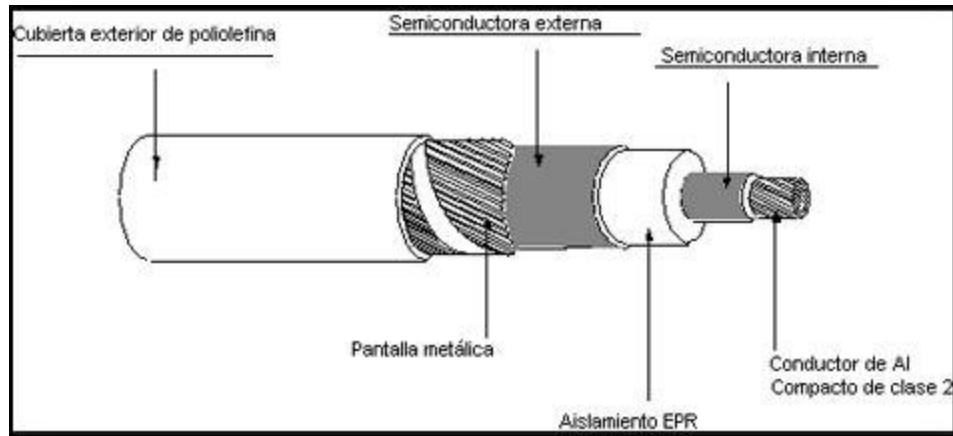


Figura 15 Partes constitutivas de un cable,<sup>9</sup>

## 1. Conductor

Para el diseño y selección de un cable, el primer factor a considerar es el material con que se fabricará el conductor, entre las opciones son el cobre o el aluminio.

Aun cuando el oro y la plata tienen mejores características de conductividad, quedan descartados de las instalaciones de potencia, por su alto precio.

El cobre ha sido la mejor selección como conductor eléctrico, ya que se encuentra disponible en grandes cantidades, a bajo costo y con características tales como:

- Baja resistividad eléctrica
- Buena resistencia mecánica
- Durabilidad
- Ductibilidad
- Adaptable a todo tipo de conductor desnudo o aislado

## 2. Cinta semiconductora sobre el conductor

Esta cinta se coloca sobre el conductor con el propósito de eliminar distorsiones del campo eléctrico producidas por las protuberancias de los hilos de la última capa del conductor.

<sup>9</sup> wikilectric.wikispaces.com

### **3. Aislamiento**

La función del aislamiento es confinar la corriente eléctrica al conductor y absorber el campo eléctrico dentro de su masa.

En principio, las propiedades de los aislamientos son con frecuencia más que adecuados para su aplicación, pero los efectos del envejecimiento y del medio ambiente.

### **4. Cinta semiconductora sobre aislamiento**

Se coloca sobre el aislamiento con el propósito de homogenizar las distorsiones del campo eléctrico, que no fueron confinadas por la capa semiconductora sobre el conductor.

### **5. Pantalla Metálica**

La pantalla metálica es una capa conductora que se coloca después de la cinta semiconductora sobre el aislamiento y generalmente se conecta a tierra, esta tiene varias funciones, entre las que se destacan las siguientes:

Por medios de la pantalla metálica (aterrizada adecuadamente) se obtiene la máxima eficiencia de aislamiento, ya que el campo eléctrico se distribuye uniformemente alrededor del conductor, así obteniendo una distribución radial simétrica en el dieléctrico.

### **6. Forro**

El forro de un cable subterráneo tiene las siguientes funciones:

- Proteger el cable contra agentes mecánicos como abrasión, cortes, presión, etc.
- Evitar el contacto directo del cable con el aire, humedad, luz solar, et., así como de los agentes químicos como grasas hidrocarburos, solventes o atmósferas corrosivas.

#### **1.17 Accesorios para cables subterráneos**

Los accesorios para cables subterráneos son los eslabones de conexión entre distintos equipos eléctricos, por lo que es requisito indispensable que estos sean perfectamente compatibles con las características de los equipos que se van a conectar a continuación se describirán algunos accesorios.

#### **Terminales**

Las terminales para cables subterráneos tienen tres funciones:

- Proporcionar un final al conductor, aislante y pantalla metálica.
- Proporcionar un medio adecuado para la conexión entre el cable y el equipo eléctrico.
- Sellar y proteger físicamente el extremo del cable.

Los tipos de terminales más comunes pueden ser:

**Monofásica de cerámica:** son usadas para los cables aislados con polímeros, similar a la que se utiliza sobre cables de papel impregnado, la cual tiene empotrado un cono de alivio. Esta terminal se llena de aceite y tiene una parte exterior de porcelana acampanada para proporcionar la distancia de flameo necesaria.

**Premoldeada:** Es una terminal prefabricada compuesta de etileno propileno, que ofrece algunas ventajas económicas y se usa comúnmente en conexiones de cables con equipo eléctrico en interiores, o en exteriores donde el medio ambiente no sea contaminante.

**Termocontráctiles:** Estos materiales fueron usados por primera vez como medios para terminar un cable de papel y plomo. Se encontró después que el material termocontráctil podía aplicarse más rápidamente y con mayor confiabilidad que las otras técnicas, en accesorios como las terminales, dando como resultado un costo menor de instalación, más económico y más efectivo.

## Empalmes

En la instalación de cables subterráneos es necesario unir frecuentemente dos tramos de cable a sacar derivaciones del mismo.

Un empalme no es más que la unión de dos cables, restituyendo los elementos retirados, con materiales compatibles con los originales, de tal manera que no constituya un punto débil en la continuidad de la instalación

Al elaborar un empalme, el instalador está fabricando un cable de corta longitud en el campo.

El funcionamiento de los empalmes depende en gran medida de la habilidad del operario que los efectuó. Las precauciones y pasos a seguir son producto de la experiencia.

Los tipos de empalmes más frecuentemente utilizados son: encintado, prefabricado, termocontráctil y contráctil en frío:

- Encintado: Cada tipo de cable, según sea su construcción y su tensión de operación, requerirá de diferentes técnicas de empalme.

- Prefabricado: Este tipo de empalme se coloca sobre los dos tramos de cable a empalmar, presentando las siguientes ventajas sobre el empalme encintado: mayor rapidez en su instalación y menor posibilidad de error, pues la mano de obra se reduce considerablemente.
- Contráctil en frío es usado para empalmar cables de media tensión el cual cubre un amplio rango de calibres; ejerce también por sí mismo, una presión radial en el mencionado cable.

### **Conectores**

Los conectores son también partes necesarias en una red subterránea. Éstos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Proporcionar una conexión eléctrica confiable.
- Proporcionar un aislamiento adecuado para las tensiones de operación.

## Capítulo II

# FENÓMENOS QUE SE PRESENTAN AL REALIZAR LA TRANSICIÓN DE UNA LÍNEA AÉREA, A CABLE SUBTERRÁNEO EN SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

### 2.1 Análisis de la naturaleza de la falla

En el presente capítulo está destinado a mostrar las principales fallas en las redes de distribución eléctrica (aérea y subterránea) a través de datos presentados en forma estadística únicamente enfocados en el área de la gerencia de distribución central, formada en gran parte de la zona centro del país y aéreas conurbadas.

La característica principal de un sistema de distribución es la continuidad del servicio, para que opere de manera adecuada, y en caso de falla pueda detectarse, localizarse y repararse fácilmente.

Una falla en el sistema de distribución aéreo se halla generalmente con una inspección visual, mientras que en los sistemas subterráneos se requiere de otros dispositivos que contribuyan a la rápida localización y aislamiento del cable subterráneo dañado.

Del mismo modo, en las redes aéreas las fallas generalmente son de tipo momentáneo, ocasionalmente de corto plazo y muchas veces son permanentes. En el caso de las redes subterráneas las averías son en su mayoría permanentes, y para disminuir esta problemática es necesario instalar las líneas de distribución en configuración anillo con operación radial, de manera que la localización de una falla sea tan exacta en la medida de lo posible, para permitir el aislamiento de la misma con un mínimo de trabajo.

### 2.2 Fallas en las redes aéreas.

Las principales causas de falla de una red de distribución aérea son diversas presentándose fundamentalmente las siguientes:

#### 2.2.1 Fallas por sobretensiones por descarga atmosférica

Tienen lugar durante la época de lluvias cuando las nubes están cargadas estáticamente a cierto potencial, y se aproximan a la tierra o a otra nube, hasta que en un momento dado la diferencia de potencial entre estos puntos es superior a la tensión de descarga de toda la energía involucrada, y se produce por consecuencia un rayo.

Como las líneas aéreas son también cuerpos cargados electroestáticamente, al alinear sus cargas positivas y negativas con los otros cuerpos (nubes), propician una-



Figura 16 muestra el rayo producido por una nube cargada negativamente

descarga de energía concentrada, provocando que los rayos incidan indirectamente o directamente sobre las instalaciones aéreas.

Según datos de Comisión Federal de Electricidad CFE en cargada de la distribución eléctrica de electricidad en México tan sólo en el área del Distrito Federal se localizan un promedio de 500 fallas de este tipo a lo largo del año en líneas aéreas de distribución, son la causa más ocurrente de fallas en líneas aéreas seguido por la quema de vegetación Contaminación Vientos fuertes y herrajes<sup>10</sup>.

### **2.2.2 Fallas por vientos Fuertes**

Los fenómenos naturales sin duda influyen de gran manera en el correcto funcionamiento de las instalaciones aéreas de distribución. Pues los vientos fuertes no son la excepción y ocasionan que los cables de las fases continuamente se toquen entre si y generen constantes interrupciones momentáneas en el suministro eléctrico y en los casos peores el rompimiento de estos.

Sobre este tipo de falla es importante precisar que con el paso del tiempo los postes que soportan las líneas se mueven de tal manera que los cables queden más atirantados provocando con repetitividad el contacto entre los mismos.

### **2.2.3 Fallas por presencia de Aves**

Este tipo de fallas se dan en presencia de aves en grupo de tamaño regular que cuando tocan los cables provocan el contacto entre dos fases de las líneas.

---

<sup>10</sup> Moreno Segura Eduardo. Estudio de rentabilidad de un Sistema de Distribución Subterránea". México, 2008. P. 72



Las parvadas de aves que se acercan a ciudades que cuentan con un amplio lugar de descanso como un zócalo u otro tipo de espacio de convivencia familiar para alimentarse tienden a descansar sobre partes altas de edificios e instalaciones o bien como aquí se menciona una línea aérea de distribución, también el excremento de estas mismas aves provocando la corrosión de materiales aislantes, o al momento de hacer un nido provocando de igual manera una falla en la línea aérea.

## **2.3 Falla por maniobras en la red eléctrica, seccionamiento e interrupción**

### 2.3.1 maniobras en la red eléctrica

En la red eléctrica es necesario ejecutar maniobras, variar su configuración, su topología.

Ciertas maniobras son necesarias para simplemente conectar cargas, se debe establecer corriente en condiciones que se presumen normales, pero a veces la maniobra origina una falla<sup>11</sup>.

Si ocurre falla algún aparato deberá encargarse de la interrupción, ser adecuado para ello, soportando los fenómenos que suceden inmediatamente.

Según sea la red se presentarán distintas condiciones que podemos analizar en detalle, pero la corriente que debe establecerse e interrumpirse puede además tener distintas características, capacitiva, inductiva, tener distintos valores, incluir una componente continua, armónicas, etc.

Ciertas maniobras se ejecutan sin establecer o interrumpir corriente, se las llama maniobras de seccionamiento, para distinguirlas de las de interrupción.

### Seccionamiento

El aparato que cumple esta función se llama seccionador, y se trata de un aparato electromecánico cuya función es estando abierto soportar la aislación entre dos partes del circuito, en cualquier condición mantener la aislación hacia masa, y estando cerrado conducir corrientes normales permanentemente, y sobrecargas y cortocircuitos por tiempos establecidos.

El seccionador en principio solo puede establecer e interrumpir corrientes despreciables, o con diferencias de potencial despreciables entre sus extremos.

Sus características son “abierto” aislación entre contactos, en cualquier posición aislación a masa, cerrado conducción de corriente permanente, o sobrecorrientes por tiempos definidos (breves).

---

<sup>11</sup> [www.ing.unlp.edu.ar](http://www.ing.unlp.edu.ar)

## Interrupción

El interruptor suma a las características antes enumeradas la capacidad de interrumpir corrientes de cualquier tipo y valor hasta las corrientes de cortocircuito máximas, y por cierto establecer estas corrientes.

Lógicamente la duración de los contactos, del medio aislante, de las cámaras que contienen los fenómenos que se producen limitan la cantidad de maniobras que pueden hacerse en distintas condiciones, sin mantenimiento (se produce desgaste de los contactos, de las cámaras, del medio de interrupción).

Cada tipo de interrupción presenta características que pueden ser distintas, y que además dependen del principio de funcionamiento del interruptor.

Los aparatos que no pueden llegar a interrumpir cortocircuitos no son interruptores, se los llama interruptores de maniobra, y cuando cumplen ciertas condiciones (de aislación) seccionadores bajo carga

Si comparamos las características de aislación que fijan las normas para interruptores y seccionadores, se nota diferencia en la “aislación” entre contactos abiertos, en alta tensión en particular el interruptor siempre se encuentra asociado a seccionadores por lo que la función de seguridad de la aislación se ha asignado a estos últimos.

Los interruptores tienen dos posiciones estables en las que pueden encontrarse, abiertos, o cerrados, y tienen una duración mecánica en cuanto a maniobras que pueden hacer, esta duración en comparación con otros aparatos parece limitada.

### 2.4 Descarga Parcial

En ingeniería eléctrica, el término descarga parcial hace referencia a una ruptura dieléctrica localizada en una pequeña región de un sistema sólido o líquido de aislamiento eléctrico sometido a condiciones de estrés de alta tensión que no puentea el espacio entre dos conductores.

Más del 90% de los puntos débiles en la aislación de cables de MT/AT, generan descargas parciales antes de convertirse en una falla<sup>12</sup>.

Una descarga de este tipo puede dañar el material de aislamiento circundante por la erosión del aislamiento. Además, los gases corrosivos emitidos por una fuente de descargas de este tipo pueden producir daños adicionales al aislamiento circundante y a las piezas metálicas, estableciendo zonas adicionales sujetas a descargas, a la larga, el medio aislante puede fallar produciendo llama, y esta, a su vez, daños en los aparatos eléctricos, interrupciones del suministro eléctrico, incendios y explosiones.

---

<sup>12</sup> *Detección, análisis y prevención de fallas en cables subterráneos*, pág. 2



Figura 17 Ejemplo de descarga parcial superficial sobre un carro de interruptor

Las descargas parciales se definen como “descargas localizadas de electricidad que sólo puentean parcialmente el aislante entre conductores”<sup>13</sup>. Es útil, por tanto, dividir las descargas parciales en tres categorías.

**La descarga “efecto corona”**, es la descarga que se produce en el aire o el gas que rodea un conductor. Tiene lugar cuando el campo eléctrico localizado excede la tensión de ruptura del aire o el gas circundante. Esto ocurre típicamente en las puntas o en los bordes afilados de los conductores. En particular, es muy común en equipos de exteriores.

La descarga en corona puede considerarse relativamente inofensiva en equipos de exteriores, ya que los gases corrosivos son eliminados o transportados lejos por los efectos meteorológicos. Sin embargo, si la descarga en corona tiene lugar en un entorno cerrado, los gases corrosivos no tienen salida y pueden producir daños adicionales. La descarga en corona en equipos de exteriores es, a menudo, difícil de eliminar; por otra parte, el diseño de ciertos equipos favorece intrínsecamente este tipo de descargas. Se considera una práctica recomendada, no obstante, eliminar las fuentes de descarga en corona siempre que ello sea posible, durante el mantenimiento habitual, ya que pueden enmascarar problemas más serios

**La descarga superficial** es la que se produce en la superficie de un aislador; su resultado más típico es la generación de pistas de conducción en la superficie del aislador y la reducción de su eficacia. Está estrechamente asociada a la contaminación y la humedad, y es una forma de descarga parcial relativamente común.

La descarga superficial es particularmente dañina en aislantes encapsulados en resina o poliméricos. Si no se detectan y reparan, los puntos de descarga crecen y pueden llegar a arder. Es también posible que se formen grietas en el esmalte de los aisladores de porcelana y la cerámica que contienen resulte dañada. Si la causa de la descarga superficial es la contaminación y aquella se detecta a tiempo, a veces es

---

<sup>13</sup> Norma IEC 60270



Figura 18 Ejemplo de una descarga interna en un transformador de corriente seccionado

Posible limpiar los aisladores de vidrio o porcelana antes de que se produzcan daños a largo plazo.

**La descarga interna** es un tipo de descarga que se produce en el interior del material o líquido aislante y está asociada a pequeñas cavidades huecas, a menudo microscópicas en un principio, existentes en el interior del aislador sólido o líquido. Es una forma relativamente poco frecuente de descarga parcial.

La descarga interna es la más difícil de diagnosticar en campo, ya que el problema no presenta síntomas visibles o audibles. Sin embargo, si no se repara y llega a producirse llama, no existirá una vía de escape para la liberación de la energía calorífica, de rápida emisión, y el aislador podría explotar.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que algunos libros de texto y sitios web utilizan diferentes definiciones para la descarga en corona. En ocasiones se denomina “descarga en corona” tanto a la descarga en corona (de acuerdo con la definición anterior) como a la descarga superficial. Algunas veces, la descarga en corona se usa como sinónimo de descarga parcial para cubrir las tres definiciones anteriores. Con frecuencia, las descargas internas se omiten.

## 2.5 Vandalismo

El robo es la principal fuente de vandalismo en instalaciones de la CFE a nivel GRT Central, es el robo de cable, donde según se reporta más de 60 Km para sustraer el cobre del mismo y después venderlo.

A pesar de que en los primeros meses de 2013 el robo de cableado ha disminuido según cifras de la Comisión Federal de Electricidad los problemas por daño a la infraestructura eléctrica derivados por el vandalismo incrementan, esta situación se presenta con mayor fuerza en las colonias de la periferia de la capital del estado.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> [www.quequi.com.mx](http://www.quequi.com.mx)

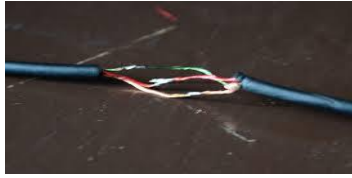


Figura 19 Ejemplo de un Cable con falla de aislamiento

Según datos de la CFE se han presentado robos incluso o daño en los medidores y el costo de reposición de cada uno va de los 300 a los 1000 pesos, de tipo analógico o digital.

En cuanto a pérdidas económicas por esta situación de vandalismo la CFE no aporta cifras exactas, en ese sentido aun que se afirma que más que económica es en la operatividad por los trabajos de mantenimiento y sustitución de material dañado.

## 2.6 Falla en aislamiento del cable

Este tipo de falla sucede ocasionalmente y consiste en el deterioro del aislamiento, ya sea por aplastamiento, perforación compresión, toda vez que al actuar el campo eléctrico sobre de él, llega un momento en el que ya no resiste y quedan en contacto en plano de tierra y el de potencia, provocando la interrupción del flujo de la energía. La ruptura del aislamiento de un conductor ocasionará un mal funcionamiento del cableado y que este genere que la corriente fluya del conductor provocando una falla a tierra.

También puede presentarse también una ruptura del aislamiento entre dos conductores, lo que ocasionaría un corto circuito entre ellos.

Incluso la disminución de la resistencia de aislamiento de un conductor a tierra o entre conductores provocando así un mal funcionamiento.

La ruptura del conductor o deterioro de una unión, dan lugar de continuidad de la alimentación o de la comunicación. Esto sucede cuando se corta la cinta semiconductora sobre el aislamiento al poner o colocar una terminal, conector o empalme.



Figura 20 Ejemplo de una falla por corto Circuito

### **Fallas en aislamiento de codos Conectores quemados o perforados.**

Esta falla se produce cuando el material del aislamiento interno del conector tipo codo, no resiste la temperatura a la que opera el sistema, calentándose primero y perforándose después, provocando la interrupción del servicio eléctrico.

### **Fallas por Conductor con Maltrato Mecánico o quemado.**

Se presenta principalmente porque durante su instalación en los ductos, sufre daño mecánico, y poco a poco el aislamiento se va deteriorando hasta llegar a un punto en el que pierde la barrera entre los planos de energía y tiene como consecuencia la interrupción del suministro.

## **2.7 Problemas ocasionados por conductores de mala calidad**

Es común que se intente por todos los medios reducir los costos de una instalación eléctrica y generalmente se termina por comprar materiales de mala calidad sólo porque son más baratos.

Sin embargo, para que una instalación sea confiable, y duradera, no se debe de adquirir conductores eléctricos de bajo costo, porque lo barato resulta costoso, dado que su costo inicial es menor, pero su utilización provoca que la instalación sea riesgosa, molesta (por la averías que se produzcan en ella), efímera (porque durará pocos años trabajando) y costosa (por las pérdidas de energía debido a los calentamientos excesivos).

Por eso, emplear conductores de mala calidad no significa un ahorro real, ya que aunque se paga menos por adquirirlos, se pagará más por utilizarlos, puesto que los problemas que ocasionan representan pérdidas de dinero (por reparación o reinstalación), de prestigio (porque el trabajo deberá repetirse en pocos años) y de clientes (por hacer trabajos de mala calidad).

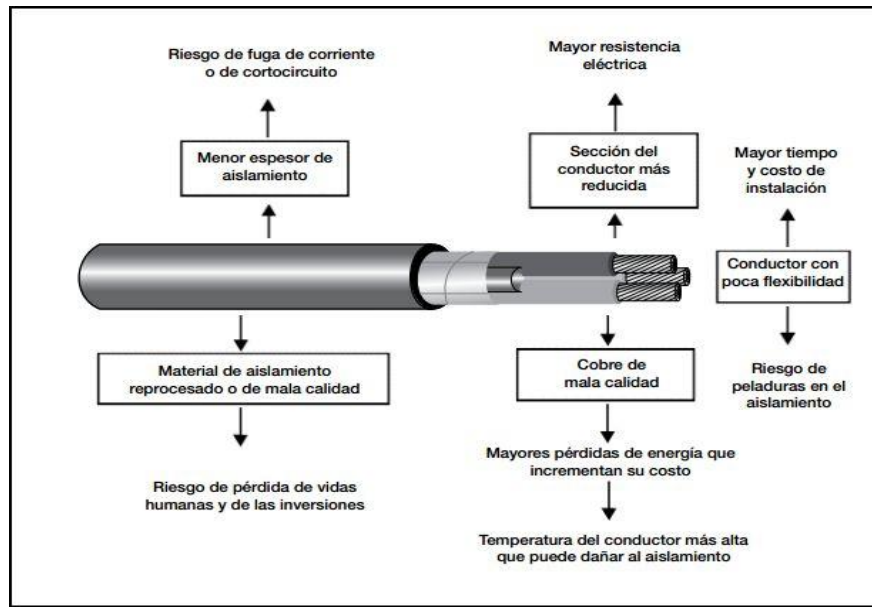


Figura 21 Riesgos de un conductor de mala Calidad<sup>15</sup>

Características de fabricación y calidad de los productos					
Prueba	Producto de buena calidad	Razón	Producto de mala calidad	Causa	Consecuencias
Color del cobre	Rosa o naranja claro	Cobre de 99,96% de pureza	Naranja oscuro o café tenue	Cobre reprocessado y con impurezas	Mayor resistencia eléctrica que provoca calentamiento y disminuye la vida útil del cable
Tersura del conductor de cobre	Sin rayones ni impurezas	Proceso de estirado adecuado, cobre de buena calidad	Con rayones e impurezas	Cobre de mala calidad y/o mal procesado	Mayor resistencia eléctrica en algunos puntos del conductor que puede provocar fallas
Diámetro del conductor	Acorde con las normas	Cumplir con los reglamentos del país	Diámetro menor al especificado en las normas	Reducir el costo del producto	Los conductores con sección menor a la adecuada son un engaño al cliente y no son seguros porque se sobrecalientan

Figura 22 Características de Fabricación del cobre ref. 15

## 2.8 Efecto Skin en conductores (piel).

Este efecto eléctrico se da únicamente en corriente alterna y consiste en que la densidad de corriente se da principalmente por el exterior del conductor.

<sup>15</sup> <http://factorelectrico.blogspot.mx>

En corriente continua la densidad de corriente es similar en todo el conductor pero en corriente alterna se observa que hay una mayor densidad de corriente en la superficie que en el centro esto hace que la resistencia óhmica en corriente alterna sea mayor que en corriente continua.

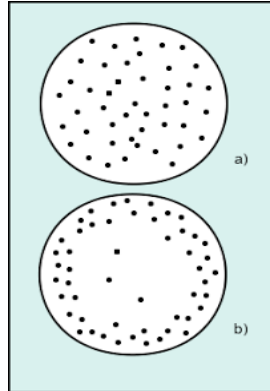


Figura 23 Ejemplo del comportamiento del efecto Skin

Este efecto es apreciable en conductores de grandes secciones, especialmente si son macizos. Aumenta con la frecuencia, en aquellos conductores con cubierta metálica o si están arrollados en un núcleo ferromagnético.

Este fenómeno es muy perjudicial en las líneas de distribución que conectan dispositivos de alta frecuencia (por ejemplo un transmisor de radio con su antena) en su caso las líneas aéreas a subterráneas al conectarse con otro equipos. Si la potencia es elevada se producirá una gran pérdida en la línea debido a la disipación de energía en la resistencia de la misma.

También es muy negativo en el comportamiento de bobinas u transformadores para alta frecuencias, debido a que perjudica al factor de potencia de los circuitos resonantes al aumentar la resistencia respecto a la reactancia provocando de manera favorable a la ferresonancia.

## 2.9 Efecto joule

Este afecta comúnmente los conductores si en un conductor circula electricidad, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren los electrones con las moléculas del conductor por el que circulan elevando la temperatura del mismo; este efecto es conocido como efecto Joule.

Los sólidos tienen generalmente una estructura cristalina, ocupando los átomos o moléculas los vértices de las celdas unitarias, y a veces también el centro de la celda o de sus caras. Cuando el cristal es sometido a una diferencia de potencial, los electrones son impulsados por el campo eléctrico a través del sólido debiendo en su recorrido atravesar la intrincada red de átomos que lo forma. En su camino, los electrones chocan con estos átomos perdiendo parte de su energía cinética (velocidad) que es cedida en forma de calor.



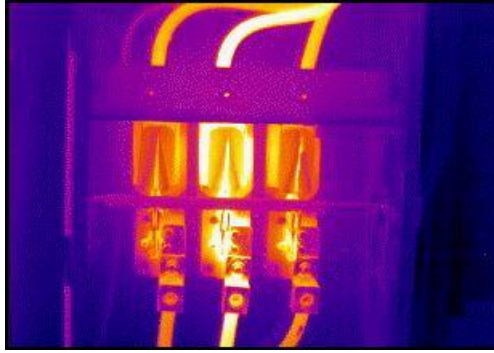


Figura 24 Ejemplo de una Termografía de los conductores



Figura 25 Ejemplo de una Termografía de un Transformador

Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente". Matemáticamente:

$$Q = i^2 \cdot R \cdot t, \text{ siendo}$$

Q = energía calorífica producida por la corriente expresada en Julios

I = intensidad de la corriente que circula

R = resistencia eléctrica del conductor

t = tiempo

## 2.10 Reportes de fallas por explosión

Últimamente este problema se ha presentado muy comúnmente en instalaciones subterráneas que interconectan con una línea aérea de distribución, aquí se presentara un análisis de las principales fallas que se han encontrado tras inspecciones hechas por personal de CFE.



Gráfica 1.- Fallas de Transformadores que originaron Explosión con incendio 2000-2010<sup>16</sup>

En la grafica 1 se observa en forma porcentual que la principal causa que sigue ocasionando incendios es la falla de boquillas con un 48% con un total de 12 fallas y resaltando que no tuvo ninguna salida este año, siguiendo en porcentaje las de cambiador de derivaciones con un 8% siendo un total de dos fallas y por devanados con un 8% de fallas siendo un total de dos fallas y por último tenemos otras causas que representan el 36% siendo nueve fallas.

A continuación se presentará una tabla a lo largo de 10 años representando la problemática de este tipo de fallas por explosión y la cantidad de MVA perdidos en el sistema en el transcurso de la falla hasta su reparación de la misma.

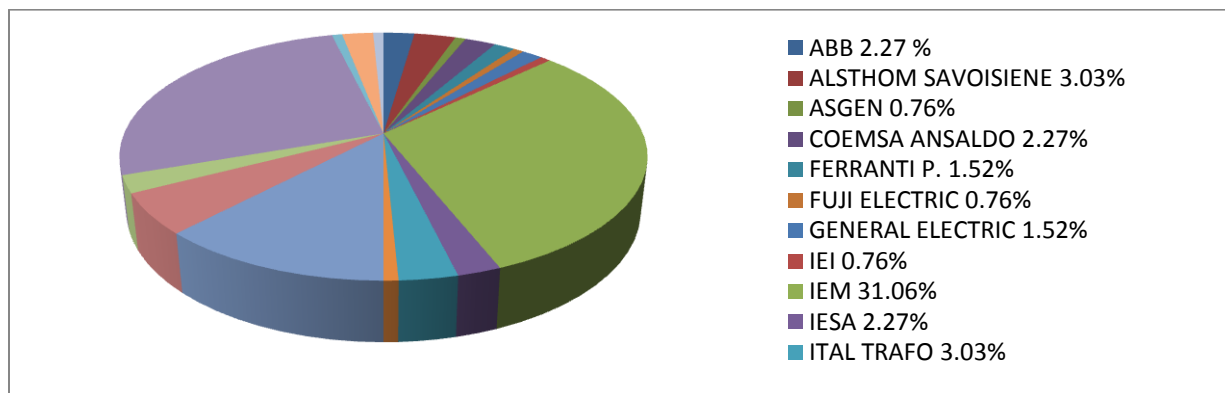
Año	Boquillas		Cambiador		Devanado		Causas Externas		Total	
	Fallas	MVA	Fallas	MVA	Fallas	MVA	Fallas	Mva	Fallas	MVA
2001	1	197.12	0	0	0	0	1	197.2	2	394.32
2002	0	0	1	33.33	1	33.33	1	33.33	3	99.99
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	1	33.33	1	33.33	0	0	3	100	5	166.66
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	4	455.45	0	0	1	100	3	422.12	8	977.57
2007	1	40	0	0	0	0	0	0	1	40
2008	1	100	0	0	0	0	1	100	2	200
2009	3	141	0	0	0	0	0	0	3	141.66
2010	1	33.33	0	0	0	0	0	0	1	33.33
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>1000.23</b>	<b>2</b>	<b>66.66</b>	<b>2</b>	<b>133.33</b>	<b>9</b>	<b>852.65</b>	<b>25</b>	<b>2053</b>

Tabla 3 Fallas totales Fallas de Transformadores que originaron Explosión con incendio 2000-2010<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Revista estadísticas y fallas importantes Gerencia de Subestaciones CFE, Pag, 28

## 2.11 Reportes de Fallas por Marca de Equipo eléctrico

Una característica importante a considerar en este trabajo es el índice de material como es el caso de transformadores y reactores fallados y utilizados por CFE para las subestaciones subterráneas.



Gráfica 2 Estadística de fallas de Transformadores y Reactores de potencia totales por marca 2000-2011

Tabla 4 Estadística de fallas de Transformadores y Reactores de potencia totales por marca 2000-2011 ref. 17

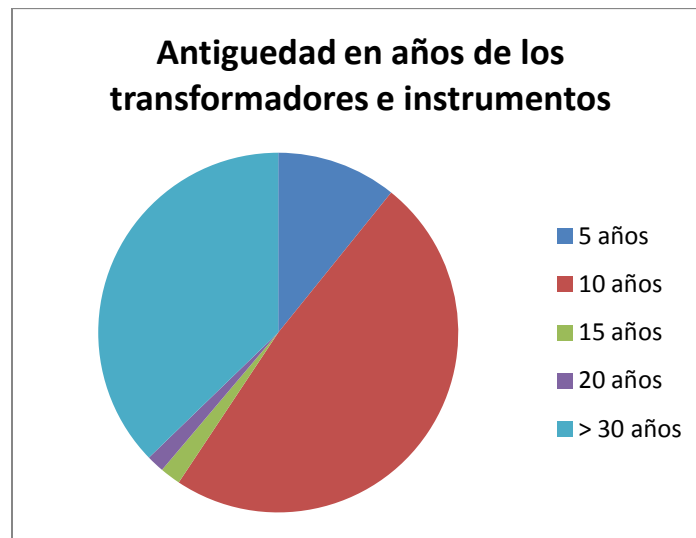
MARCA	NUMERO DE QUIPOS	FALLAS DE EQUIPOS	% FALLAS APORTADO	% INDICE DE FALLAS POR MARCA
ABB	150	3	2.3	2
ALSTHOM SAVOISIENE	77	4	3	5.2
ASGEN	4	1	0.8	25
COEMSA ANSALDO	76	3	2.3	3.9
FERRANTI P.	45	2	1.5	4.4
FUJI ELECTRIC	26	1	0.8	3.8
GENERAL ELECTRIC	37	2	1.5	5.4
IEI	5	1	0.8	20
IEM	670	41	31.1	6.1
IESA	32	3	2.3	9.4
ITALTRAF0	42	4	3	9.5
JEMUNT SCHNIDER	31	1	0.8	3.2
MITSUBISHI	218	16	12.1	7.3
PARSON PEBLES	153	7	5.3	4.6
PICMSA	41	3	2.3	7.3
PROLEC	588	35	26.5	6
TRAF0	48	1	0.8	2.1
SECHERON	14	3	2.3	21.4
YORKSAHIRE	5	1	0.8	20
TOTAL	2262	132	100	

<sup>17</sup> Revista estadísticas y fallas importantes Gerencia de Subestaciones CFE

En la tabla 2 se muestran los equipos que han fallado en el periodo 2001-2011, agrupados por marca, en la columna % fallas totales se representa el porcentaje de fallas por marca con respecto a las 132 fallas totales, en la columna % fallas por marca se representa el porcentaje de fallas con respecto al total de equipos de una marca en particular. Las 132 fallas representan un porcentaje 4.95 % con respecto a los 2 664 transformadores en operación.

## 2.12 Reportes de Antigüedad de Instrumentos

Debido a lo aislado de la subestación difícilmente se le da mantenimiento oportuno descuidando características importantes como la oxidación, la corrosión de tuberías el tiempo, roedores que destruyen el cableado, factores que indudablemente al acumularse a lo largo del tiempo no sólo afectan de forma considerable el suministro y buen funcionamiento del equipo si no también representan un gasto considerable en cuestión de pérdidas de energía eléctrica.



Grafica 3 Antigüedad de los transformadores e instrumentos <sup>18</sup>

17 Años: Limite de vida útil de acuerdo a criterio mundial de CIGRE

20 Años: Limite de vida útil de acuerdo a estudios de la LAPEM

CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos) es una organización mundial, de carácter no gubernamental, fundada en Francia en 1921.

<sup>18</sup> Revista estadísticas y fallas importantes, Gerencia de Subestaciones CFE

## Capítulo III

### Estrategias para reducir los fenómenos que se presentan al realizar la transición de una línea aérea, a cable subterráneo en subestaciones de distribución

#### 3.1 SELECCIÓN Y PROTECCIÓN DEL EQUIPO

El equipo de seccionalización y protección en los puntos de transición estará dado por cortacircuitos fusibles, fusibles de potencia en instalaciones monofásicas y seccionalizador en instalaciones trifásicas.

Protecciones contra sobretensiones

Las sobretensiones que se presentan en un sistema eléctrico se clasifican en origen interno y externo.

##### **Sobretensiones de origen interno.**

Se deben principalmente a operación de dispositivos de desconexión o maniobras en el sistema perturbando de manera directa el nivel de tensión provocando una sobretensión.

##### **Sobretensiones de origen externo.**

Se deben a contacto directo con líneas de mayor tensión y a descargas atmosféricas las sobretensiones por descargas atmosféricas son las de menor duración, pero las más severas; para proteger los cables y el equipo contra estas sobretensiones.

#### 3.2 Protección por descarga atmosférica

##### 3.2.1 Sistemas de pararrayos

Los rayos ocurren con diferentes intensidades y un sistema que proteja contra su efecto deberá ser diseñado tomando en cuenta los rayos promedio o mayores del área en cuestión. Las descargas no pueden ser detenidas, pero la energía puede ser desviada en una forma controlada. El intentar proteger contra descargas directas puede ser excesivamente caro<sup>19</sup>.

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

- Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito llamado terminal aérea.
- Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de

---

<sup>19</sup> www.ruelsa.com

baja impedancia, y disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra.

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

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

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

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

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

La inductancia de los conductores de cobre usados para tierras es de aproximadamente de 1.64  $\mu\text{H}/\text{m}$ . A la frecuencia equivalente de los rayos, la impedancia debida a la inductancia es muchas veces mayor que la impedancia debida a la resistencia del conductor. Por lo que, para los rayos, los conductores más largos de 10 m tienen una impedancia en términos prácticos infinita, lo que impide que conduzcan la corriente. Además, estas señales de alta frecuencia no seguirán nunca una vuelta muy cerrada del conductor, porque cada doblez incrementa la reactancia inductiva. De ahí, que todos los cables de conexión a tierra de pararrayos deben tener curvas generosas en lugar de esquinas cerradas. Por ello, se recomiendan curvas con radio de unos 20 cm, y conductores múltiples conectados en paralelo a tierra.

Como los rayos se reflejan como cualquier onda de alta frecuencia, es básico que la impedancia a tierra sea baja para la descarga, ya que todas las partes del sistema conectadas a tierra, elevarán y bajarán su potencial con respecto de tierra al tiempo de la descarga. Como ejemplo una malla de 30 x 30 m con 36 cuadrados, de cable de 0.5

cm de diámetro tiene una inductancia de  $400 \cdot 10^{-7}$  H, lo que dará una impedancia de 25 ohms bajo una onda triangular con tiempo de pico de 1.2 us.

### 3.2.2 Estándares de protección

Tanto en Europa (donde caen menos rayos que en nuestro país), Como en Norteamérica, se ha debatido mucho sobre los métodos de protección.

En México tenemos desde el 2006 una norma Mexicana al respecto emitida por ANCE con el numero NMX-J-549-ANCE<sup>20</sup>.

De acuerdo con el artículo 55 de la Ley Federal de Metrología y Normalización, las normas NMX si son obligatorias para el gobierno federal y sus dependencias, por lo que la NMX-J.549-ANCE de pararrayos aplica.

El método de diseño tradicional de líneas de transmisión y distribución considera un flameo inverso o (flashover) por año, por lo cual se tomaba en cuenta el nivel isoseraunico de la zona multiplicando por alguna constante (0,25) a 0,5) y por otro lado se tomaban en cuenta los parámetros probables de una descarga de fuentes.

La protección contra descargas atmosféricas de líneas de energía eléctrica se logra colocando un hilo puesto tierra sobre ellas, llamando hilo e guarda y mediante apartarrayos. El ángulo de protección obtenido al colocar un hilo de guarda es de 30 ° siempre y cuando el hilo se conecte a una tierra de baja resistencia (25 ohms o menos). Hay que notar que esta protección no protege a los equipos.

Por último hay que considerar que cuando existen gasoductos u oleoductos subterráneos en paralelo con líneas de transmisión o distribución el uso de hilos de guarda reducen en gran medida los voltajes inducidos en los tubos.

Para las líneas aéreas el uso únicamente del hilo de guarda es económicamente aceptable en donde el terreno por donde pasa la línea tiene una baja resistividad. En cambio, se utilizan los apartarrayos sin hilo de guarda en terrenos donde se tiene resistencia a tierra de electrodos de más de 25 ohms.

En México, la CFE y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) han mantenido los datos de índices isoseráunicos. Pero, en Japón se ha descubierto que los valores isoseráunicos obtenidos hace años, han perdido algo su validez con los cambios climáticos.

---

<sup>20</sup> [www.ruelsa.com](http://www.ruelsa.com)

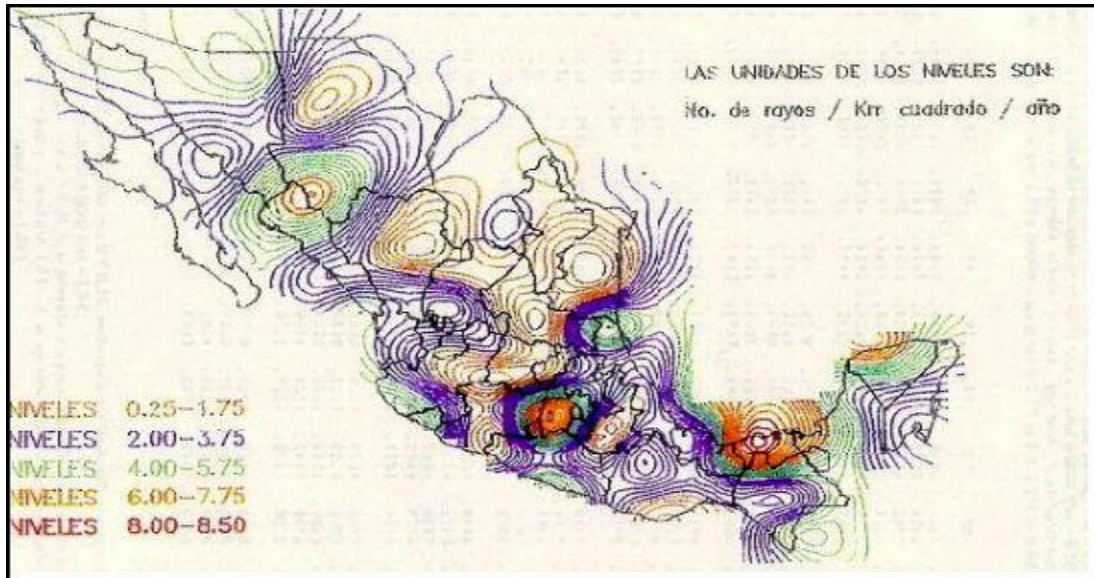


Figura 26 Mapa de isodensidad de rayos en la República Mexicana elaborado en 1991 por CFE.<sup>21</sup>

### 3.3 Fallas por vientos Fuertes y por presencia de Aves

En cuanto este tipo de fenómenos a los que se refiere el viento se han aplicado normas en cuanto a latiguo del cable o jineteo del mismo así evitando este tipo de fallas e interrupciones al sistema eléctrico, en cuanto a presencia de aves últimamente se han puesto a mano de la CFE dispositivos anti aves que permiten no solo proteger ante la presencia de nidos si no la presencia de las aves y así proteger los materiales aislantes del excremento y que también a largo plazo protege de manera considerable los materiales eléctricos aislantes y así evitar fallas de este tipo.

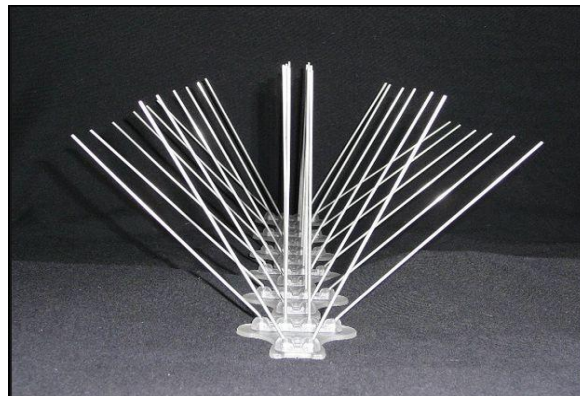


Figura 27 Ejemplo de dispositivo antipalomas y control de aves

<sup>21</sup> [www.ruelsa.com](http://www.ruelsa.com)



### **3.4 fallas por maniobra**

Este tipo de fallas es muy difícil evitarlas debido a su naturaleza ya que siempre el sistema tiende a ser interrumpido ya sea por una falla o por mantenimiento de las instalaciones, pero si se pueden prevenir con contactores, fusibles, portafusibles o dispositivos que atenúen la o eviten la sobre corriente.

El ingenio humano ha dado pruebas significativas en la historia de los interruptores, las soluciones fueron sucediéndose con rapidez unas a otras, las nuevas soluciones presentaban nuevos problemas, y la técnica exigía soluciones completas y generales.

Las técnicas de interrupción comenzaron utilizando el aire natural, e inmediatamente buscaron otros fluidos, aceite, agua, aire comprimido, SF<sub>6</sub>, las formas y el tamaño de los aparatos fue cambiando, llegándose finalmente a soluciones compactas actuales.

Actualmente los interruptores de baja tensión utilizan cámaras de interrupción de ion, con varias chapas metálicas que dividen el arco aumentando la tensión de arco (resistencia), cuando las corrientes nominales son relativamente bajas de modo que los contactos son livianos y pueden ser fácilmente acelerados, se realizan interruptores con características limitadoras, que deforman notablemente la corriente de cortocircuito, impidiendo que se presente el pico máximo.

### **3.5 Falla por descarga parcial**

Estimar el grado de confiabilidad de un alimentador subterráneo, forma parte de la valoración de los activos de una empresa distribuidora, posibilitando determinar su rentabilidad real proyectada.

La gran cantidad de antiguos cables, aún en servicio, influyen en la fiabilidad de la red de distribución. En consecuencia, los ensayos en campo, son actualmente requeridos para evaluar la gravedad de la degradación, y para determinar cuáles cables, empalmes o terminales, requieren de un inmediato reemplazo.

Las nuevas técnicas para el diagnóstico de cables y sus accesorios, permiten controlar desde la recepción de los mismos, el tipo de falla que a futuro tendrán, cuando se constituyan como parte integrante de un tendido subterráneo, y además, permiten también analizar metro a metro el estado de degradación, ascendente o estable, que sufra con el paso del tiempo.

De aquí surge un concepto: el establecer que factor es más perjudicial para una aislación: el nivel neto de sus descargas, o la frecuencia de repetición de las mismas.

Si consideramos que “descarga”, es sinónimo de energía liberada en la zona del defecto, y por ende calor, deberíamos establecer la ecuaciones de cantidad de energía liberada en cada tipo de defecto o muestra que se analice, para poder así establecer la severidad del daño, y estimar un tiempo antes del colapso final de la aislación.

La zona de origen y su extensión volumétrica y/o superficial, también serán factores a tener en cuenta en el diagnostico de una aislación<sup>22</sup>.

Analizar las causas, el nivel, las zonas de origen, y la frecuencia de repetición de las DP, se fundamentan en una clara motivación:

Este paulatino proceso de deterioro, una vez iniciado es irreversible, y por ende, llevará meses o años, pero indefectiblemente dejará finalmente fuera de servicio a un cable, o sus accesorios.

En consecuencia, las propiedades del material, como por ejemplo: la capacidad de almacenar cargas en su superficie o volumen, y la conductividad de esta superficie; tienen un fuerte impacto en la apariencia de las descargas parciales.

La humedad o la corrosión de las superficies poliméricas por DP, tienen un impacto extra en la capacidad del material para proveer electrones libres, y en su constante de tiempo, y por ende, influyen enormemente en la apariencia (visualización) del patrón de descarga.

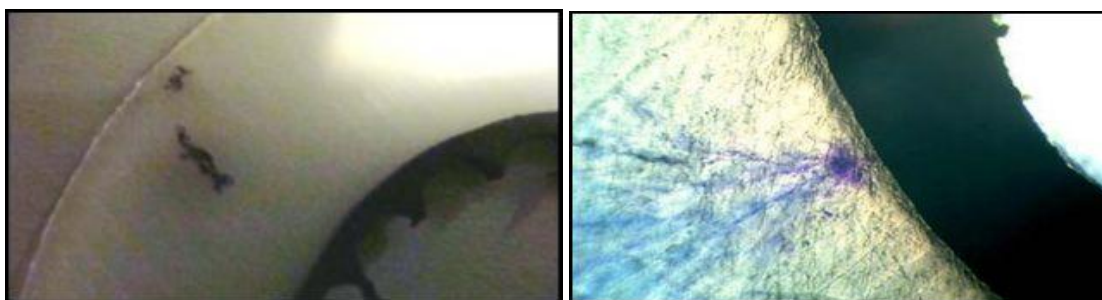


Figura 28 a),b) Imagen en microscopia digital 3D: Electrical- tree en semiconductor interna, “ref 22”

La aplicación conjunta de técnicas de inspección por rayos X, y microscopia digital, unidas a los ensayos específicos de descargas parciales, ofrecen un nuevo y preciso panorama de análisis, tendiente a determinar el estado real de degradación de empalmes y en especial de terminales de MT /AT, dando lugar a la creación en la rama eléctrica, de una nueva ciencia del tipo forense.

Más allá de la necesidad de detectar fallas, en la actualidad, la tendencia mundial está basada en la anticipación temprana de un siniestro eléctrico, mediante la-

---

<sup>22</sup> *detección, análisis y prevención de fallas en cables subterráneos, pag, 3*

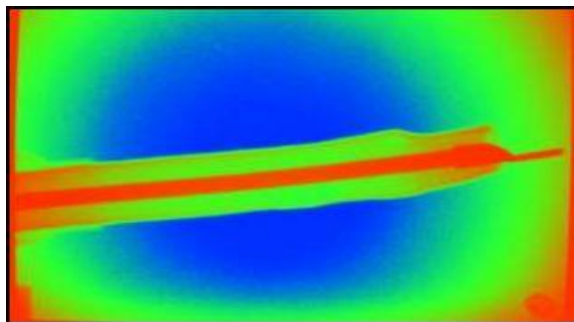


Figura 29 Imagen por Rayos X, terminal 13,2 KV ref 22

Aplicación de técnicas de diagnóstico de cables y sus accesorios, permitiendo controlar desde la recepción de los mismos, el tipo de falla que a futuro tendrán, cuando se constituyan como parte integrante de un tendido subterráneo. Además, permiten también analizar metro a metro el estado de degradación, ascendente o estable.

Para estimar degradación ascendente en muestras aun en servicio, la aplicación de Rayos x se incluye también dentro de los denominados ensayos no destructivos, o sea aquellos que permiten obtener información del material analizado sin causar daños o cambios al mismo.

Su aplicación como control de calidad, permite detectar la presencia tamaño y posición de defectos en materiales aislantes conformados, tales como grietas y fisuras, trazas de carbón, oclusiones gaseosas, o impurezas

Muchas fallas en cables subterráneos son debidas a una ineficiente ejecución de sus empalmes, y para estos casos, el VLF ha demostrado ser un método fácil y seguro, para mantener la confianza en los sistemas de distribución de energía.

Las aplicación conjunta de técnicas de inspección por Rayos X, y Microscopia Digital, unidas a los ensayos específicos de Descargas Parciales en fase resuelta, ofrecen un nuevo y preciso panorama de análisis, tendiente a determinar el real estado de degradación de empalmes, y en especial de terminales de MT /AT, dando lugar también a la creación en la rama eléctrica, de una herramienta del tipo forense.

Estimar el grado de confiabilidad de un alimentador subterráneo, forma parte de la valoración de los activos de una empresa distribuidora, posibilitando determinar su real rentabilidad proyectada.

### **3.6 Vandalismo**

Sin lugar a dudas el vandalismo es un fenómeno social del cual derivan problemas criminológicos que internacionalmente son investigados desde el siglo pasado, las manifestaciones sociales y conductuales que llaman la atención de forma negativa puede observarse, por lo general entre los jóvenes que en la población adulta.

Se considera importante tratar el vandalismo de hoy como posible delincuencia organizada del mañana; por tal motivo la investigación es de gran interés tomando en cuenta los diversos factores que engloban el problema, analizando su historia y su evolución dentro de la sociedad mexicana.

México está viviendo una problemática, que afecta a nuestra sociedad de diversas formas, al darse cuenta de lo vago que el tema es tratado y de la poca responsabilidad que todos como sociedad estamos ejerciendo.

### **3.6.1 Prevención principios fundamentales**

Para la erradicación de este fenómeno tan complicado CFE al respecto no puede hacer mucho puesto que el problema radica en factores ajenos a lo que la empresa le compete más, sin en cambio si puede emprender una campaña de difusión del daño que se provoca la problemática de la insuficiencia de energía y gastos que asume el gobierno para compensar materiales dañados o la sustitución de los mismos, principalmente asiendo énfasis a la pena que representa el hurto por ejemplo de cable ya que es un delito federal.

1. La prevención del vandalismo es parte esencial en la sociedad. Si los jóvenes se dedican a actividades lícitas y socialmente útiles, se orientan hacia la sociedad y enfocan la vida con criterio humanista, pueden adquirir actitudes no criminógenas.
2. Para poder prevenir eficazmente el vandalismo es necesario que toda la sociedad procure un desarrollo armonioso de los adolescentes, y respete y cultive su personalidad a partir de la primera infancia. Se debe centrar la atención en el niño.
3. Los jóvenes deben desempeñar una función activa y participativa en la sociedad y no deben ser considerados meros objetos de socialización o control.
4. Los programas preventivos deben centrarse en el bienestar de los jóvenes desde su primera infancia.

### **3.7 Ruptura de cable o falla de aislamiento**

La experiencia práctica a lo largo de la historia de la electricidad se ha demostrado que la manera más eficiente primero para distinguir el tipo de falla se determina siguiendo tres etapas para la localización de las fallas en un cable:

1. Un análisis de la naturaleza de la falla, durante el cual se realicen diversas pruebas al aislamiento de cada conductor, así como las pruebas de continuidad.
2. Una localización preliminar efectuada en los extremos del cable y que da una estimación aproximada del lugar donde se encuentra la falla. La localización preliminar debe ser rápida, para la localización preliminar se utilizan aparatos sencillos y eficaces, de fácil manejo.

3. Una detección confiable realizada sobre el lugar, para localizar el punto exacto donde se encuentra la falla.

Y la mejor manera para evitar la ruptura de un aislamiento, es con un buen conductor de buena calidad en este trabajo se da una importancia significativa a los conductores Condumex que no sólo evitan este tipo de fallas si no que la vida útil de cableado es mucho más larga que otros conductores de las mismas características.

Un conductor de buena calidad de Condumex mejora considerablemente las fallas de este tipo, un inconveniente que CFE actual encargada de la Energía eléctrica en México es el precio y CFE opta por marcas mucho más baratas descuidando la integridad del material y aun que si aprueben las normas de calidad reguladas por CFE y LAPEM las marcas de menor calidad su vida útil de esas marcas es de 15 a 20 años, mientras que un conductor Condumex supera en fácil el doble de esa cantidad de vida dando una vida útil de 30 años como mínimo dependiendo del tipo de circunstancias a las que se someta el conductor.

Otro punto mejorable es la construcción del material ya que no se escatima en material de primera calidad reduciendo el punto de quiebre de los materiales como es el cable o el material aislante de los cables.

Ejemplo: Cable Vulcanel 2000 para ambientes secos con aislamiento de XLP 100% nivel de aislamiento de 5KV a 35 Kv conductor de cobre compacto sellado y cubierta de pvc

### 3.8 Efecto skin

Una forma de mitigar este efecto es el empleo en las líneas y en los conductores del denominado hilo de Litz, consistente en un cable formado por muchos conductores de pequeña sección aislados unos de otros y unidos solo en los extremos. De esta forma se consigue un aumento de la zona de conducción efectiva.

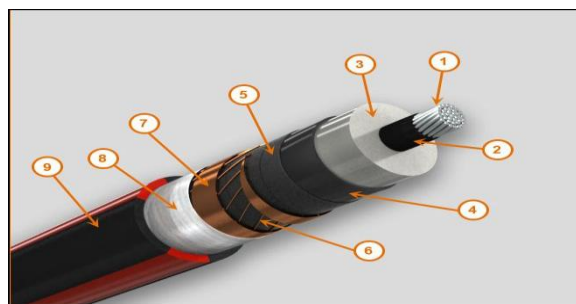


Figura 30 Componentes de un cable Condumex<sup>23</sup>

1. Conductor de aluminio duro redondo compacto, sellado contra la penetración longitudinal de agua.

<sup>23</sup> [Catalogo.condumex.com.mx](http://Catalogo.condumex.com.mx)

2. Pantalla semiconductora extruida sobre el conductor.
3. Aislamiento de XLP (Polietileno de Cadena Cruzada).
4. Pantalla semiconductora extruida sobre aislamiento.
5. Cinta hinchable semiconductora para bloquear el paso longitudinal de agua a través de la pantalla metálica.
6. Pantalla metálica de alambres de cobre suave aplicados helicoidalmente.
7. Cinta de cobre aplicada helicoidalmente en forma discontinua para igualar la corriente en los alambres.
8. Cinta hinchable aislante para bloquear el paso longitudinal de agua a través de la pantalla metálica.
9. Cubierta exterior de PEAD (Polietileno de alta densidad) en color negro con tres franjas rojas longitudinales.

Aislamiento y pantallas semiconductoras fabricados por el proceso de triple extrusión real con curado en seco, el cual mejora notablemente las características eléctricas e incrementa la vida del cable y reduciendo el fenómeno antes mencionado.

### **3.8 Efecto joule**

El efecto Joule indudablemente siempre estará presente en un material que utilice electricidad mas sin en cambio se puede disminuir de dos maneras ya sea bajando la resistencia de los conductores (aumentando su sección , cambiando de material o disminuyendo su longitud ) y el otro método es aumentar la tensión en este principio se basan todas las distribuidoras de energía y por eso se usan transformadores de distribución para transmitir 1000 Kva en 400V la corriente necesaria para esto es de aproximadamente 1428 A pero la misma potencia en 21500V sólo se necesitan 26.8 A al tener menos corriente circulando por los circuitos pasan dos cosas las perdidas debido a joule bajan y entonces se puede usar secciones de conductores inferiores .

Mis sugerencias y mejoras siguen siendo conductores marca Condumex al cambiar los conductores por marca esta marca se mejoraría considerablemente la vida útil de una del entronque de una subestación aérea a una subestación subterránea.

### **3.8 Reportes de Fallas por Marcas eléctricas**

Para evitar el mismo problema su citado en la mayoría de las subestaciones es recomendable siempre escoger material de la mejor calidad como se ha visto a lo largo de este trabajo el estudio de muestra las mejores marcas con el menor incidencia a problemas en la zona de transmisión y distribución GRT central mostrando que las

marcas como son "IEI" con el 0.76%, "FUJI ELECTRIC" 0.76 %, "ASGEN 0.76 % y JEMUNT SHNIDER 0.76 %, esto demuestra su efectividad y calidad de materiales, con la compra de estas marcas que de manera confiable han demostrado que el numero de fallas es mucho menor a otras marcas se obliga a los fabricantes en mejorar la calidad de sus productos y aunado también a ello el costo para a si fomentar una competitividad que beneficia de mucho a la industria eléctrica.

## Capítulo IV

### IMPACTO ECONÓMICO DE LAS PERDIDAS ELÉCTRICAS Y DEL INADECUADO MANTENIMIENTO

#### 4.1 Pérdidas de Energía Eléctrica

En este trabajo se han considerado diversos fenómenos eléctricos que si bien no son todos los fenómenos que se presentan, si son los más comunes por fallas en los tronques de las subestaciones de aérea a distribución subterránea es este capítulo se hablará de la importancia de reducir estos fenómenos debido a las pérdidas económicas que han representado a lo largo de los años de 2008 a 2012.

#### Transmisión de energía eléctrica y pérdidas en la distribución (kWh)

Las pérdidas de transmisión y distribución de energía eléctrica incluyen las pérdidas que se producen en la transmisión entre fuentes de suministro y puntos de distribución y en la distribución a los consumidores, incluyendo el hurto, 2008-2012

41, 409, 000, 000 (kWh)

Capacidad Efectiva de Generación

SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL <sup>1</sup> / <sub>1</sub> PRECIOS MEDIOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (Centavos por kWh a precios corrientes)								
Años	Doméstico	Comercial	Servicios	Agrícola	Empresa Mediana	Gran Industria	T o t a l	
1999	49.27	118.32	93.16	25.73	52.38	35.36	52.27	
2000	55.90	126.03	104.68	28.68	61.20	43.37	60.21	
2001	60.74	130.37	113.05	31.33	62.67	44.25	63.35	
2002	77.44	137.58	R 125.14	33.65	R 69.89	R 48.08	72.15	
2003	84.59	161.48	134.05	36.41	84.86	60.20	84.84	
2004	88.35	186.76	141.01	39.25	97.83	70.86	95.48	
2005	92.01	205.44	148.02	43.60	106.45	77.84	102.64	
2006	98.35	231.58	157.04	44.39	119.14	88.63	113.79	
2007	101.65	239.27	166.02	47.75	123.55	90.68	117.83	
2008	106.18	254.98	172.15	50.97	152.69	118.30	137.33	
2009	106.75	237.26	175.76	41.12	126.44	95.54	121.19	
2010	111.97	257.00	186.28	49.24	143.17	109.99	133.54	
2011	117.05	272.81	196.40	55.04	156.40	121.63	142.75	
2012	116.94	291.15	208.05	58.27	164.66	127.36	149.13	
	Enero	134.08	295.30	205.72	62.75	172.55	135.92	160.09
	Febrero	134.91	295.88	208.86	55.09	175.93	133.11	160.29
	Marzo	131.77	295.39	203.94	55.50	165.22	122.34	152.37
	Abril	129.56	290.22	195.24	57.15	159.44	122.94	147.52
	Mayo	119.30	288.01	206.89	56.88	160.76	124.52	145.58
	Junio	108.74	288.51	207.32	56.55	160.43	122.82	142.50
	Julio	108.94	288.71	210.80	57.89	163.24	128.97	146.19
	Agosto	105.62	293.86	211.40	58.91	165.16	130.92	146.39
	Septiembre	106.09	294.86	209.78	61.96	162.14	125.89	144.65
	Octubre	104.66	287.84	213.70	59.36	157.06	122.01	141.95
	Noviembre	115.44	285.04	212.67	62.67	166.64	129.32	151.59
	Diciembre	124.19	291.57	212.31	57.42	171.42	131.47	155.94
2013								
	Enero	127.61	294.92	218.45	69.87	170.68	133.09	158.20
	Febrero	128.12	296.51	218.63	60.93	168.39	126.61	154.89
	Marzo	121.64	292.23	220.27	55.47	163.11	122.18	148.93
	Abril	121.53	294.12	220.03	55.73	159.84	125.24	147.41
	Mayo							
	Junio							

Figura 31, Precios de energía Eléctrica<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Secretaria de Energía Ventas internas de Energía Eléctrica



Si tomamos en cuenta el precio medio de la energía eléctrica es de 159. 48 centavos, multiplicado las pérdidas en la distribución generadas anualmente da un total de 70, 573, 089, 600 de pesos.

SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL 1./							
VENTAS INTERNAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA							
(Gigawatts - hora)							
Años	Doméstico	Comercial	Servicios	Agrícola	Empresa Mediana	Gran Industria	Total
1999	33,370	10,964	5,432	7,997	49,446	37,788	144,996
2000	36,128	11,691	5,873	7,901	53,444	40,311	155,349
2001	38,344	12,185	5,954	7,463	54,722	38,535	157,204
2002	39,032	12,547	6,057	7,216	56,185	39,166	160,203
2003	39,861	12,825	6,132	7,338	56,874	37,355	160,384
2004	40,733	12,926	6,270	6,968	59,148	37,465	163,509
2005	42,531	13,007	6,431	8,067	61,921	37,799	169,757
2006	44,452	13,229	6,577	7,959	65,266	37,887	175,371
2007	45,835	13,408	6,789	7,804	67,799	38,833	180,469
2008	47,451	13,645	7,057	8,109	69,100	38,551	183,913
2009	48,540	13,417	7,787	9,299	67,630	34,794	181,465
2010	48,700	12,991	7,707	8,600	70,024	38,617	186,639
2011	51,771	13,591	8,068	10,973	73,431	43,112	200,946
2012	52,030	13,920	8,371	10,816	75,836	45,507	206,480
Enero	3,629	1,053	696	644	5,680	3,634	15,336
Febrero	3,614	1,032	661	657	5,569	3,613	15,146
Marzo	3,560	1,119	677	797	6,092	4,084	16,329
Abril	3,696	1,082	807	1,126	5,952	3,893	16,556
Mayo	4,064	1,176	684	1,327	6,682	4,099	18,032
Junio	4,584	1,198	692	1,287	6,876	3,947	18,584
Julio	5,044	1,278	695	1,033	6,903	3,805	18,757
Agosto	5,262	1,205	674	898	7,036	3,916	18,990
Septiembre	5,412	1,280	691	918	6,665	3,695	18,661
Octubre	4,964	1,201	689	791	6,695	3,778	18,118
Noviembre	4,387	1,219	706	663	6,143	3,621	16,739
Diciembre	3,815	1,078	698	675	5,544	3,421	15,231
2013	14,530	4,210	2,858	3,522	23,494	14,574	63,187
Enero	3,753	1,075	726	644	5,776	3,625	15,598
Febrero	3,733	1,039	705	763	5,582	3,389	15,210
Marzo	3,445	1,040	696	916	5,871	3,829	15,797
Abril	3,600	1,056	730	1,200	6,265	3,731	16,583
Mayo							
Junio							
Julio							

Figura 32, Ventas internas de Energía Eléctrica. Ref. 24

Estos datos a portan de manera importante los números en cuanto a economía se refiere de las pérdidas económicas que sufre una empresa como CFE anualmente por ello la importancia de mitigar estos fenómenos eléctricos.

Si bien estas cifras son solo números aproximados da una idea general de cuanto es el monto de energía eléctrica que se pierde en los entronques de una subestación aérea a una subterránea, y el costo que ello implica.

Si bien se quiere considerar remodelar las subestaciones de este tipo de entronques no solo mejoraría la vida útil y mejoraría el proceso de distribución si no representaría una muy buena inversión que a corto y largo plazo se vería reflejado.

## **4.2 Consecuencias de mal mantenimiento en subestaciones subterráneas y equipo antiguo**

### **Explosión de transformador en el Centro**

El incidente se registró debido a un corto circuito en un transformador lo cual ocasionó la detonación del mismo en la parte subterránea del estacionamiento.

La explosión de un transformador en el estacionamiento ubicado en la calle 20 de Noviembre en pleno Centro Histórico dejó como saldo, dos personas con quemaduras en el 80 % de su cuerpo.

El incidente ocurre en el cruce de las calles de 16 de septiembre y Bolívar, Ciudad de México el viernes 22 de febrero de 2013.

### **Explosión de mufa en el Centro**

Una mufa explotó esta tarde en las calles de 16 de septiembre y Bolívar, en el Centro Histórico de la Ciudad de México, frente a un edificio alterno de la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN)<sup>25</sup>.

En consecuencia por tales fallas aunadas por el deterioro y el mal mantenimiento en el Centro Histórico de la ciudad de México se optó por un proyecto de infraestructura de raíz cambiando todo el cableado y nuevas subestaciones su costo fue cerca de los 700 millones de pesos pero el costo “técnico-económico” era beneficioso por qué generaba tantas pérdidas eléctricas como económicas en general esa cantidad invertida no tardaría en regresar por el ahorro de energía eléctrica y menos mantenimiento en las subestaciones, sin mencionar el número de comercios afectados por el corte intermitente por suministro de energía.

En General se demuestra que el costo de una nueva infraestructura subterránea es indudablemente una fuerte cantidad que rebasa millones de pesos o dólares, pero el costo que se ahorraría por menos pérdidas eléctricas mediante la eficiencia de operación y mantenimiento justificaría la inversión y el tiempo de vida útil de una nueva infraestructura.

---

<sup>25</sup> [www.eluniversal.com.mx](http://www.eluniversal.com.mx)

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

A lo largo de esta trabajo se tomó la importancia de los fenómenos eléctricos que se presentan en la transición de una línea aérea a una subterránea de distribución, como son fallas por sobretensiones, por descarga atmosférica se habla en general de que es particularmente difícil evitar este tipo de fenómeno debido a lo impredecible que es, pero se puede mejorar el sistema dándole un correcto mantenimiento para evitar fallas como las de tipo “maniobras en la red eléctrica” de igual manera para el tipo de falla por “descarga parcial” pero debido a lo costoso de un mantenimiento preventivo de este tipo de falla es poco recomendable, pero aunado al mantenimiento preventivo se puede reducir en gran medida.

En cuanto al vandalismo se plantea de una manera clara y objetiva que incluso no es objeto de este estudio y que CFE que es la encargada de la electricidad en México, a través de este ámbito federal se puede generar una campaña de publicidad y difusión del problema que representa para la ciudadanía el hurto robo y daño al sistema eléctrico de potencia en general.

Las fallas en aislamiento del cable es un problema bastante frecuente en este tipo de escenarios por tal motivo aquí se recomienda e invita a usar conductores de alta calidad debido a que es poco probable su mantenimiento, esto ayudaría a la vida útil del cable que es de próximamente en cinco años o más, pero si se le agrega un mantenimiento general aun mas ayudaría al buen desempeño de las instalaciones reduciendo problemas como efecto skin o efecto joule.

Una parte importante que se menciona de igual forma son reportes de fallas por explosión, reportes de fallas por marcas eléctricas, reportes de antigüedad de Instrumentos, para consideraciones previas en cuanto al uso de estos mismos instrumentos eléctricos y así confiar en un proveedor de manera particular esto generaría competitividad en cuanto a fabricantes y así se generaría una sana competencia económica favoreciendo a la empresa CFE mejorando de alguna manera este tipo de gastos en cuanto a estas fallas se refiere.

Se muestra económicamente hablando del gasto que representa las fallas de energía eléctrica en manera general y este trabajo muestra ayuda que reduciría de manera importantes este tipo de fallas y ahorrando un gasto económico.

## Bibliografía:

- Fuentes: J.A. Gómez Tejedor, J.J. Olmos Sanchis. Cuestiones y problemas de electromagnetismo y semiconductores.
- Elementos de Diseño de subestaciones eléctricas, 2da Edición, G. Enríquez Harper, Ed Limusa.
- Transformadores de tensión inductivos aislamiento papel-aceite hasta 525 kv, folleto informativo, ARTECHE.
- "Mitigating Ferroresonance in HV Inductive Transformers", W. Piasecki, M. Stosur, M Florkowski, M. Fulczyk, B. Lewandowski, IPST, 2009
- Máquinas eléctricas, Tercera edición Stephen J. Chapman.
- Revista de fallas de transformadores de potencia, reactores de potencia y transformadores de instrumento 2010.
- Manual de Instalaciones Eléctricas e baja tensión Condumex.
- [Catalogo.condumex.com.mx](http://catalogo.condumex.com.mx)
- Manual Técnico de cables de energía, Condumex.
- <http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/6/106/>
- [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo\\_Sustentable/energiarenovable/Paginas/Energiaeolica.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/energiarenovable/Paginas/Energiaeolica.aspx)
- [http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264\\_ES.pdf](http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf)
- <http://www.cfe.gob.mx/Industria/InformacionCliente/Lists/Normas%20de%20Distribucion/Attachments/2/Generalidades.pdf>
- [www.ahoradiario.mx/.../disminuye-robo-de-cable-pero-persiste-vandalis](http://www.ahoradiario.mx/.../disminuye-robo-de-cable-pero-persiste-vandalis)
- <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>
- <http://www.inducor.com.ar/>
- <http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/6/106/>
- Diario Oficial de la Federación
- Moreno Segura Eduardo. Estudio de rentabilidad de un Sistema de Distribución Subterránea". México, 2008