

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

***“Estudio de rentabilidad de un Sistema  
de Distribución Subterráneo”***

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRICISTA PRESENTA:**

**EDUARDO MORENO SEGURA**

**ASESORES:**

**ING. DANIEL ANTONIO MATA JIMÉNEZ  
ING. CARLOS VACA JIMÉNEZ**



**MÉXICO, D.F.**

**2008**

## *Agradecimientos:*

- ❖ *A Dios por permitirme gozar de la dicha, de llegar a esta fecha tan especial en mi vida personal como profesional.*
  
- ❖ *A mis padres Alicia y Eligio, quien me han apoyado en todo momento, sin importar los tropiezos que he tenido a lo largo de mi carrera de estudiante.*
  
- ❖ *A mi hermana Janeth Alicia, por la motivación incondicional de que cumpliera uno más de mis sueños el cual es, titularme.*
  
- ❖ *A la CFE por permitirme realizar el Servicio Social, donde empecé una nueva etapa en el ámbito laboral y gracias a la información para poder llevar a cabo este proyecto, en especial al Ing. Alfonso Simg Chong e Ing. Carlos Vaca Jiménez, por su apoyo y comprensión.*
  
- ❖ *A mis Tíos, Maestros, Asesores, Amigos y Compañeros de mi querida escuela la ESIME, que me enseñaron lo que no sabía y me despertaron a lo que ya sabía.*

*Cuando la gente me pregunta cuál es mi propósito en la vida, les contesto que mi trabajo es mi meta. Es sumamente triste saber que la mayoría de la gente odia sus empleos y lo que es peor todavía, no saben lo que quieren hacer. Encontrar el propósito de tu vida -encontrar un trabajo que te gusta hacer, por ejemplo- es amar a quien tu eres.*

*El trabajo sirve como expresión de creatividad, es decir, es necesario que permitas que la energía creativa del Universo fluya a través de ti. No importa lo que hagas, en tanto sea satisfactorio para tu ser y permita realizarte. Recuerda:*

***“Cuando nuestra visión interior se abre, nuestros horizontes se expanden”.***



## ÍNDICE

	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>VIII</b>
Planteamiento del Problema	XI
Objetivo	XII
Justificación	XIII
Hipótesis	XIV
Metodología	XV
<b>CAPITULO I. EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA Y SU RELACIÓN CON UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO</b>	<b>16</b>
I.1 GENERALIDADES	16
I.2 EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP)	16
I.3 SUBSISTEMAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA	18
I.3.1 Generación	18
I.3.2 Transformación	20
I.3.3 Transmisión	21
I.3.4 Distribución	22
I.4 EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN COMO COMPONENTE DEL SEP	22
I.4.1 Clasificación	23
I.4.2 Elementos de Diseño de un Sistema de Distribución	23
I.4.3 Requerimientos Técnicos y Calidad de Servicio	24
A) Carga	24
B) Continuidad	25
C) Estructura de la Red Primaria	26
D) Tensión Primaria y Secundaria	27
E) Control de la Frecuencia y Caída de Tensión	28
<b>CAPÍTULO II. PARTES CONSTITUTIVAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (DISEÑO, EQUIPO Y MATERIALES)</b>	<b>29</b>
II.1 GENERALIDADES	29
II.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEOS	30



II.2.1 Tensión del Sistema	30
A) Baja Tensión	31
B) Media Tensión	31
II.2.2 Tipos de Carga	32
A) Zonas Comerciales	32
B) Zonas Residenciales	33
C) Zonas Turísticas	33
D) Zonas Industriales	34
II.2.3 Determinación de las Cargas	34
II.2.3.1 Sistemas Nuevos	34
II.2.3.2 Sistemas Existentes	35
II.2.4 Demandas Máximas	36
II.2.5 Configuración del Sistema	36
II.2.5.1 Radial	37
II.2.5.2 Anillo	37
II.3 CRITERIOS DE DISEÑO Y PRÁCTICAS ACTUALES DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEOS EN EL TERRITORIO NACIONAL	38
II.4.1 Distribución en Media Tensión	38
II.4.2 Distribución en Baja Tensión	39
II.4.3 Banco de Ductos	40
II.4 PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRECCIONAL	41
II.4.1 Condiciones de Terreno	41
II.4.2 Fluidos de Perforación	41
II.4.3 Aditivos para Fluidos de Perforación	42
II.4.4 Perforación	42
II.4.5 Ampliación en Retroceso	42
II.4.6 Tapón de Lodo (hidra-look)	43
II.4.7 Rendimientos	43
II.4.8 Descripción	43
II.4.9 Procedimiento	44
II.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN CABLE (MATERIALES)	47
II.5.1 Conductor	48
II.5.2 Cinta Semiconductora Sobre el Conductor	49
II.5.3 Aislamiento	49
II.5.4 Cinta Semiconductora Sobre el Aislamiento	49
II.5.5 Pantalla Metálica	49
II.5.6 Forro	50
II.6 ACCESORIOS DE CABLES SUBTERRÁNEOS (MATERIALES)	50
II.6.1 Terminales	53
II.6.1.1 Monofásica de Cerámica	53
II.6.1.2 Premoldeada	54



II.6.1.3 Termocontráctiles	54
II.6.2 Empalmes	54
II.6.2.1 Encintado	55
II.6.2.2 Prefabricado	55
II.6.2.3 Termocontráctil	56
II.6.2.4 Contráctil en Frío	56
II.6.3 Conectores (Conectores)	56
II.6.3.1 Tipo Codo	56
A) Desconectable con Carga	57
B) Desconectable con Carga y Fusible Limitador de Corriente	57
C) De 600 Amperes	58
II.6.3.2 Conectores Múltiples	58
II.6.3.3 Conector Tipo Unión	59
II.6.3.4 Conector Tipo Tapón	59
II.7 TRANSFORMADORES (EQUIPO)	59
II.7.1 Definición	59
II.7.2 Principio de Funcionamiento	59
II.7.3 Núcleo	60
II.7.4 Bobinas	60
II.7.5 Tanque	61
II.7.6 Pruebas	61
II.7.7 Efectos de Ferroresonancia en Sistemas de Distribución Subterránea	63
II.8 SECCIONALIZACIÓN Y PROTECCIÓN (EQUIPO)	65
II.8.1 Instalaciones Monofásicas	66
II.8.2 Instalaciones Trifásicas	66
II.8.3 Protección contra Sobretensiones	66
II.8.4 Protección contra Sobrecorrientes	69
<b>CAPÍTULO III. PRINCIPALES FALLAS EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	<b>71</b>
III.1 ANÁLISIS DE LA NATURALEZA DE LA FALLA	71
III.2 FALLAS EN LAS REDES AÉREAS	72
III.2.1 Fallas por Descargas Atmosféricas	72
III.2.2 Fallas por Vientos Fuertes	73
III.2.3 Fallas por presencia de Animales	74
III.2.4 Fallas por Tormenta	75
III.2.5 Fallas por Grupo de Factores	76
III.3 FALLAS EN LAS REDES SUBTERRÁNEAS	77



III.3.1 Fallas en el Aislamiento del Cable	77
III.3.2 Fallas en el Aislamiento en Particular	78
III.3.3 Fallas en Aislamientos de Codos Conectores Quemados o Perforados	79
III.3.4 Fallas por Conductor con Maltrato Mecánico o Quemado	79
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN AÉREO Y UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO.</b>	<b>81</b>
IV.1 GENERALIDADES	81
IV.2 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS	81
IV.3 ANÁLISIS DE LAS DESVENTAJAS	82
IV.4 ANÁLISIS DE LAS FORTALEZAS	83
IV.5 ANÁLISIS DE LAS DEBILIDADES	83
IV.6 ANÁLISIS POR CAUSAS DE FALLAS	84
IV.7 ANÁLISIS DE LAS FALLAS TOTALES	85
IV.8 ANÁLISIS ECONÓMICO	86
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>92</b>
ÍNDICE DE FIGURAS	92
ÍNDICE DE TABLAS	92
ÍNDICE DE GRAFICAS	93
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>



## Introducción

Desde mediados del siglo XVIII cuando por primera vez fue posible la creación de la energía eléctrica a través de generadores que funcionaron, desde entonces, bajo los principios de la inducción electromagnética y el aprovechamiento de los conocimientos de la mecánica, que entonces predominaba, dio la humanidad un paso más en su camino hacia el progreso, impulsando entre otras cosas, la manera en cómo transformar los recursos naturales, en su propio beneficio.

Pasaron muchos años para que se pudiera desarrollar la infraestructura capaz de transmitir la energía eléctrica desde puntos alejados, hasta los centros de consumo, y se tomaran en cuenta la tecnología, la economía, la política energética, así como los factores sociales y demográficos del país, para hacer posible su engrandecimiento.

Es innegable que el progreso de la sociedad humana y su civilización, se deben 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 al ir en una creciente expansión, demandan mayor uso de la energía eléctrica.

Conforme se fueron incrementando la población, la economía y la tecnología de las naciones, también se hizo compleja la forma de distribuir la energía eléctrica desde los centros de producción hasta los lugares de consumo.

Consecuentemente la invención de otros sistemas eléctricos de repartición de energía, ha permitido el desarrollo industrial, que es una de las formas que nos permiten apreciar la mejora en la calidad de vida de las personas, objetivo primario de la búsqueda y hallazgo del conocimiento.

La historia en nuestro país en este sector, inicia a principios del siglo pasado, cuando la industria eléctrica estaba constituida por empresas particulares que buscaban satisfacer las necesidades propias de las industrias textil y minera. La electricidad era distribuida de manera regional, porque se habían constituido decenas de empresas monopólicas verticalmente integradas que atendían lo solicitado por los principales centros de consumo





del país. La creciente demanda, rápidamente superó la capacidad de las pequeñas plantas generadoras, propiciando la formación desordenada de empresas suministradoras de este recurso energético.

Ante tales circunstancias, la ausencia de un marco normativo e institucional capaz de regular la producción, transmisión y distribución de electricidad, se reflejó en un suministro desigual que prácticamente excluía a las zonas rurales de los beneficios de este recurso. Por ello, en 1934, y respondiendo a las necesidades prevalecientes en ese entonces, el H. Congreso de la unión, que cuenta entre sus facultades constitucionales la legislación en materia de energía eléctrica, presentó la iniciativa de ley que en 1937, y con la prioridad de ampliar el servicio eléctrico a las zonas donde la rentabilidad en los proyectos no existía, creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

De manera que para el año de 1960, con el propósito de darle eficiencia y transparencia al aparato productor de electricidad, el gobierno federal decidió comprar las acciones de las empresas privadas que generaban y transmitían la energía eléctrica en esa época, dando un paso importante en la consolidación de esta industria, como motor de la vida nacional del país.

El año de 1979 fue un parte aguas para los sistemas de distribución, ya que fue editada la primera edición de la norma de construcción relativa a redes subterráneas, iniciándose con fuerza el desarrollo de estos sistemas, cuya aplicación en el naciente siglo, avanza día con día, en zonas del territorio nacional, tales como las residenciales, lugares turísticos y centros históricos, preferentemente.

En la actualidad, el adelanto científico en todos los campos de la ciencia, ha logrado contribuir con altos niveles de eficiencia en la generación, transmisión y distribución de la electricidad. Sin embargo, los recursos técnicos del momento no son suficientes y es necesario buscar fuentes de subvención para hacer frente a la creciente demanda de esta vital fuente de energía.

La exigencia de preservar los centros históricos en excelentes condiciones, está provocando en el presente, que se tomen y consideren los caminos que solucionen la



problemática. Ante esta situación, y específicamente en el terreno de la distribución subterránea, nuestra labor con la sociedad, es la de proporcionar los elementos necesarios para que se beneficie la rentabilidad de los sistemas eléctricos, de manera que se aprovechen eficiente y racionadamente en el mediano y largo plazo.

Por último, es importante recordar que cualquier decisión encaminada al mejoramiento de un objeto o un sistema, esté respaldada por una visión a futuro.



## Planteamiento del Problema

En su inicio, los sistemas de distribución subterránea eran catalogados como costosos por lo que solo se empleaban en lugares donde se tenía un nivel socioeconómico alto así como en lugares exclusivos de turismo como son los centros residenciales y hoteles en las principales playas del país.

Sin embargo para colonias, barrios, centros habitacionales y capitales de los estados solo se pensaba en una distribución aérea ya que era demasiado costoso realizar una distribución subterránea en estos lugares.

Sin embargo los centros de las capitales de los estados que actualmente se consideran históricos e incluso patrimonio cultural de la humanidad en la República Mexicana, se ha presentado la necesidad de conservar estos lugares con el mejor aspecto posible lo que ha propiciado que con el paso de los años, su conservación y su apariencia visual deben estar en perfectas condiciones, toda vez que no solo son admirados por los propios mexicanos, sino que también son del agrado de personas que vienen de visita del extranjero.

En este sentido, y para contribuir a que se logre lo anterior, una de las partes que nos corresponden a los encargados de proveer la energía eléctrica, es la de plantearnos lo que sigue: ¿cómo debemos proporcionarla en el presente, de manera que se mejore la calidad del suministro y la estética de dichos inmuebles, evitando postes de concreto en cada esquina, cables que parecen telarañas en las fachadas, fallas en el abastecimiento por descargas atmosféricas, robo de energía, choques y demás problemas que ocasionan las redes actuales?.



## Objetivo

Dar a conocer la rentabilidad de inversión en los Sistemas Subterráneos, para motivar la sustitución de las redes de distribución de energía eléctrica actuales, por redes de distribución subterráneas en lugares críticos de operación y mantenimiento. Eliminando el paradigma de uso exclusivo para centros con nivel socioeconómico alto así como en lugares exclusivos de turismo.



## Justificación

Eliminar el paradigma de los altos costos ya que actualmente al considerar la obra civil, electromecánica, mantenimiento y energía dejada de vender compensa el uso de estos sistemas ya que su inversión en estos sistemas a disminuido tanto que en menos de 6 años es posible recuperar su inversión ya que el costo de mantenimiento comparado con los sistemas aéreos podemos considerarlo nulo aunado a la disminución de los costos en la construcción y materiales empleados en la misma.

Y en virtud de una mejor distribución de energía eléctrica que conlleve a una mejor calidad en cuanto al suministro coadyuvando con ello a dar una mejor apariencia a los centros históricos los cuales en algunos casos son considerados patrimonio cultural de la humanidad, es importante mantener las instalaciones eléctricas que lo circundan con un excelente servicio y apariencia visual, y la mejor manera de conseguirlo es a través de la conversión de las redes eléctricas actuales por redes subterráneas. Aunado a que con estas acciones se evitan actos de vandalismo, robo de energía, en contra de las citadas instalaciones, así como daños por descargas atmosféricas y excesivos gastos por mantenimiento. Al mismo tiempo proporcionamos una mejor calidad del servicio y continuidad, e incrementamos la plusvalía del lugar.



---

## Hipótesis

Mostraremos las bondades del sistema de distribución de energía eléctrica subterránea y motivaremos con esto a que se considere la posibilidad de cambiar las redes actuales donde las zonas estén expuestas a ciertos efectos ambientales o también si se trata de zonas comerciales y residenciales por redes subterráneas.

La sustitución de redes aéreas, por redes subterráneas, mejorará la calidad del servicio energético, la apariencia visual, el entorno de los centros históricos, al mismo tiempo que contribuirá a reducir los costos por mantenimiento, los actos de vandalismo, daños por descargas atmosféricas en las líneas, robo de energía, choques, etc.



## Metodología

En el primer capítulo se realiza el estudio del Sistema Interconectado Nacional de Potencia, se analiza el mercado y consumidores.

Para el segundo capítulo, ingeniería de distribución subterránea materiales y equipo utilizado en estos sistemas.

En el tercer capítulo se presenta la estrategia comercial planteando los problemas que se tienen actualmente en los Sistemas de Distribución Aéreo y los Sistemas de Distribución Subterránea con lo cual se busca motivar al mercado con la finalidad de demostrar el uso de un sistema u otro.

En el ultimo capitulo se demuestra con ejemplos la rentabilidad de estos sistemas que actualmente está promoviendo la CFE.

Por último se presenta la conclusión de la demostración de las ventajas que conllevan los sistemas de Distribución Subterránea en México

Las fuentes de información utilizadas al elaborar este trabajo de investigación, principalmente son las siguientes: Varios Proyectos de Divisiones de Comisión Federal de Electricidad, Documentos Normativos y diversos autores de libros en la materia.



## **CAPITULO I. EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA Y SU RELACIÓN CON UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO**

### **I.1 GENERALIDADES**

Como se sabe la generación, transformación, transmisión y la distribución de la energía eléctrica constituyen las acciones fundamentales de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP).

Ahora bien, dentro del SEP, el sistema de distribución juega un papel importante, debido a que es el encargado de distribuir la energía eléctrica a todos los centros de consumo.

En este capítulo se describen los conceptos de generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica a los diversos tipos de consumidores (industriales, comerciales, residenciales). Además, se resalta la importancia de la función del sistema de distribución dentro del SEP.

Con la teoría y el análisis de este capítulo, es posible argumentar que en términos operacionales, un sistema de distribución subterráneo es mucho más eficiente que un sistema aéreo, pero el desembolso económico inicial de su diseño y construcción se ha considerado mayor, toda vez que hace algunas décadas, no contábamos con la tecnología actual, sin embargo, cuando se proyecta en base a un retorno de inversión inicial, se observa que el sistema subterráneo tiende a ser más económico. De esta premisa fundamental hablaremos en los capítulos subsecuentes, en donde se analizan en forma más específica aspectos de diseño para sistemas subterráneos con nuevos avances tecnológicos.

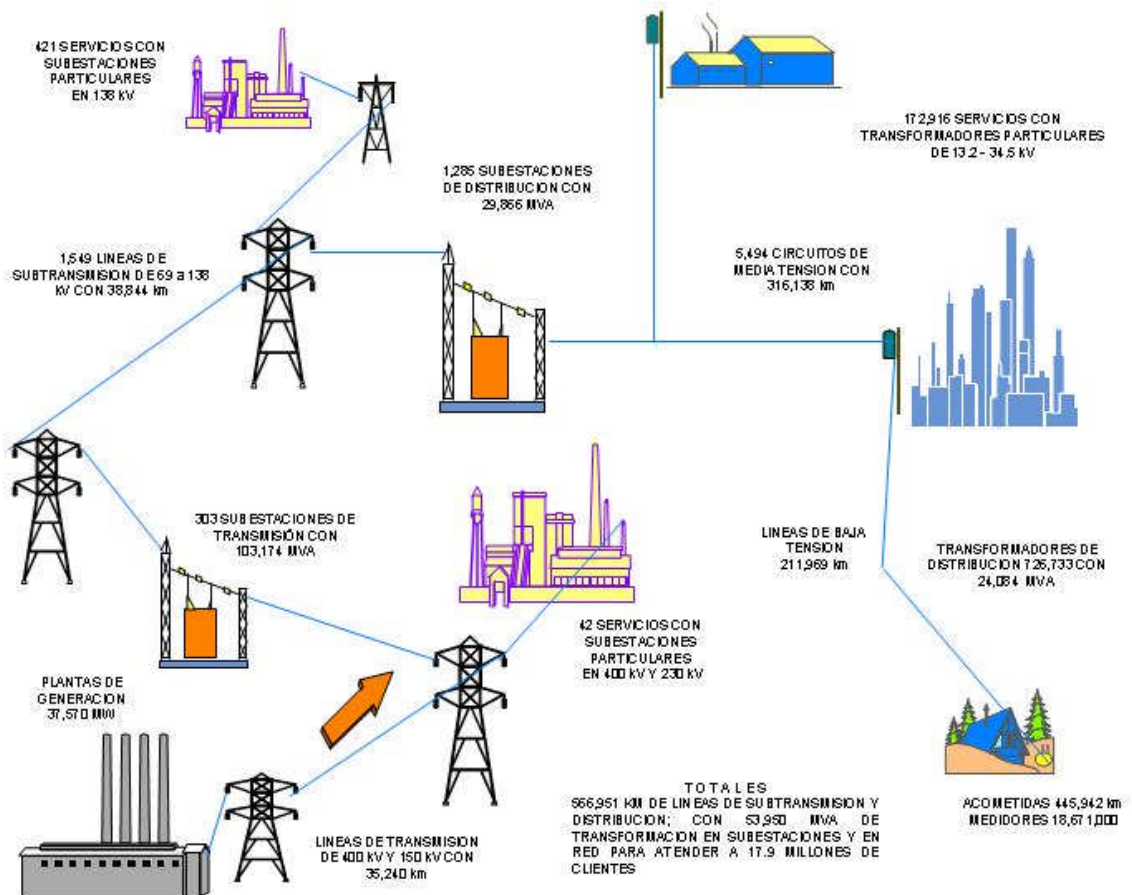
### **I.2 EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP)**

Para entender la estructura y operación del SEP, así como los diferentes subsistemas que lo componen, en la figura I.1 se ejemplifican de manera esquemática las partes que lo integran. Adicionalmente, en la sección siguiente se describen de manera general cada uno de éstos.





Figura I.1 Forma esquemática de las partes que integran al SEP.



### I.3 SUBSISTEMAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

#### I.3.1 Generación

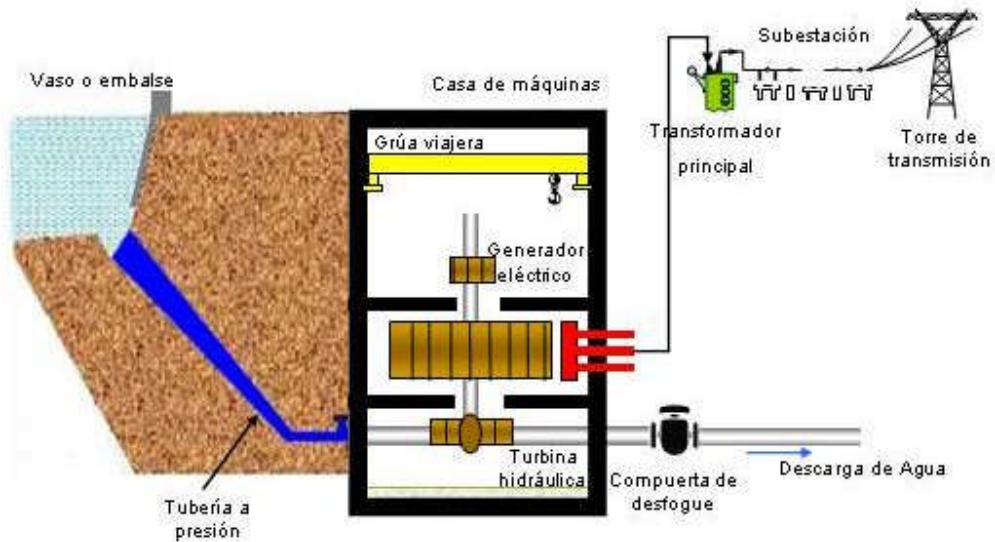


Figura I.2 Central generadora.

Es conocido que los centros de generación se localizan en puntos estratégicos de una red, los cuales producen energía eléctrica, que a su vez es transformada para ser llevada por líneas de transmisión de alta tensión (AT) a grandes distancias hasta los centros de consumo.

El principio de básico que hace posible esta etapa del SEP, es el aprovechamiento de la energía mecánica para transformarla en energía eléctrica mediante diferentes equipos y dispositivos. Es decir, con la energía potencial de una caída de agua es posible para hacer girar las turbinas hidráulicas que están unidas al rotor de un generador eléctrico, y cuando el agua golpea las hélices de la turbina, ésta empieza a girar junto con el rotor, el cual corta las líneas de fuerza magnética generadas por el estator; de esta manera, se induce una diferencia de potencial en el rotor, produciendo una corriente eléctrica en los bornes de sus devanados. (Ver figura I.2)

Actualmente la mayoría de los países industrializados generan su propia electricidad a través de los diferentes tipos de centrales generadoras clasificadas en la tabla I.1.



Tabla I.1 Clasificación de las Centrales Generadoras<sup>1</sup>.

Convencionales	No convencionales
Hidroeléctricas Termoeléctricas	Geotérmicas Eólicas Solares Maremotrices Nucleoeléctricas

Como se puede apreciar en la tabla I.1, existen centrales generadoras denominadas convencionales, que son las de mayor utilización en nuestro país; contrario a lo que se presenta con las no convencionales, a excepción de las nucleoeléctricas, geotérmicas y eólicas (en cantidad menor).

La tendencia actual en el diseño y edificación de centrales y construcciones eléctricas, es no alterar el medio natural y la ecología. Esto se puede lograr a través de su adecuada localización, ubicándolas alejadas de las zonas urbanas, centros históricos, áreas protegidas y zonas de gran productividad agrícola. Así también se consideran aspectos como: la contaminación marina e industrial con el fin de minimizar los conflictos de tipo social, económico, ecológico, estético y de salud.

En nuestro país la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (LyFC), tienen a su cargo el abastecimiento de energía eléctrica en todo el territorio nacional, operando un total de 179 centrales generadoras distribuidas como se muestran en la tabla I.2.

<sup>1</sup> CENTRALES ELÉCTRICAS POR FREDERICK T MORSE EDITORIAL CECSA 1971



Tabla I.2 Tipos de Centrales Generadoras<sup>2</sup>.

TIPO	CANTIDAD
HIDROELÉCTRICAS	78
VAPOR	28
CICLO COMBINADO	11
TURBOGAS	40
COMBUSTIÓN INTERNA	9
GEOTERMO-ELÉCTRICAS	7
DUAL	1
CARBO-ELÉCTRICAS	2
NUCLEO-ELÉCTRICAS	1
EOLO-ELÉCTRICAS	2
TOTAL	179

Se cuenta además con 30 plantas generadoras móviles, las cuales son empleadas en casos de emergencia o eventualidades del sistema.

La capacidad de las centrales generadoras instalada a la fecha es de 38,391.20 MW y más de 118.51 MW producidos por las plantas móviles.

### I.3.2 Transformación

El esquema de la figura I.1 expone la topología de un Sistema Eléctrico de Potencia (sencillo), en donde se aprecia que la energía generada, es transportada hasta los centros de consumo. Para realizarlo, es necesario elevar la tensión a un nivel adecuado de transmisión; mientras que en las zonas de carga (poblaciones grandes y pequeñas, zonas industriales, etc.) Es necesario disminuir la tensión a niveles adecuados de distribución.

La transformación de la energía se realiza en las subestaciones, las cuales se clasifican básicamente en:

<sup>2</sup> ESPECIFICACIÓN BÁSICA CFE 2006



- ◆ Subestación de transmisión: en la actualidad se cuenta con 327 subestaciones, con una capacidad de transformación de 135,238 MVAs y niveles de tensión de hasta 400 kV.
- ◆ Subestación de distribución: hoy en día, se tienen instaladas 1551 subestaciones de distribución, con una capacidad de conversión de energía de 41,035 MVAs y niveles de tensión máximos de 115 kV.
- ◆ Transformadores de distribución: se tienen en operación un total de 991,104 unidades, con una capacidad de 32,458 MVAs y niveles de tensión que van de los 13.2 hasta los 34.5 kV.

### I.3.3 Transmisión

Para transferir la energía de las centrales generadoras hasta las subestaciones de distribución, es necesario utilizar las llamadas líneas de transmisión. En esta etapa del sistema es donde se maneja la mayor cantidad de potencia. En nuestro país, la transmisión se realiza principalmente en los niveles de 115, 230 y 400 kV. A la fecha se cuenta con 46,688 km de este tipo de líneas en 400 y 150 kV.

En México las líneas de transmisión operan en tensiones de hasta 400 kV y son comúnmente montadas en estructuras metálicas de hasta 40 metros de altura. Las líneas de transmisión terminan cuando llegan a las subestaciones transformadoras reductoras, las cuales, transfieren la potencia a las líneas de distribución del circuito primario del subsistema de distribución.

La transmisión de energía eléctrica es más eficiente cuando se transmite a subestaciones de transformación ubicadas en las inmediaciones de los centros de consumo; pero cuando la zona por alimentar es amplia y alejada de la subestación transformadora, es conveniente alimentar otras subestaciones que se encuentren más cerca de los diversos centros de carga. Para lograr esto se utilizan líneas de subtransmisión, que actualmente hacen un total de 46,633 km operando en el rango de los 69 y 138 kV, que van de la subestación de alimentación hasta la carga. En México la subtransmisión se realiza principalmente en las siguientes tensiones: 138, 115, 85 y 69 kV.



### I.3.4 Distribución

Una vez transportada la energía hasta la subestación reductora de distribución, este sistema se encarga de repartirla en los niveles adecuados para su uso, que generalmente en la república mexicana va de los 34,5 a los 13,2 kV en circuitos primarios y de 240/120 y 220/127 en los circuitos secundarios.

### I.4 EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN COMO COMPONENTE DEL SEP

El sistema de distribución tiene como objetivo fundamental lograr que todos y cada uno de los usuarios reciban el suministro correcto de energía eléctrica para satisfacer sus necesidades. Por esta razón, todo el SEP puede ser considerado como un gran sistema de distribución.

Es importante mencionar que la calidad de la energía eléctrica y su continuidad están en función del diseño adecuado de cada uno de los subsistemas del SEP y especialmente de cada uno de los elementos del subsistema de distribución.

En la figura I.3 se muestra esquemáticamente un sistema de distribución, en el que se representan sus principales componentes:

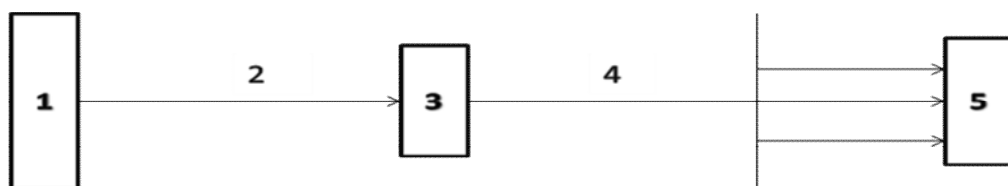


Figura I.3 Representación en bloques de un sistema de distribución.



En donde:

- 1) Subestación de distribución.
- 2) Circuito primario.
- 3) Transformador de distribución.
- 4) Circuito secundario.
- 5) Acometida y medidores.

#### 1.4.1 Clasificación

Los sistemas de distribución subterráneos se clasifican de acuerdo a los criterios que se resumen en la tabla I.3.

Por lo que respecta a la clasificación por número de fases y niveles de tensión, la asociación de normatividad del sector eléctrico divide estos aspectos en dos categorías, las cuales se citan a continuación:

- A) Distribución en media tensión, es decir, de 34,5 a 13,2 kV
- B) Distribución en baja tensión, menos de 1000 V

#### 1.4.2 Elementos de Diseño de un Sistema de Distribución

Como se conoce, la continuidad en el servicio y el aspecto económico son los principales factores a considerar en el diseño de una red de distribución. Sin embargo, mediante un estudio técnico-económico y un análisis de los requerimientos de continuidad de la carga, es posible diseñar un sistema que satisfaga ambos parámetros. Según las experiencias de las diversas compañías suministradoras de energía eléctrica, la eficiencia del sistema se puede mejorar si se aplican las normas nacionales e internacionales que se han emitido para la construcción de redes de distribución. Esta eficiencia, sin embargo no depende exclusivamente del sistema de distribución, sino de la continuidad en todos los subsistemas del SEP debe quedar claro que el aspecto financiero es uno de los factores de mayor consideración para el adecuado diseño y selección del sistema de distribución.



Tabla I.3 Clasificación de los Sistemas de Distribución Subterráneos<sup>3</sup>.

Criterios	Tipo
Construcción de la red	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subterránea</li> <li>• Híbrida</li> </ul>
Utilización	Distribución: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrial</li> <li>• Comercial</li> <li>• Residencial</li> </ul>
Nivel de Tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Media Tensión (MT)</li> <li>• Baja Tensión (BT)</li> </ul>
Numero de fases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monofásico</li> <li>• Trifásico</li> </ul>
Estructura de la red	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radial</li> <li>• Anillo</li> <li>• Doble derivación</li> <li>• Automática</li> </ul>

#### 1.4.3 Requerimientos Técnicos y Calidad de Servicio

Existen diversos requerimientos técnicos a tomar en cuenta para el correcto diseño de un sistema de distribución, entre los que destacan:

##### A) Carga

Para el diseño de un sistema de distribución, la carga representa un factor determinante, toda vez que depende de la continuidad del servicio, la estructura de la red, el nivel de la tensión de la red, tipo y calibre del conductor, cantidad y capacidad de los transformadores, dispositivos de protección, entre otros.

<sup>3</sup> NORMA DE DISTRIBUCIÓN CONSTRUCCIÓN REDES SUBTERRÁNEAS 2005





Se entiende como carga, a todos los elementos del sistema que representan una cantidad de potencia por satisfacer, su clasificación se basa, principalmente, en los siguientes criterios:

- Localización geográfica  
(rurales y urbanas)
- Tipo de utilización de la energía  
(residencial, comercial, industrial, cargas de servicio público hospitales, alumbrado, sistema de bombeo, etc.)
- Dependientes del servicio  
Sensibles: cuando una desconexión momentánea causa problemas graves.  
Semisensible: donde una interrupción con mayor a 10 minutos no causa problemas graves.  
Normales: cuando una interrupción mayor de una hora no causa problemas graves.
- Tarifa  
La aplicación de la tarifa del servicio eléctrico depende de la compañía suministradora en nuestro país. En la tabla I.4 se presenta el criterio establecido en la república mexicana para el cobro de la energía eléctrica, dependiendo del tipo de carga.

## B) Continuidad

La continuidad nos define la eficiencia del circuito para alimentar una carga sin sufrir interrupciones. Esto es muy importante, principalmente porque una suspensión parcial significa enormes pérdidas económicas, especialmente si la falla ocurre en la línea de transmisión.

En este sentido, el principal objetivo de la política tarifaria es la de recuperar la relación precio/costo a niveles que permitan el sano crecimiento de las empresas y generar los recursos suficientes para financiar los programas de inversión.

Las tarifas eléctricas de uso general se establecen con base en una estructura de 7 categorías para uso domestico y 2 para uso comercial de un total de 34 categorías, de acuerdo a criterios tales como energía demandada, tensión, temperatura, uso, tipo y garantía de servicio.



Tabla I.4 Tarifas para el suministro<sup>4</sup>.

Servicio doméstico	
1	A medidor y cuota fija
1a	P/loc. C/temperatura med/ mínima en verano 25° c.
1b	P/loc. C/temperatura med/ mínima en verano 28° c.
1c	P/loc. C/temperatura med/ mínima en verano 30° c.
1d	P/loc. C/temperatura med/ mínima en verano 31° c.
1e	P/loc. C/temperatura med/ mínima en verano 32° c
1f	P/loc. C/temperatura med/ mínima en verano 33° c
dac	Servicio domestico de alto consumo
Servicio comercial	
2	General hasta 25 kW de demanda
3	General para más de 25 kW de demanda

### C) Estructura de la Red Primaria

Se ha demostrado que el tipo de red del circuito primario y del secundario, influyen directamente en la continuidad del servicio, por lo que en la etapa del diseño es de suma importancia estimar el grado de continuidad deseado por el consumidor y el tipo de red que satisfaga este requisito. Según experiencias y practicas internacionales, el grado de continuidad de un sistema de distribución subterráneo, es directamente proporcional al tipo de configuración que se utiliza en la red, la cual puede ir de la más confiable a la menos confiable y puede clasificarse en: red automática, alimentación selectiva, anillo y radial. En la

<sup>4</sup> <http://www.energia.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=114>



actualidad, la estructura del sistema se proyecta para operar en anillo con un punto intermedio normalmente abierto.

#### D) Tensión Primaria y Secundaria

En la república mexicana, las tensiones más comunes y el tipo de sistema que utiliza, se presenta en las tablas I.5 y I.6 respectivamente.

Tabla I.5 Tensiones de distribución<sup>5</sup>.

Preferente (kV)	Congelada (kV)
.120	4.4
.127	6.0
.220	6.9
.240	11.8
13.2	20
23	44
34.5	60

Tabla I.6 Tensiones nominales preferentes de distribución<sup>6</sup>.

Tensión nominal (V)	Tipo de sistema
120/240	1fase 2hilos
240/120	3fases 4hilos
220/127	3fases 4hilos
13 200	3fases 3 ó 4hilos
23 000	3fases 3 ó 4hilos
34 500	3fases 3 ó 4hilos

<sup>5</sup> NMX-J-098-ANCE-1999

<sup>6</sup> ESPECIFICACIÓN CFE-L0000-02



### E) Control de la Frecuencia y Caída de Tensión

Este parámetro se refiere principalmente a la magnitud permisible de variación de frecuencia y tensión en todo el sistema.

Es conocido que la frecuencia en un circuito debe permanecer constante en cualquier parte del mismo para evitar daños en los diferentes aparatos eléctricos, ya que estos están diseñados para trabajar a una frecuencia determinada. En nuestro país la frecuencia de la energía suministrada es de 60 Hz.

Con base en lo anterior, resulta importante mencionar que la caída de tensión total en un sistema de distribución no debe sobrepasar de  $\pm 10\%$ , correspondiendo 5% a la red primaria, 2% a la red secundaria, 1% a la acometida y 2% a los transformadores.



## **CAPITULO II. PARTES CONSTITUTIVAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (DISEÑO, EQUIPO Y MATERIALES)**

### II.1 GENERALIDADES

En nuestro país la convivencia con redes de distribución subterránea inicio en el año de 1974 cuando se realizó la primera norma de distribución subterránea, la cual sufrió su primera modificación y actualización 18 años después. Sin embargo, las condiciones económicas del país no permitían aun su expansión debido a que los materiales utilizados eran de importación.

En 1997 sufre su segunda actualización, en donde ya se empezaban a respirar alternativas de construcción de estos sistemas. Pero no fue hasta el 2001, cuando se realiza el primer congreso de especialistas en sistemas de distribución subterráneos, en el que se dieron a conocer los avances tecnológicos que permitieron abaratar, en comparación con los sistemas aéreos, su construcción y se observo que los beneficios principales que ofrecen son:

- Mayor continuidad
- Mejor apariencia
- Mayor seguridad
- Armonía con el entorno
- Incrementa la plusvalía de su propiedad
- No se afecta la ecología
- No son afectadas por huracanes
- Embellecen los lugares donde se instalan

Lo que propició que un año después, surgiera la nueva edición de la norma de distribución subterránea.

Estadísticas recientes de Comisión Federal de Electricidad demuestran que la construcción de este tipo de sistemas ha aumentado gradualmente, debido principalmente a que se han logrado bajar los costos de obra civil y electromecánica de estos sistemas.



Este capítulo basa su contenido en la presentación de los diversos aspectos de diseño de un típico sistema de distribución subterráneo, así como de los elementos que los constituyen, proporcionando la información y los criterios necesarios que pueden ser utilizados en la construcción de dicho sistema, en los lugares requeridos en nuestro país.

## II.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEOS

Para los sistemas de distribución, se toman en cuenta parámetros para lograr un diseño adecuado, dependiendo de la evaluación que se haga de la confiabilidad y costo del sistema.

Aunque el aspecto económico de los sistemas de distribución subterráneos es mayor que el de los aéreos, se ha demostrado que estos proporcionan una mayor seguridad contra accidentes y una mayor continuidad de servicio (entre otros); dado que evitan muchas de las causas que propician interrupciones en los sistemas de distribución aérea, tales como: contaminación de los aisladores, ramas sobre las líneas, descargas atmosféricas, vandalismos, accidentes diversos y corrosión de partes expuestas al medio ambiente.

Los factores que se consideran con carácter de importantes en el diseño de un sistema de distribución son tres, principalmente: la tensión, la capacidad y la configuración del sistema.

### II.2.1 Tensión del Sistema

La selección de la tensión es regida por varios factores. En general, para una caída de tensión determinada, a mayor tensión, mayor es la energía eléctrica entregada. De otro modo, para una cantidad determinada de energía distribuida, cuanto mayor sea la tensión, menor será el tamaño de los conductores eléctricos requeridos.

Los parámetros a tener en cuenta cuando se selecciona una tensión son los siguientes:

- Magnitud de la carga.
- La distancia sobre la cual se conducirá la energía eléctrica.



- La disponibilidad del equipo o dispositivo en función.
- Los regímenes y limitaciones de la tensión.
- La seguridad.
- Los códigos, normas y reglamentos.

#### A) Baja Tensión

La tensión entregado al usuario por la compañía suministradora de energía eléctrica, podemos decir que está definido a nivel nacional en función de los equipos y aparatos eléctricos que normalmente se utilizan, como son: radios, refrigeradores, planchas, lavadoras, etc., siendo estas tensiones las siguientes:

- Monofásicos 127 V (fase a neutro)  
240 V (fase a fase)
- Trifásicos 220 V (fase a fase)

Estas tensiones corresponden a valores normalizados.

#### B) Madia Tensión

Lo más apropiado para un sistema de distribución es ir a tensiones altas, argumentándose principalmente las razones siguientes:

- En sistemas con alta densidad de carga, el congestionamiento de alimentadores hace difícil su instalación, operación y mantenimiento.
- Las bajas tensiones requieren un mayor número de subestaciones y alimentadores para una zona determinada.
- A mayores tensiones se obtiene una mejor regulación y menores pérdidas para una misma longitud de alimentadores y sección del conductor.
- Existe limitación física en instalaciones actuales para acomodar el crecimiento futuro de los sistemas con las tensiones utilizadas.



- En general, a tensiones mayores pueden cubrirse mayores áreas y distancias en forma más económica y con mejor calidad de servicio.
- Los alimentadores tienen más capacidad a mayores tensiones.

Las tensiones de distribución normalizadas actualmente en la república mexicana son de 13.2, 24 y 34.5 kV, habiéndose seleccionado en función de lo que a continuación se menciona:

En muchas ciudades y zonas rurales del país, la tensión de 13.2 kV, según estudios realizados, es la más económica y al mismo tiempo resulta adecuada para cubrir sus crecimientos de carga por un largo tiempo.

En cambio en zonas de alta densidad de carga y de rápido crecimiento, los estudios realizados al respecto indican que para estos casos una tensión del orden de 23 kV es lo más conveniente.

La adopción de 13.2 y 23 kV se hizo tomando en cuenta la gran proporción de equipos existentes en el mercado para sistemas de distribución subterráneos operan a estas tensiones.

## II.2.2 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 el factor de coincidencia, cada división de distribución determinará cuales son las aplicables en sus zonas, y proporcionará esta información en las bases de proyecto para cada desarrollo en particular.

### A) Zonas Comerciales

En las zonas comerciales, los valores más importantes a considerar son la densidad de carga y la continuidad.





Dentro de las zonas comerciales se consideran 3 tipos de densidad de carga, que son:

- Densidad de carga baja 5 a 10 MVAs / km<sup>2</sup>
- Densidad de carga media 10 a 20 MVAs / km<sup>2</sup>
- Densidad de carga alta mas de 20 MVAs / km<sup>2</sup>

Se considera como zona comercial de alta densidad de carga, aquella que presenta un alto grado de comercialización, es decir, donde la gran densidad de carga obliga a cambiar el sistema aéreo por subterráneo, ya que este ofrece mayor continuidad y mejora la estética de la ciudad.

#### B) Zonas Residenciales

La tendencia en el uso de distribución subterránea en zonas residenciales, se debe principalmente a factores estéticos, operacionalmente se han considerado los siguientes criterios en cuanto a la densidad de carga:

- Fraccionamientos: hasta 5 MVAs / km<sup>2</sup>
- Conjuntos habitacionales:
  - baja densidad de carga de 5 a 10 MVAs / km<sup>2</sup>
  - alta densidad de carga de 10 a 15 MVAs / km<sup>2</sup>

#### C) Zonas Turísticas

Según estadísticas de la secretaria de turismo, en los últimos años se ha incrementado el desarrollo en este sector, dando lugar a complejos turísticos como Cancún, Ixtapa, Huatulco y Acapulco entre otros.

Por lo anterior, la planeación y el desarrollo de estos lugares incluyen áreas específicas para construcción de hoteles y centros comerciales. Esta situación ha generado la necesidad de instalar preferentemente sistemas subterráneos de distribución para garantizar la continuidad en el servicio y la solución a los problemas de contaminación salina.



## D) Zonas Industriales

Las densidades de carga para áreas industriales, varían grandemente en función de la magnitud de los parques industriales, por lo que no se le considera un rango específico de carga.

### II.2.3 Determinación de las Cargas

Fundamentalmente, es necesario determinar la magnitud de las cargas, para dos tipos de problemas:

#### II.2.3.1 Sistemas Nuevos

##### A) Cargas tipo residencial

Se consideran tres estratos socioeconómicos: interés social (FOVISSTE, etc.), clase media y clase alta.

Generalmente se seleccionan como mínimo cinco áreas saturadas urbanística y eléctrica mente de cada estrato socioeconómico cuando menos con 5 años en operación

En temporada de alto consumo se obtiene la demanda máxima de cada una de las áreas y se cuenta el número de usuarios conectados, obteniendo la demanda máxima diversificada coincidente por usuario.

Se obtiene la raíz cuadrada media de la demanda máxima diversificada por usuario, para cada tipo de usuarios. El valor obtenido es la demanda máxima diversificada coincidente por usuario.

Cada tipo de estrato socioeconómico tiene sus propias características, para calcular capacidades de los transformadores y secciones transversales de los conductores de baja tensión.



## B) Cargas tipo comercial

Se deben seleccionar como mínimo 5 desarrollos de cada tipo (centros comerciales, hoteles, etc.), saturados urbanística y eléctricamente, cuando menos con 5 años en operación.

En temporada de alto consumo se obtiene la demanda máxima de cada uno de los desarrollos y se divide entre su correspondiente superficie construida, obteniéndose de esta forma la densidad máxima coincidente por desarrollo.

Se obtiene la raíz cuadrada media de la densidad máxima coincidente por desarrollo, para cada tipo.

El valor obtenido es la densidad máxima diversificada coincidente por tipo de desarrollo y es la que deberá utilizarse para calcular capacidades de transformadores y secciones transversales de los conductores de baja tensión.

### II.2.3.2 Sistemas Existentes

De manera general, estos son los pasos para determinar la capacidad de los transformadores en una zona a remodelar:

- Definir el área a remodelar.
- Identificar los transformadores que alimentan los servicios del área a remodelar.
- Instalar aparatos de medición en la baja tensión, de los transformadores definidos en el punto anterior, por un periodo de 15 días en temporada de máxima carga con equipos que cuenten con perfil de carga.
- Simultáneamente a la medición se debe obtener:
  - Censo de medidores instalados en el área a remodelar.
  - Consumos promedio en kW/h por usuario de los registros del área comercial y basándose en el censo realizado.



- Consumos promedios por usuario.
- Sumar las demandas por usuario calculadas y comparar con la demanda obtenida en la medición realizada en los transformadores, observando que la suma contenga los usuarios correspondientes a cada transformador que lo alimenta.
- Determinar la capacidad de los nuevos transformadores de acuerdo a la demanda de los servicios por alimentar, considerando la demanda calculada por usuario.
- Se recomienda un factor de utilización unitario para seleccionar la capacidad del transformador
- Realizar una corrida de flujos de la nueva red secundaria para el evaluar los rangos de regulación observando que estos no sobrepasen los límites preestablecidos

#### II.2.4 Demandas Máximas

Cuando el desarrollo se proyecte con un solo ramal monofásico y con el propósito de no desbalancear el circuito, la máxima demanda será 180 kVA en 13.2 kV, 300 kVA en 23 kV y 500 kVA en 34.5 kV.

La máxima carga monofásica a alimentar por lote es 100 kVA.

Las demandas superiores a 10 kW pueden suministrarse en media tensión.

#### II.2.5 Configuración del Sistema

Además de la carga, el nivel de tensión en el sistema primario y en el secundario, la regulación de la frecuencia y la topología de la red primaria y secundaria, constituyen los elementos más comunes para el diseño de los sistemas de distribución subterráneos, existen además diversos elementos del sistema eléctrico subterráneo que son importantes para un buen diseño.

De acuerdo a prácticas internacionales y experiencias de tipo nacional, los sistemas de distribución se pueden diseñar a través de configuraciones diversas, tanto para el primario como para el secundario.



Actualmente los sistemas que operan preferentemente en una red subterránea en nuestro país son dos: las configuraciones radiales y en anillo, mismas que se describen brevemente a continuación.

#### II.2.4.1 Radial

Este tipo de configuración es muy utilizada para alimentadores aéreos reducidos con cargas superiores a 100 kW. La razón de ello obedece a que esta estructura ofrece gran economía por sus alimentadores cortos como se muestra en la figura II.1.

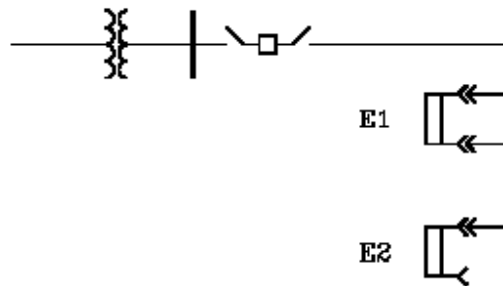


Figura II.1 Configuración radial.

#### II.2.4.2 Anillo

Este arreglo se construye con dos alimentadores radiales derivados de la subestación de distribución; de esta manera, los transformadores de distribución quedan alimentados por dos alimentadores primarios como se ve en la figura II.2.

Para el uso de este tipo de estructura y de acuerdo con las practicas y experiencias, se recomienda su aplicación en zonas con densidad de carga entre 5 y 15 kW / km<sup>2</sup> y en zonas donde el factor de crecimiento de carga es muy pequeño.

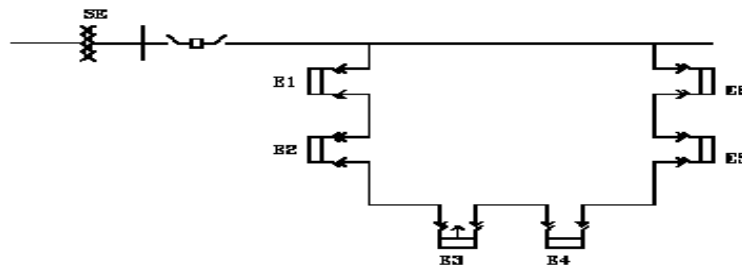


Figura II.2 Configuración en anillo.

### II.3 CRITERIOS DE DISEÑO Y PRÁCTICAS ACTUALES DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA EN EL TERRITORIO NACIONAL.

Los criterios de estas compañías establecen que en zonas con densidad de carga mínima (12,000 kVA/km<sup>2</sup>) que presenten severos problemas de contaminación y en zonas donde existan problemas de huracanes, es necesario hacer la conversión ó la construcción de sistemas subterráneos de distribución.

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

#### II.3.1 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 o 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), aunque también se utiliza el etileno propileno (EP ó EPR) con cubierta de policloruro de vinilo (PVC).

Tabla II.1 Sección transversal de conductores.

Sección Transversal mm <sup>2</sup>		Conductor
53,5	(1/0 AWG)	Aluminio
85,0	(3/0 AWG)	Aluminio
253,4	(500 kcmil)	Aluminio o cobre
380,0	(750 kcmil)	Aluminio o cobre
506.7	(1000 kcmil)	Aluminio o cobre

- Con relación al alojamiento de los cables primarios, éstos se instalan en ductos hechos de cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PAD) ideal para condiciones climatológicas adversas como son: alta contaminación, en 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.
- Los transformadores utilizados son los que se indican en el punto II.7.

### II.3.2 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 600 V.
- El cable secundario es del tipo triplex para el sistema monofásico y cuádruplex para el trifásico, con aislamiento de XLP en los calibres :



Tabla II.2 Sección transversal y configuración de conductores.

Sección Transversal mm <sup>2</sup>		Conductores
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	(3/0AWG)	Triplex y cuádruplex
177,3	(350 kcmil)	Triplex y cuádruplex

### II.3.3. Banco de Ductos

#### Sistema de canalización

La canalización de los conductores se encuentra dentro de los ductos como se muestra en la figura II.3. De esta manera se ofrece protección contra posibles excavaciones. Cuando se sumergen varios ductos en una construcción de cemento se denomina banco de ductos.

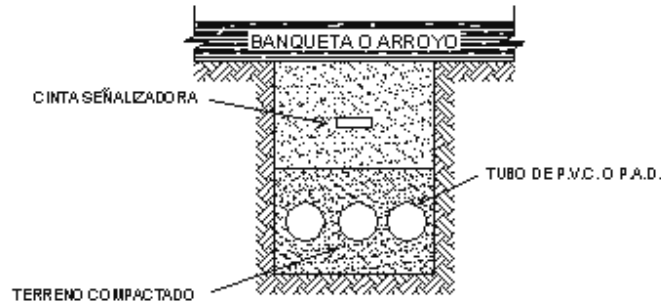


Figura II.3 Canalización en ductos.

- 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.





## II.4 PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRECCIONAL

Actualmente la más moderna tecnología para la instalación de ductos y tuberías es el sistema de perforación horizontal direccional. Este sistema ofrece todas las ventajas que las obras subterráneas necesitan: rapidez, limpieza y seguridad, sin causar un impacto ambiental y sin interrumpir el tráfico vehicular y peatonal.



Para la práctica de este tipo de sistemas, se deben conocer los siguientes temas:

### II.4.1 Condiciones de Terreno

El tipo de suelo se puede clasificar en dos categorías generales: materiales gruesos y finos. Los suelos gruesos consisten en arenas y gravas, los finos son 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 y a la sonda direccional, permitir la lubricación adecuada en el proceso de inmersión de los ductos y estabilizar los túneles impidiendo que se derrumben. El principal componente de un fluido de perforación es el agua, pero en raras veces se puede utilizar el agua sola para perforar. En el mercado existen numerosos productos que adicionados al agua optimizan su funcionamiento, el uso de estos aditivos dependen de las condiciones del terreno.

### II.4.2 Fluidos de Perforación

La Bentonita es un silicato de aluminio formada por la actividad volcánica desde hace 60 millones de años. Cuando al agua se le agrega la Bentonita; se quiebra en partículas microscópicas llamadas platelets. Cuando esta se utiliza para perforación, los platelets tienen



un efecto de sellado que estabiliza las paredes del túnel, impidiendo con esta barrera que el fluido se escape. Para asegurar una mezcla adecuada, la Bentonita debe mezclarse con agua limpia, con un PH de 8.5-9.5.

#### II.4.3 Aditivos para Fluidos de Perforación

Polímero es el nombre que describe a numerosos compuestos orgánicos y sintéticos de gran peso molecular que tiene la característica de formar cadenas estructurales muy ligeras, que permiten una mayor fuerza de adhesión entre las moléculas del fluido. Los Polímeros son usados en perforación por la habilidad de impedir que las arcillas se esponjen y se hagan mucilaginosas, además de impedir la fricción actuando como lubricante.

#### II.4.4 Perforación

El proceso de perforación se logra maniobrando una cabeza de perforación con una herramienta de corte en la punta que puede direccionarse en cualquier sentido. El ángulo de perforación y la profundidad se captan electrónicamente en la superficie y las provee una sonda alojada dentro de la cabeza. Para perforar, la cabeza gira desbastando el terreno, utilizando un fluido de perforación adecuado para enfriar y lubricar la cabeza.

#### II.4.5 Ampliación en Retroceso

El proceso de ampliado en retroceso, mejor conocido como jalado, está determinado por la habilidad de escoger el ampliador adecuado y la cantidad de fluido que cree un lodo que se pueda desplazar hasta la apertura de entrada. Este proceso es crítico y determina el rendimiento de la máquina. No solamente es necesario usar los fluidos apropiados, también es importante determinar la cantidad de fluido. Para crear un lodo favorable, se requiere tener una relación mínima del 50/50 de fluidos contra sólidos desplazados. Es importante no apresurar el proceso de jalado ya que la ampliación necesita tiempo para forjar el túnel y crear una mezcla adecuada de lodos. La capacidad del tanque de lodos de la máquina, la potencia, el tipo de terreno y el diámetro del túnel determinan la velocidad de jalado.



#### II.4.6 Tapón de Lodo (hidra-look)

Es una condición indeseada que se crea durante el jalado, cuando el lodo no puede ser bombeado dentro del túnel por la pobre mezcla del mismo. El Tapón de Lodo (Hidra Look) no permite pasar en la entrada, sin una ruta de escape el fluido dentro del hoyo. Se presuriza y actúa como un cilindro hidráulico, la presión impide que los tubos se muevan mientras que el fluido no encuentre una salida.

#### II.4.7 Rendimientos

El proceso de perforación es complicado, para calcular los rendimientos de las variables que intervienen en el proceso, se deben considerar las condiciones del terreno, el tipo de trabajo, la potencia de la máquina perforadora y la experiencia del personal que la opera. Para optimizar el proceso debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Usar el apropiado tipo y cantidad de fluido de perforación para las condiciones del suelo encontradas.
2. En el proceso de ampliación, la velocidad de jalado no debe sobrepasar a la velocidad con la que el lodo abandona el túnel.
3. Usar un tamaño adecuado de ampliador. El ampliador debe ser mayor que el diámetro del haz de tubos, pero no demasiado; una regla es usar un ampliador entre 1.3 a 1.5 veces el tamaño de los tubos.

#### II.4.8 Descripción

El trabajo consiste en instalar tubos de PAD (HDPE RD 11 a 13.5) utilizando un sistema de Perforación Horizontal de túneles subterráneos, dirigido electrónicamente capaz de acertar sobre un blanco de 40 cm de diámetro, a distancias señaladas en proyecto, medidas a partir del punto de inicio. El sistema debe realizar la instalación de los tubos mientras el rompimiento de la capa de terreno se reduce al mínimo, la herramienta barrenadora debe ser electrónicamente rastreable y dirigible, capaz de evitar cualquier obstáculo subterráneo y servicios existentes en su ruta. Debe girar en un radio aproximadamente de 20 metros y debe ser detectable a una profundidad de hasta 5 metros. El sistema debe utilizar una mezcla de bentonita-polímero-agua de acuerdo a las características del terreno, emitida a



través de un surtidor de diámetro pequeño con una presión que permita trabajar en la masa del terreno, estabilizar la pared del túnel y lubricar los tubos que estén instalados.

Los vacíos o bolsas de aire generados durante el proceso de la masa del subsuelo deben ser mínimos sin repercusiones en la superficie.

#### II.4.9 Procedimiento

##### A) Condiciones 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, donde por condiciones de congestamiento vehicular y peatonal, de concentración de comercios, servicios y otros o donde la CFE lo decida, los trabajos deben realizarse en horario nocturno para evitar trastornos mayores a estas actividades y servicios.

Las señalizaciones deben proteger el lugar de trabajo y consisten en: cintas, barreras, boyas, luces fijas e intermitentes, letreros e indicaciones gráficas. Antes del inicio de perforación de cada tramo el contratista debe verificar en cada domicilio la continuidad del servicio del agua potable y descarga del, drenaje y al final de la instalación del ducto de cada tramo debe verificar la continuidad de estos servicios y en su caso proceder a la reparación inmediata. El contratista debe tener personal capacitado para dar cumplimiento a lo anterior.

##### B) Condiciones del suelo y subsuelo.

Con la información disponible de las dependencias que tienen instalaciones subterráneas (teléfonos, agua potable, 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 entregados, con pruebas físicas y de detección electrónica o de sondeos en puntos donde coincidan con la ubicación de registros o como última alternativa en cualquier otro punto (o cualquier combinación) con el objeto de evitar daños a los mismos, esta actividad incluye la detección de:

Servicios subterráneos:

1. Drenaje pluvial.
2. Líneas eléctricas.



3. Líneas principales de agua.
4. Alcantarillado y sistemas sépticos.
5. Tuberías de gas.
6. Líneas telefónicas.
7. Líneas de televisión por cable.
8. Pozos.
9. Otras instalaciones, Servicios aéreos y otras construcciones tales como:
  - Postes eléctricos y telefónicos.
  - Cimentaciones y edificios.
  - Árboles.
  - Señalamientos.
  - Mobiliario urbano.

C) Equipos y ejecución.

Los trabajos para la elaboración de las excavaciones inicial y final de cada tramo deben de ser hechos por el contratista de acuerdo con el proyecto o las indicaciones de la supervisión. Los trabajos adicionales que el constructor requiera por las condiciones de trabajo, daños a instalaciones y/o su proceso constructivo los hará por su cuenta, en el entendimiento que debe dejar la superficie en la condición original, el contratista debe proceder a las reposiciones de banquetas y pavimentos por daños ocasionados por las siguientes actividades:

1. Anclaje de máquina de perforación.
2. Reparaciones de agua potable, drenaje o a otras instalaciones.
3. Ruptura por proceso de perforación.
4. Por comienzo de perforación fuera de las excavaciones iniciales.



En todos los casos de reposición y/o elaboración de concreto, se evitará la obstrucción de accesos y banquetas, se recogerá cualquier excedente y se barrera al final de la jornada. En los casos de pisos de canteras, adocreto o similares además de lo anterior se sustituirán las piezas dañadas por sus equivalentes.

El sistema debe ser remotamente dirigible y permitir monitoreo electrónico de la profundidad del túnel y su localización, además de ser capaz de controlar la profundidad y la dirección y dar con exactitud a una ventana de 40 cm.

Los tubos se instalarán a una profundidad media de 65 cm para la baja tensión y 100 cm para la media tensión. El rango en el sentido vertical será de 50 a 90 cm en baja tensión y de 90 a 150 cm para la media tensión. Estos rangos deben respetarse aún en los tramos donde se instalarán tubos para media y baja tensión.

En el sentido longitudinal los rangos son: para la baja tensión el ancho de la banqueta (para poder interceptar la trayectoria con los registros de acometida) y para la media tensión también el ancho de banquetas donde lo indique el proyecto. En donde la banqueta ya tenga instalaciones existentes de otras entidades, la perforación se direccionará por el arroyo y los registros que se instalen en arroyo deben cumplir con las especificaciones que las compañías suministradores para este tipo de instalaciones. Las trayectorias deben tener las pendientes adecuadas para permitir el drenaje a cualquiera de los registros aledaños.

Se debe señalar con marcas de pintura deleble la trayectoria y proporcionará a la compañía suministradora un plano y un reporte con los datos sobre la profundidad y trayectoria, cada 6 metros.

Cuando se realicen trabajos cerca de instalaciones energizadas, deben considerarse los accesorios capaces de detectar corriente y/o potencial eléctrico para avisar al operador cuando la cabeza o amplificador del perforador se acerquen a cables eléctricos.

Es importante que para los empalmes se hagan a través de Termofusión (la unión de tubos a través de fusión y calor) y Electrofusión (la unión de tubos en ventanas) además de quitar el labio interno en la unión de tubos.



El equipo que es obligatorio portar: casco, botas duras o de hule, impermeables, guantes, mascarillas, caretas y el equipo especial para evitar un shock eléctrico en los operadores del equipo perforador.

Debe existir señalización para seguridad contra terceros, colocando las señales en sitios visibles y de buen tamaño, con colores llamativos y letras visibles a distancia adecuada, tanto para peatones como vehículos, ya sea para circulación o para indicar áreas de peligro. Esta señalización debe ser visible y de color especial en cada área de trabajo.

## II.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN CABLE (MATERIALES)

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 dadas sus ventajas para conducir este recurso energético. En este punto veremos las partes que componen a este elemento tan importante dentro de la distribución subterránea:

Un cable para distribución subterránea está compuesto por 6 capas diferentes, mismas que se muestran en la figura II.4:

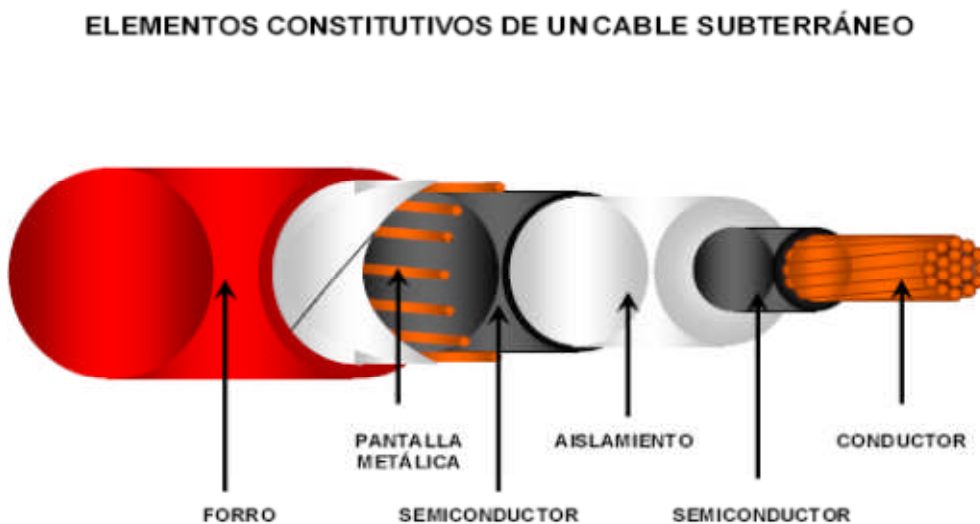


Figura II.4 Partes componentes de un cable subterráneo.



### II.5.1 Conductor

Para el diseño y selección de un cable, el primer factor que debe considerarse es el material con el que se fabricará el conductor. Entre los materiales que son buenos conductores de la electricidad están el cobre y el aluminio.

Aún cuando el oro y la plata tienen las mejores características de conductividad, quedan descartados de las instalaciones de potencia, por su alto precio y relativa escasez, sin embargo, se les utiliza en circuitos electrónicos de alta precisión. El cobre y el aluminio son en la actualidad los materiales de mayor uso en la producción de cables de potencia.

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
- Ductilidad
- Adaptable a todo tipo de conductor desnudo o aislado

Una de las características de un conductor, es su configuración, la cual está en función del uso y se fabrica en alguna de las siguientes formas:

- Alambre
- Concéntrico (circular o normal)
- Circular (compacto o redondo)
- Sectoral
- Anular
- Segmental





### II.5.2 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.

### II.5.3 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 pueden degradar el aislamiento rápidamente hasta el punto en que este falle.

La elección del aislamiento va a depender de muchos factores, como el de la tensión de operación, corriente de carga, temperatura ambiente, tipo de instalación, costo de accesorios.

### II.5.4 Cinta Semiconductora Sobre el Aislamiento

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

### II.5.5 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 medio de la pantalla metálica (aterrizada adecuadamente) se obtiene la máxima eficiencia de aislamiento, ya que el campo eléctrico se distribuye uniformemente alrededor



del conductor. Se obtiene una distribución radial simétrica de la tensión en el dieléctrico, evitando concentración de esfuerzos y minimizando la posibilidad de descargas superficiales a lo largo del aislamiento como en el forro, causando una interrupción en el servicio.

#### II.5.6 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, etc., así como de los agentes químicos como alkalis, grasas, hidrocarburos, solventes o atmósferas corrosivas.

#### II.6 ACCESORIOS DE CABLES SUBTERRÁNEOS (MATERIALES)

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. Las siguientes figuras<sup>7</sup> II.5 a) y II.5 b) muestran los accesorios que se emplean para 200 y 600 A.

---

<sup>7</sup> NORMAS DE DISTRIBUCIÓN CONSTRUCCIÓN REDES SUBTERRÁNEAS 2005

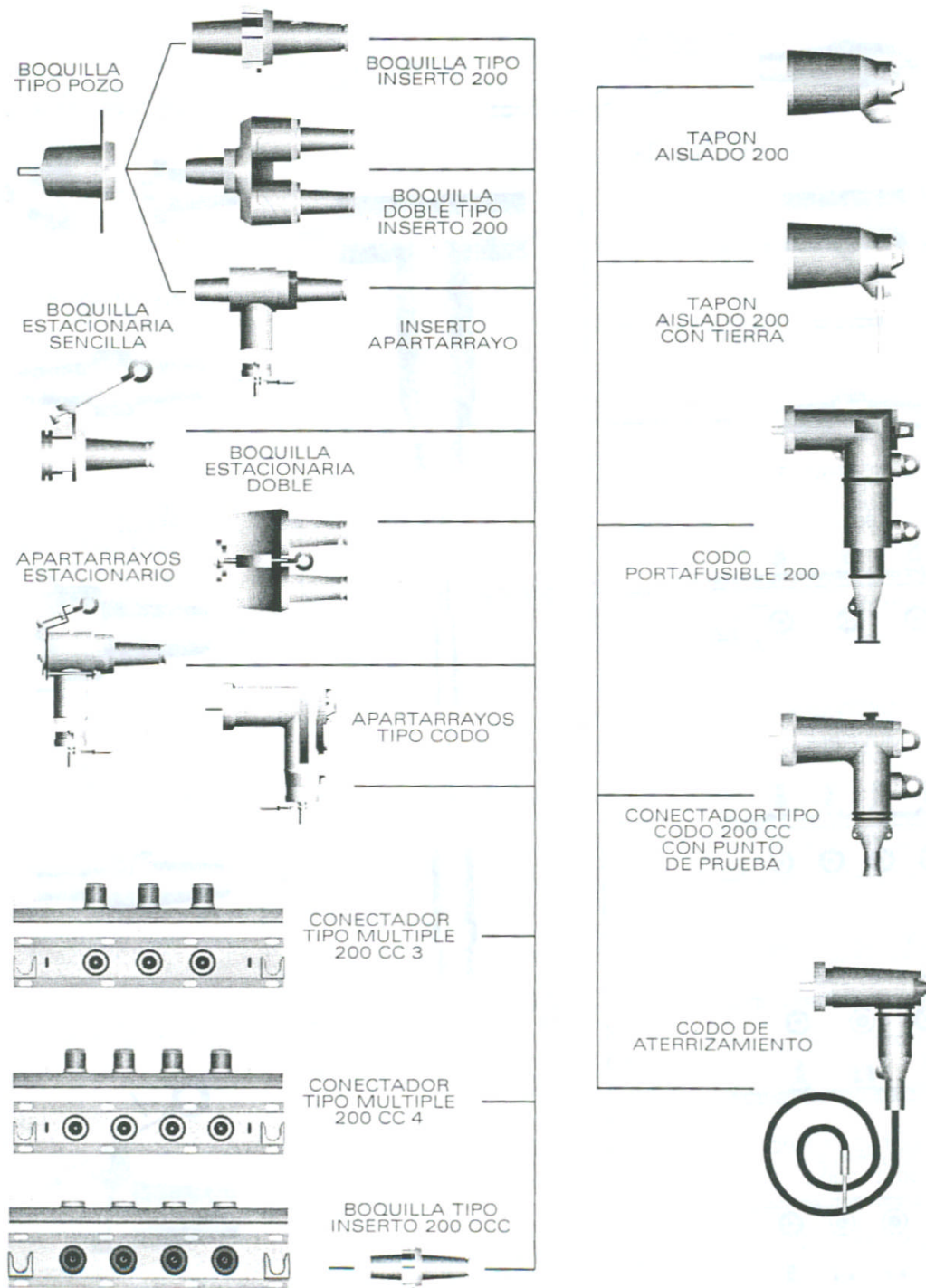


Figura II.5 a) Accesorios que se emplean para 200 A.

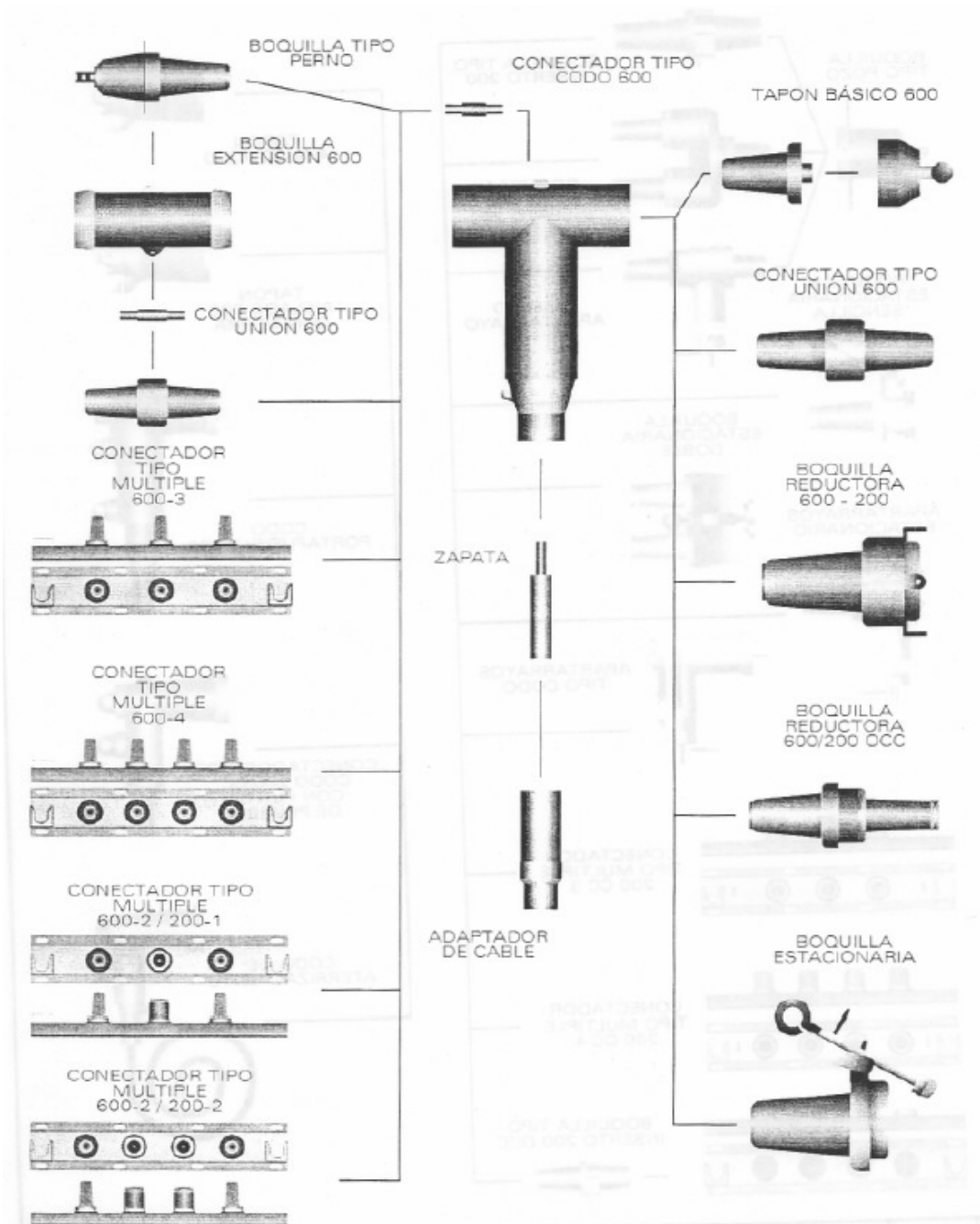


Figura II.5 b) Accesorios que se emplean para 600 A.



## II.6.1 Terminales

Las terminales para cables subterráneos tienen 3 funciones:

- Proporcionar un final al conductor, aislamiento 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.

Cuando los cables se conectan al equipo eléctrico, es necesario remover parte de la pantalla metálica aterrizada para prevenir una descarga eléctrica. Sin embargo, cuando se corta la pantalla, el comportamiento del campo eléctrico ocasiona que las líneas de flujo se concentren en la orilla del mismo. Esto resulta un sobreesfuerzo del aislamiento en este punto.

Como resultado de esta concentración de esfuerzos, el aislamiento en este punto se vuelve débil en el cable y puede ocurrir una falla en el aislamiento. Una forma de reforzar el cable es construir un aislamiento adicional en forma de doble cono, extendiendo la pantalla del cable mediante el uso de una cinta semiconductor. Este dispositivo se llama cono de alivio.

Se mencionan brevemente los tipos de terminales más comúnmente utilizadas en la actualidad.

### II.6.1.1 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.



### II.6.1.2 Premoldeada

Es una terminal prefabricada compuesta de etileno propileno (denominada “slip on”) 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 contaminable.

### II.6.1.3 Termocontráctiles

Los materiales termocontráctiles 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.

Este tipo de terminales se han desarrollado para que su instalación se lleve a cabo con un mínimo de tiempo y habilidad. La característica de este accesorio, es que requiere de la aplicación de calor para poder contraerse y arropar correctamente al cable.

### II.6.2 Empalmes

En la instalación de cables subterráneos es necesario unir frecuentemente dos tramos de cable o 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.



### II.6.2.1 Encintado

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

Teniendo esto en cuenta, y únicamente con el objeto de ilustrar este punto, daremos los pasos generales seguidos en la elaboración de un empalme.

- A) Colocar los cables en posición, y cortarlos cuidadosamente en sus extremos para que empalmen exactamente.
- B) Remover la cubierta, cinta semiconductor y aislamiento en una determinada distancia, usando un cuchillo bien afilado.
- C) Unir los conductores mediante un conector a compresión. Éste es un tubo de metal que da continuidad eléctrica y mecánica.
- D) Limpiar el aislamiento del cable. Se usa generalmente un solvente adecuado (gasolina blanca).
- E) Llenar cualquier pliegue en el conector con cinta semiconductor.
- F) Empezando en el centro del conductor, enrollar cinta aislante en varias capas. La cinta debe estar enrollada en forma apretada para evitar burbujas de aire. El espesor del enrollado debe dar un dieléctrico igual al resto del aislamiento del cable. Esto generalmente requiere de un grueso de 1.5 a 2 veces el espesor del aislamiento normal.
- G) La pantalla se debe llevar a través del empalme y la cubierta se debe restaurar para completarlo con cinta de PVC de alto grado, o de combinación de fibra de vidrio y epoxy.

### II.6.2.2 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
- ◆ Menor posibilidad de error, pues la mano de obra se reduce considerablemente.

Como desventaja se puede mencionar el mayor costo de los materiales, aunque esto se podría compensar con el de la mano de obra calificada requerida en los empalmes encintados.



### II.6.2.3 Termocontráctil

Se aplica principalmente en cables de energía de 15, 25 y 35 kV, de diversos calibres. Construido de hule silicón que se contrae con la presencia de calor. Este tipo de empalme provee un excelente desempeño eléctrico e incorpora un control de esfuerzos en la misma unidad, además de un sello contra agua y alta humedad.

### II.6.2.4 Contráctil en Frío

Usado para empalmar cables de media tensión. Cubre un amplio rango de calibres. Ejerce también por sí mismo, una presión radial en el mencionado cable.

Utilizado en cables de energía de 15, 25 y 35 kV, de diversos calibres, construido de hule silicón, provee un excelente desempeño eléctrico e incorpora un control de esfuerzos en la misma unidad, además de un sello contra agua y alta humedad.

## II.6.3 Conectores (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.

Se destacan los que enseguida se mencionan:

### II.6.3.1 Tipo Codo

Las conexiones entre el transformador y el cable primario (es decir, el cable de alta tensión) se pueden hacer con un conector a compresión tipo codo. La unidad está hecha con material aislante y semiconductor de etileno propileno moldeado. Por las características de los mismos, se clasifican en tres tipos:





#### A) Desconectable con Carga

Su tensión de operación es de 15 ó 25 kV. En su interior tiene un electrodo que hace las veces de conexión y continuidad entre el cable y el equipo eléctrico a conectar.

Este mismo codo presenta una punta aislada que funciona como extintor de arco cuando este accesorio se opera.

Permite operar los equipos a los que conecta, cuando estos se encuentran energizados, con corrientes hasta de 200 A.

La forma de selección está directamente relacionada con el diámetro del cable, su calibre y tensión de operación.

#### B) Desconectable con Carga y Fusible Limitador de Corriente

Este conector tipo codo tiene incorporadas las características del codo desconectable con carga así como un fusible limitador de corriente.

Está diseñado para usarse principalmente en transformadores monofásicos para protegerlos de sobrecargas, así como de corrientes de corto circuito. Esta protección se debe coordinar con los otros elementos existentes en el sistema.

Este fusible limitador de corriente permite elevar el rango de corto circuito de los componentes e igualmente sirve como protección para crecimientos futuros en capacidad. Si este no es el caso, es posible cambiar el fusible y no reemplazar los componentes.

La inclusión del fusible tiene numerosas ventajas:

- El fusible no está dentro del transformador, eliminando así operaciones violentas en el mismo.
- El fusible se encuentra accesible para chequeo y cambio.



### C) De 600 Amperes

La construcción de este conector es más robusta que las anteriores y es usado cuando se requieren medios de conexión de capacidad superior a los 200 A (no es operable con carga), como en el caso de redes comerciales o residenciales donde los transformadores son de mayor capacidad.

#### II.6.3.2 Conectores Múltiples

Las derivaciones para acometidas a servicios de usuarios se hacen por medio de un accesorio especial: un conector múltiple de media tensión el cual va alojado en un registro especial.

Este conector múltiple es un accesorio de aluminio moldeado con 4, 6 u 8 salidas y aislado con etileno propileno. Este conector debe ser capaz de permitir la conexión de cables desde el # 8 AWG hasta el 350 MCM, siendo su capacidad de conducción de la misma magnitud que el calibre máximo aceptable.

Este tipo de accesorio está constituido por:

- Zapata para conector múltiple: es el elemento que permite conectar eléctrica y mecánicamente el conector múltiple con el cable. En general el material usado es el aluminio dúctil.
- Cubierta aislante para conector múltiple: el material con que se construye esta cubierta es de polivinilo irradiado (termocontráctil) de alta adherencia al metal y al aislamiento, y se usa para aislar cada una de las salidas. Se le ha dado el nombre de manga termocontráctil ya que en presencia del calor ésta se contrae hasta en un 50 % de su diámetro original. Su función es la de aislar del exterior, las partes sujetas a potencial, como el mismo conector o el cable. Igualmente los protege contra la humedad.



### II.6.3.3 Conector Tipo Unión

Sirve para unir conectadores tipo codo aislados en su unión con los equipos eléctricos a 600 A, a diversos rangos de tensión.

### II.6.3.4 Conector Tipo Tapón

Es un accesorio que sirve de tapón a boquillas tipo perno, acoplándose a conectores tipo codo, a diversas tensiones de operación y a 600 A.

## II.7 TRANSFORMADORES (EQUIPO)

Otro de los componentes básicos de un sistema de distribución subterráneo, es sin duda el transformador, ya que es el encargado de convertir la tensión proveniente de las líneas de transmisión, a una tensión que satisfaga las necesidades de los usuarios.

### II.7.2 Definición

El transformador es una máquina estática que sirve para transferir la energía de un circuito eléctrico de corriente alterna a otro, mediante un acoplamiento magnético, pudiendo hacer una transformación de tensiones y corrientes entre los circuitos, a la misma frecuencia.

En esencia consiste en dos o más bobinas, formadas cada una por muchas espiras en estrecha proximidad para que el campo magnético de una, enlace con el de la otra. Las bobinas se enrollan sobre un núcleo de material ferromagnético y van aisladas eléctricamente entre sí.

### II.7.2 Principio de Funcionamiento

Una corriente alterna que circula por una de las bobinas crea en el núcleo un campo magnético alterno. La mayor parte de este flujo atraviesa la otra bobina e induce en ella una fuerza electromotriz. La potencia es así transmitida de una bobina a otra por medio del flujo del núcleo.



A la bobina que recibe potencia se le denomina primario y a la que cede potencia, secundario.

La potencia obtenida de un transformador es necesariamente inferior a la potencia suministrada al mismo, a causa de las inevitables pérdidas en forma calorífica. A pesar de estas, la eficiencia de los transformadores puede alcanzar el 99 %.

El transformador consta de partes muy significativas para su funcionamiento, las cuales se describen concisamente a continuación.

### II.7.3 Núcleo

El núcleo de los transformadores es del tipo laminado con objeto de reducir las pérdidas en el mismo, ocasionadas por las corrientes de Foucault (Eddy).

Las laminaciones son de material magnético (acero al silicio de grano orientado) que tiene alta permeabilidad.

La sección transversal del núcleo es rectangular para transformadores de tamaño pequeño y cruciforme para tamaños mayores.

Para los transformadores monofásicos el núcleo consta de dos o tres piernas y para los trifásicos de tres o cinco.

El núcleo debe ser adecuadamente apretado por medio de herrajes para evitar, al máximo posible, vibraciones, ruidos y el consiguiente calentamiento.

### II.7.4 Bobinas

Se utiliza el cobre o el aluminio como conductor debido a su alta conductividad. El devanado de alta tensión es por lo general de conductor redondo con cubiertas de vinil acetal (fomvar). El de baja tensión está formado por conductor de sección rectangular y aislamiento de papel dieléctrico.

Entre capa y capa de los devanados se prevén separadores de papel dieléctrico, formando ductos a través de los cuales circula libremente el aceite cooperando a que sea más rápida y efectiva la disipación del calor.



### II.7.5 Tanque

El conjunto núcleo-bobinas se introduce en un tanque de acero debidamente sellado, reforzado y adecuado para soportar las presiones a trabajo normal. En transformadores de potencia el tanque debe resistir su llenado al vacío.

El tanque debe también ser resistente a la corrosión, interperismos, acción de vapores industriales, etc.

El área de este tanque será tal que permita la correcta disipación del calor generado en su interior a causa de las pérdidas de los devanados y del núcleo. Para lograr una mejor disipación del calor sin aumentar excesivamente el área del tanque, éste lleva radiadores (tubos, placas u obleas).

En el caso de que el transformador esté sumergido en aceite, el tanque debe estar perfectamente sellado para evitar fugas y contaminaciones del exterior, sobretodo de aire húmedo, que afectaría notablemente las propiedades del aceite.

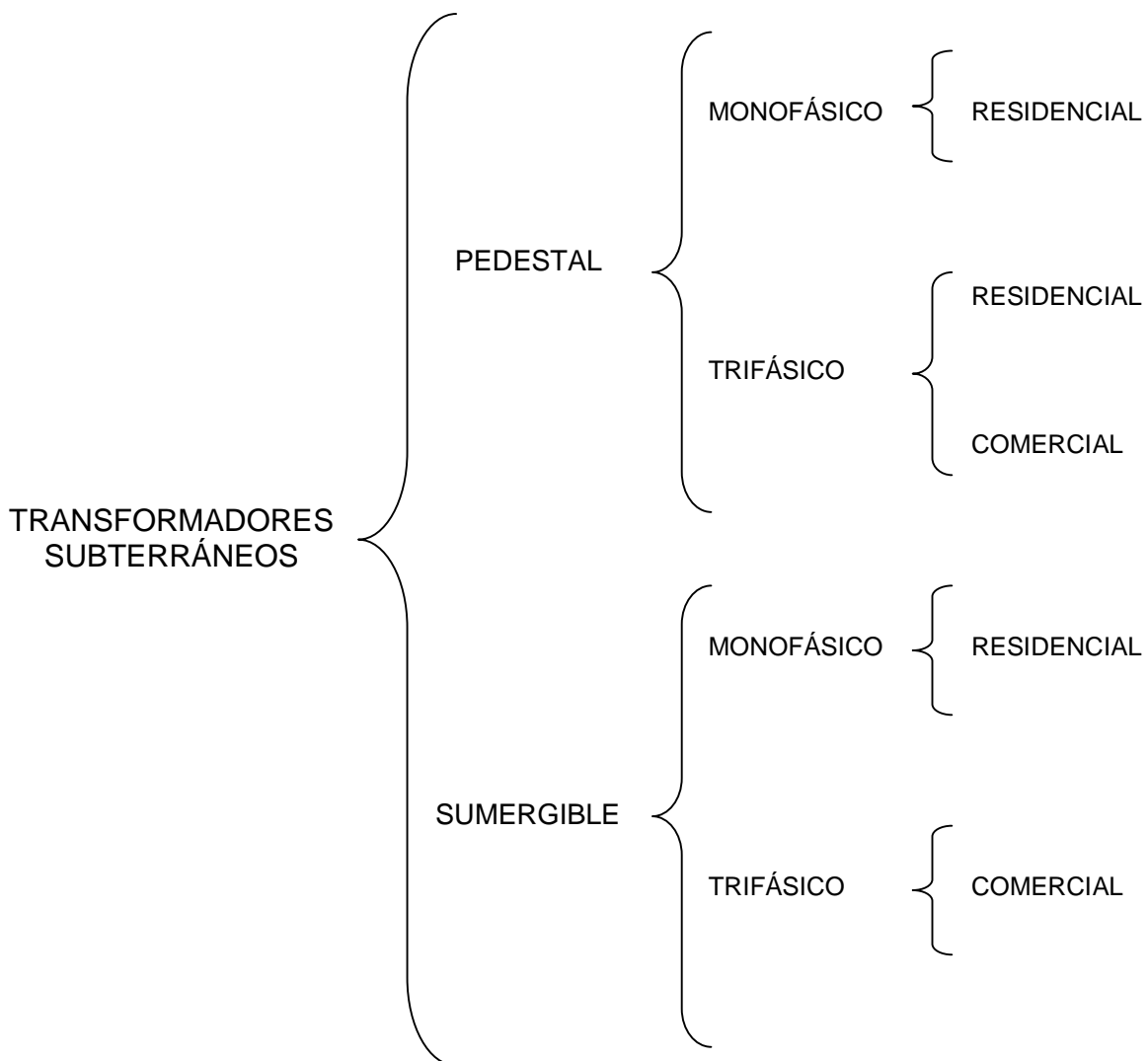
### II.7.6 Pruebas

Al diseño final de un transformador deben aplicársele una serie de pruebas, siendo las principales las siguientes:

- A) Resistencia óhmica de los devanados
- B) Resistencia de aislamiento
- C) Relación de transformación ( $n_p/n_s$  y  $v_p/v_s$ )
- D) Polaridad
- E) Secuencia de fases
- F) Desplazamiento angular
- G) Corriente de excitación
- H) Pérdidas sin carga
- I) Pérdidas de los devanados
- J) Pérdidas totales y eficiencia
- K) Impedancia
- L) Regulación



- M) Temperatura
- N) Tensión aplicado
- O) Tensión inducido
- P) Impulso
- Q) Rigidez dieléctrica del aceite
- R) Presión



Cuadro sinóptico. Clasificación de transformadores subterráneos<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> ESPECIFICACIÓN CFE-K0000-04, 05, 07, 08 Y 19



En la siguiente tabla II.3, se aprecian las capacidades de los transformadores subterráneos. Se resalta que los tipo sumergibles monofásicos van desde los 75 kVA hasta los 500 kVA.

Tabla II.3 Capacidades de transformadores<sup>9</sup>.

Tipo	Fases	Capacidad (kV)
Pedestal	Monofásico	25.00
		37.50
		50.00
		75.00
		100.00
Y	Trifásico	75.00
		112.50
		150.00
		225.00
		300.00
		500.00
Sumergible		

### II.7.7 Efectos de Ferroresonancia en Sistemas de Distribución Subterránea

En la actualidad, se ha generalizado más la utilización de los sistemas subterráneos principalmente si el lugar donde se proyecta construir es una zona expuesta a ciertos efectos ambientales o también si se trata de zonas comerciales y residenciales.

La alta densidad de carga y el fuerte incremento de la demanda de energía, han traído como consecuencia en las redes de distribución subterránea la implementación de tensión cada vez mayores con lo cual se ha encontrado la influencia determinante de algunos parámetros que dan origen a fenómenos indeseables durante la operación del equipo eléctrico en conjunto.

<sup>9</sup> ÍDEM.



Básicamente estos fenómenos son problemas de carácter técnico que deben ser eliminados o por lo menos limitados a valores no críticos para el equipo en operación y que estrictamente los podremos resumir en:

- Sobretensiones en la red
- Sobrecalentamientos de la red

Ambos problemas son parcialmente originados por los efectos de ferresonancia, la cual aumenta la probabilidad de presentarse con la longitud de los cables y tensión de operación alta.

Este efecto fundamentalmente implica la operación del equipo de interrupción, la combinación del circuito inductivo del transformador con el circuito capacitivo del cable y además del circuito magnético del núcleo del transformador, o sea que el fenómeno de ferresonancia aparece cuando hay una fuente de alimentación en el circuito y se abre o cierra una más de la fases, entonces aparece la inductancia no lineal del transformador conectado en serie con la capacitancia del cable y una resistencia pequeña, de acuerdo a los valores que toman los dos primeros parámetros, la resistencia es prácticamente despreciable, por lo tanto, es muy factible que se presente la siguiente igualdad:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

#### Efectos e influencias de las conexiones

Cualquier circuito eléctrico monofásico o trifásico está expuesto al efecto de ferresonancia, su influencia en gran parte función de la conexión que guardan los transformadores y si son trifásicos o monofásicos.

Con respecto a lo anterior se debe complementar con los principios de operación de las conexiones de los transformadores para conseguir un análisis representativo con las ventajas y desventajas que se presentan a continuación:





a) Conexión  $\Delta$  -

Proporciona una trayectoria cerrada para la circulación de las corrientes armónicas y en caso extremo se traduce en aumento de pérdidas y sobrecalentamiento.

Evita la circulación de corrientes desbalanceadas en el exterior del transformador, lo cual se transforma en pérdidas, sobrecalentamiento y la impotencia del equipo de protección para detectarla.

La tensión a través de cualquier elemento (codo, conector, etc.) es siempre el valor entre fases al presentarse cualquier operación de apertura.

La presencia del efecto ferroresonante, podría aparecer con la apertura o cierre del circuito de alimentación.

b) Conexión -

El flujo producido por las corrientes armónicas en la alimentación, podría originar ruido electromagnético que ocasione interferencias en comunicación.

La construcción del transformador es tanto especial, provisto de cuatro o cinco piernas, con lo cual se limita el sobrecalentamiento en el tanque.

El efecto ferroresonante difícilmente se presentara principalmente si el neutro está sólidamente aterrizado.

Es conveniente estudiar este fenómeno en algunos circuitos típicos usados en nuestras redes de distribución subterránea y sistemas eléctricos que involucren cables y transformadores de potencia y desarrollar un método que nos permita predecir oportunamente para eliminar la posibilidad de ocurrencia de este fenómeno.

## II.8 SECCIONALIZACIÓN Y PROTECCIÓN (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.



### II.8.1 Instalaciones Monofásicas

El equipo de seccionalización para los transformadores monofásicos tipo pedestal estará dado por los conectores tipo codo de apertura con carga de 200 A y para los transformadores monofásicos tipo sumergible.

### II.8.2 Instalaciones Trifásicas

El equipo de seccionalización para los transformadores trifásicos se hará por medio de seccionadores internos para 200 A.

Se instalarán equipos seccionadores sin protección para enlace de circuitos troncales en el punto intermedio de cada circuito y en el extremo del mismo.

### II.8.3 Protección contra Sobretensiones

Las protecciones que se presentan en un sistema eléctrico se clasifican en:

- Sobretensiones de origen interno:  
Se deben principalmente a operación de dispositivos de desconexión y a fenómenos de ferresonancia en el sistema.  
Las sobretensiones por fenómenos de ferresonancia se presentan principalmente en sistema trifásicos de tres hilos con transformadores conectados con neutro aislado. Este problema se eliminará empleando sistemas trifásicos de cuatro hilos o bien utilizando elementos de protección y seccionamiento de operación tripolar simultánea.
- 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 se deben instalar apartarrayos adecuados.



### Clasificación de los sistemas

De acuerdo con la conexión a tierra del neutro del sistema, y de las sobretensiones que presentan ante fallas de fase a tierra, se tiene la clasificación en la siguiente tabla II.4.

Clase	Descripción	$X_0/X_1$	$R_0/X_i$	Coefficiente de aterrizamiento
A	Multiterrizado	$\ll 3$	$\ll 1$	0.7
B	Aterrizado firmemente	$< 3$	$< 1$	0.75-0.8
C	Aterrizado parcial	$3a - \infty$	$1a - \infty$	1.0
D	No aterrizado	$- 40^a - \infty$	---	1.1
E	No aterrizado	$0a - 40$	---	---

Tabla II.4 Clasificación de los sistemas de protección contra sobretensiones.

El coeficiente de aterrizamiento del sistema, multiplicado por la tensión fase-fase, será igual a la tensión nominal del apartarrayos que deberá instalarse en el sistema, es decir:

$$V_{n(pa)} = C_a V_{L-L}$$

Donde:

$V_{n(pa)}$  = tensión nominal del apartarrayos

$C_a$  = coeficiente de aterrizamiento

$V_{L-L}$  = tensión línea-línea del sistema

### Localización de Apartarrayos

La localización de los apartarrayos es un factor importante a considerar una vez seleccionado el equipo.

La interconexión entre el borne a tierra del apartarrayos y el circuito de tierra en apartarrayos instalados para la protección de acometida aéreo-subterránea, se debe conectar a la cubierta metálica del cable que, a su vez, debe estar perfectamente aterrizado



y, preferente, el borne de conexión del apartarrayos debe conectarse antes de los fusibles de protección de la acometida, ya que con ello evitamos que las descargas atmosféricas pasen a través de la fusibles cuando descarguen a tierra. Esto se ilustra en la figura II.6

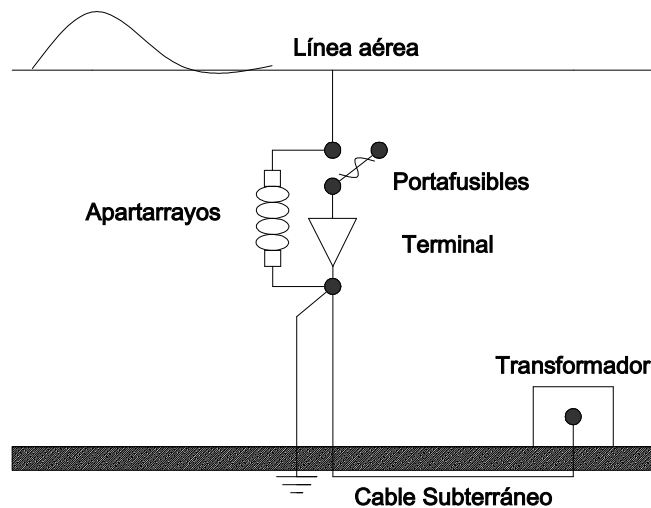


Figura II.6 Conexión de apartarrayos en acometidas subterráneas.

Existen dos problemas fundamentales a considerar en la protección de los sistemas subterráneos contra descargas atmosféricas, éstos son:

- El equipo que se desea proteger, transformadores, interruptores, etc., se encuentra muy alejado de los dispositivos de protección, disminuyendo su protección.
- La onda incidente en el sistema subterráneo sufrirá reflexiones sucesivas hasta llegar al doble, debido a que en todos los casos encontrará un punto normalmente abierto o un transformador, en ambos casos el coeficiente de reflexión es igual a uno.

En la figura II.7 se aprecian ambos problemas en forma gráfica.

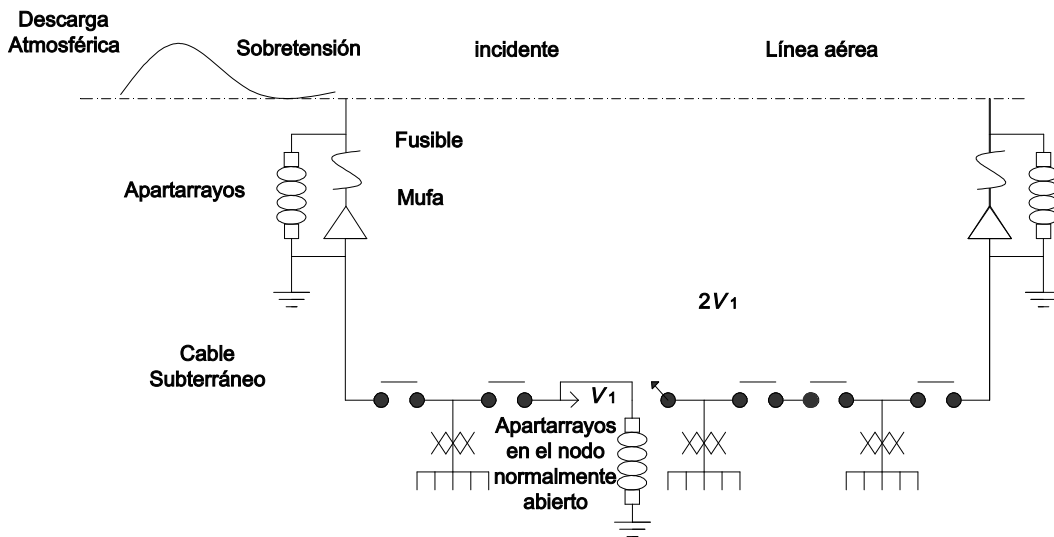


Figura II.7 Protecciones contra descargas atmosféricas de un sistema de distribución subterráneo en estructura de anillo.

#### II.8.4 Protección contra Sobrecorrientes

Todos los sistemas de distribución de energía eléctrica están expuestos a fallas por la acción de agentes internos y externos. Los sistemas aéreos están más expuestos a fallas por agentes externos que los subterráneos; sin embargo, por la naturaleza de estos últimos, la protección de manera general es más costosa.

Las fallas que se presentan en los sistemas de distribución subterráneos son siempre de naturaleza permanente, siendo éstas por definición las que persisten a pesar de la acción de los dispositivos de protección. Hay dos aspectos que se deben considerar al seleccionar la protección en un sistema subterráneo. La primera es diseñar y mantener las instalaciones de tal forma que el sistema tenga un mínimo de fallas; y la segunda, minimizar su efecto, es decir, no sólo proteger el equipo, sino poner fuera de servicio al menor número de usuarios.

El aislamiento de fallas permanentes en sistemas subterráneos se obtiene con fusibles e interruptores, o la combinación de ambos. Para la selección del esquema de protección es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:



- Tipo de estructura.
- Índice de confiabilidad requerida.
- Costo de las interrupciones.
- Costo de los dispositivos de protección

Podemos resumir que la protección contra sobrecorrientes de un sistema de distribución subterráneo debe servir para los siguientes propósitos:

- Reducir el mínimo de tiempo sin servicio a los usuarios.
- Proteger al equipo durante fallas en el sistema.
- Facilitar la localización de las fallas.



## CAPÍTULO III. PRINCIPALES FALLAS EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El presente capítulo está destinado a mostrar las principales fallas en las redes de distribución eléctrica (aérea y subterránea) de nuestro país, a través de datos presentados en forma gráfica-estadística. Para ello se ha dividido la república mexicana en 13 zonas geográficas, que de ahora en adelante llamaremos divisiones (con su abreviatura correspondiente), las que mencionaremos a continuación.

- División noroeste (noe)
- División norte (nte)
- División golfo centro (gcto)
- División bajío (bajío)
- División centro occidente (octe)
- División jalisco (jal)
- División centro oriente (cote)
- División oriente (ote)
- División sureste (ste)
- División centro sur (csur)
- División baja california (bcalif)
- División peninsular (penin)
- División golfo norte (gnte)

### III.1 ANÁLISIS DE LA NATURALEZA DE LA FALLA

La característica principal de un sistema de distribución es la continuidad del servicio. Para esto es necesario que éste opere adecuadamente, y que en caso de falla ésta pueda detectarse, localizarse y repararse fácilmente.

Una falla en sistema de distribución aéreo se halla generalmente por medio de 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 fallado.



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.

### III.2 FALLAS EN LAS REDES AÉREAS

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

#### III.2.1 Fallas por Descargas Atmosféricas

Tiene 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 éstos, 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 electrostáticamente, al liberar sus cargas positivas y negativas con los otros cuerpos (nubes), propician una descarga de la energía concentrada, provocando que los rayos incidan indirecta o directamente sobre las instalaciones aéreas.

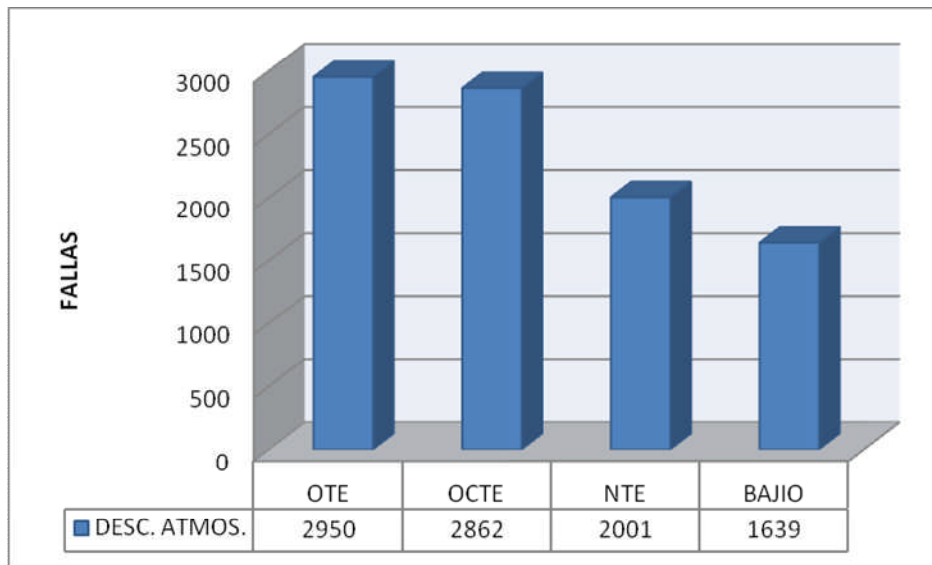
Las 13 divisiones geográficas, en donde se presentan con mayor frecuencia las fallas por descargas atmosféricas es en la oriente, occidente, norte y bajío, ya que concentran el 65 % de este tipo de fallas en todo el país.

Lo anterior se aprecia en la siguiente gráfica III.1<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD 2003.





Gráfica III.1 Fallas por descargas atmosféricas.

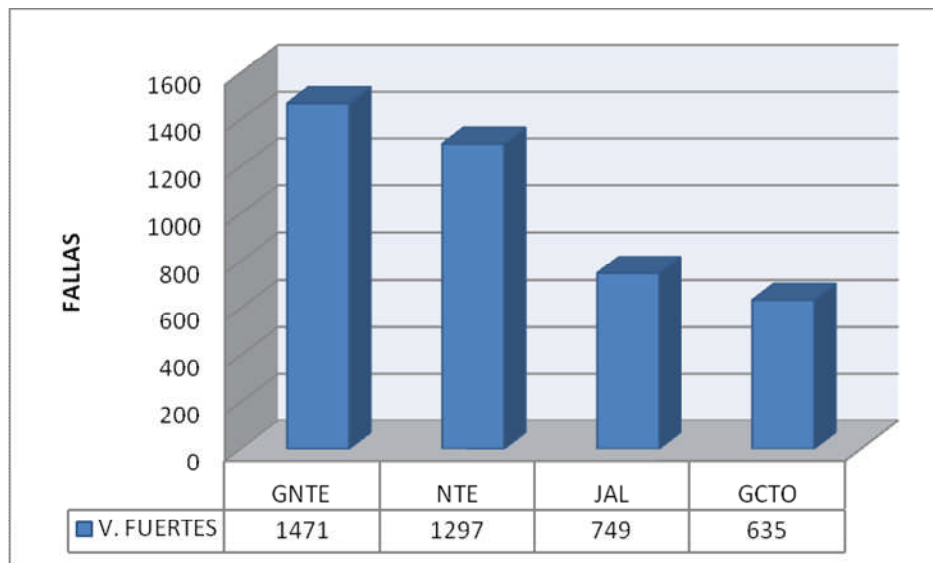
### III.2.2 Fallas por Vientos Fuertes

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

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

Se presenta en 4 divisiones principalmente: norte, jalisco, golfo centro y bajío, toda vez que alcanzan juntas el 67 % en la república mexicana, lo cual se muestra en la gráfica III.2<sup>11</sup> que a continuación se ve:

<sup>11</sup> ÍDEM.



Gráfica III.2 Fallas por vientos fuertes.

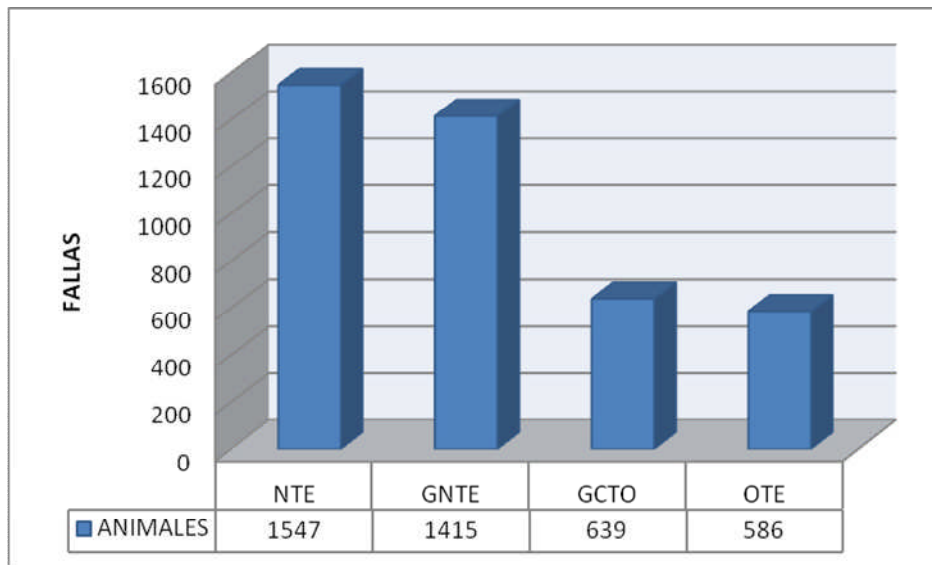
### III.2.3 Fallas por presencia de Animales

Ocurren principalmente por la presencia de aves en grupo, de tamaño regular, que tocan los cables, provocando el contacto entre dos fases de las líneas.

Las parvadas de aves que se acercan a ciudades que tienen patios enormes como los zócalos u otros espacios de convivencia familiar para alimentarse, tienden a descansar sobre partes altas de edificios e instalaciones (en nuestro caso las líneas aéreas) en lo que divisan alimento. Es en este momento en el que sucede la falla en la red de distribución y como consecuencia la suspensión parcial del suministro eléctrico.

Esta causa de falla se reproduce principalmente en las divisiones, norte, golfo centro y oriente, representando el 67 % del total, en el territorio nacional, lo cual se puede observar en la siguiente gráfica III.3<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> IDEM.



Gráfica III.3 Fallas por presencia de animales.

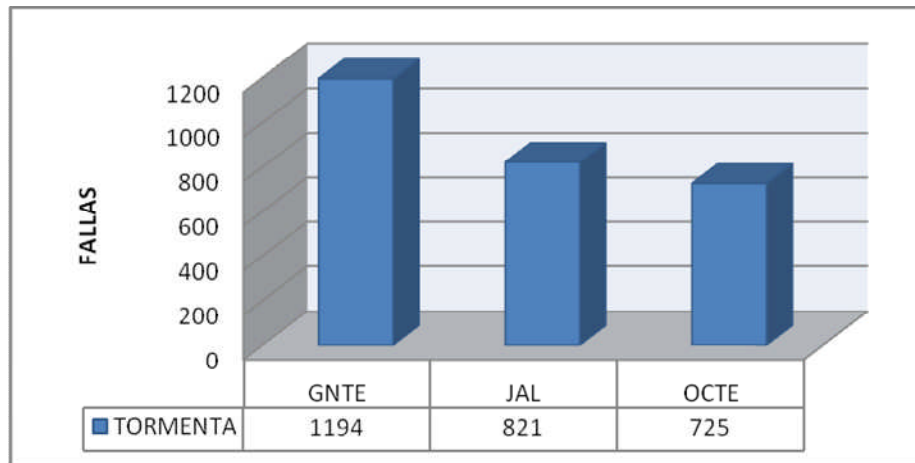
### III.2.4 Fallas por Tormenta

Se diferencia de las descargas eléctricas por la región geográfica donde se presenta ya que no es lo mismo en el norte del país donde el suelo o terreno es plano, que en el occidente, centro o sur del país donde existen las regiones montañosas y boscosas que forman tormentas de distintas variantes como pueden ser la propia lluvia o la arena en lugares desérticos.

Estas fallas (como las anteriores) ocasionan el contacto directos de los cables de dos o más fases provocando cortocircuitos; o bien, en el peor de los casos el desprendimiento de aisladores, crucetas o hasta postes de una parte de la red de distribución.

Se presenta con gran frecuencia en una red aérea, repitiéndose de manera significativa en todo el país. Es la cuarta causa de falla en las instalaciones por aire. Los datos que se mencionan en la gráfica III.4<sup>13</sup> siguiente comprenden el periodo enero-noviembre de 2003.

<sup>13</sup> IDEM.



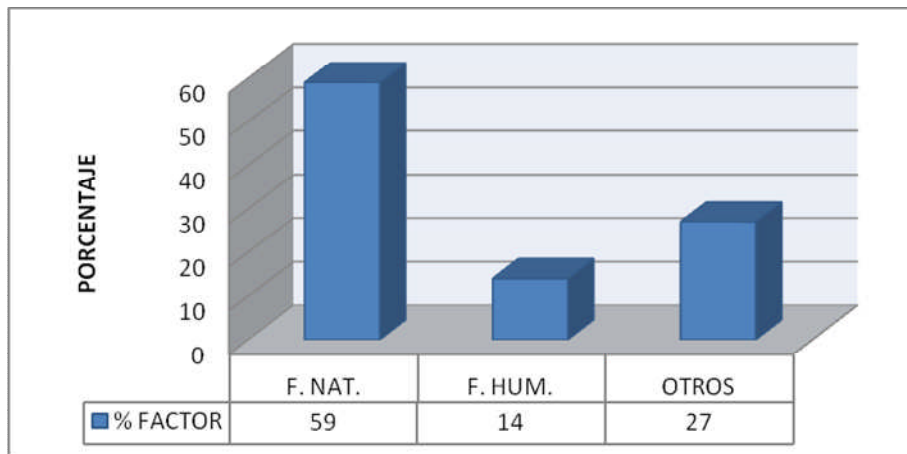
Gráfica III.4 Fallas por tormenta.

### III.2.5 Fallas por Grupo de Factores

Conjuntando la información obtenida referente a las distintas causas de falla que se presentan en las instalaciones aéreas de distribución, podemos clasificar en 3 grupos: generadas por las personas, ocasionadas por los fenómenos naturales, y otras (varias).

En la siguiente gráfica III.5<sup>14</sup> nos damos cuenta que los fenómenos de la naturaleza impactan de manera impresionante sobre las líneas que van por aire, seguida de los factores humanos.

<sup>14</sup> IDEM.



Gráfica III.5 Fallas por grupos de factores.

### III.3 FALLAS EN LAS REDES SUBTERRÁNEAS

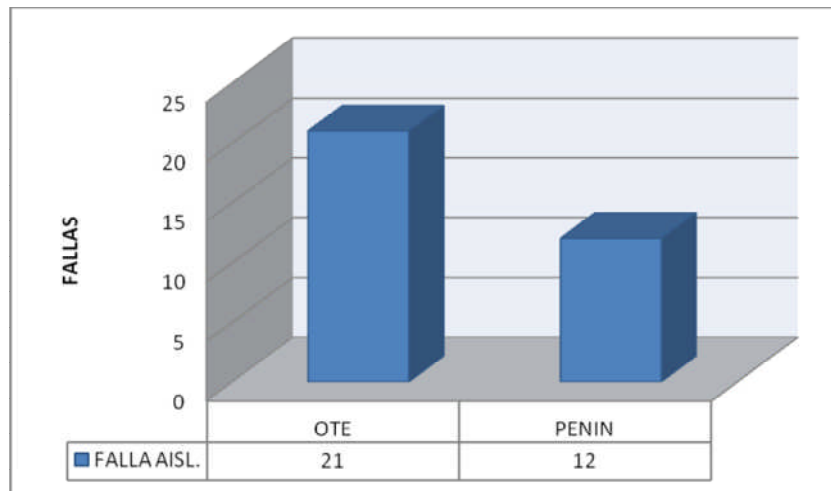
En esta parte, es preciso señalar que los fenómenos que se presentan en los sistemas aéreos son nulos en los sistemas subterráneos, toda vez que no son perjudicados por fenómenos de índole externo como son las descargas atmosféricas, vientos, etc. Por lo antes expuesto, se presentan las fallas que si ocasionan averías en las redes subterráneas.

#### III.3.1 Falla en el Aislamiento del Cable

Este tipo de falla sucede frecuentemente 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 el plano de tierra y el de potencia, provocando la interrupción del flujo de la energía. Lo anterior se hace evidente sí el conductor está torcido, la pantalla metálica rasgada o la cubierta está rota.

Es la causa número uno de falla en las redes que van por tierra. Ocurriendo en mayor número en 2 divisiones: oriente y peninsular. Esto se valora en la gráfica III.6<sup>15</sup> correspondiente.

<sup>15</sup> IDEM.

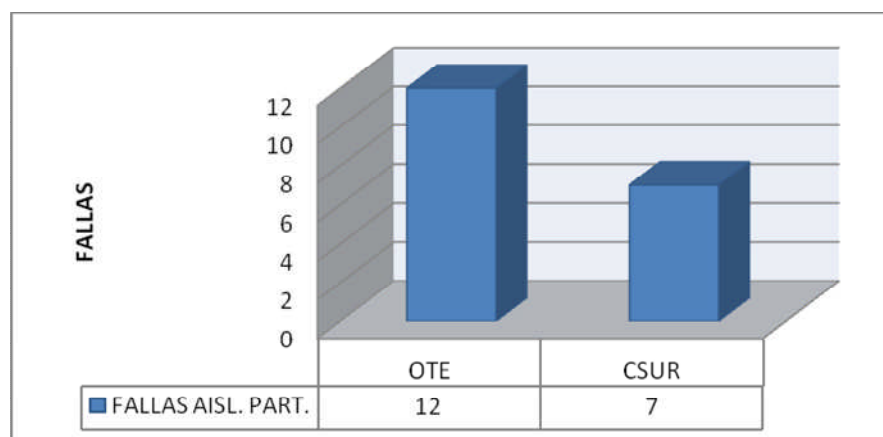


Gráfica III.6 Fallas en el aislamiento del cable.

### III.3.2 Falla en el Aislamiento en Particular

Esta sucede cuando se corta la cinta semiconductor sobre el aislamiento al poner o colocar una terminal, conector o empalme. Esta acción se hace de manera defectuosa ocasionándose un daño en el aislamiento en ese punto.

En la gráfica III.7<sup>16</sup> que se muestra enseguida, se ilustra que este tipo de falla sucede con gran frecuencia en solo dos divisiones, oriente y centro sur.



Gráfica III.7 Falla en el aislamiento en particular.

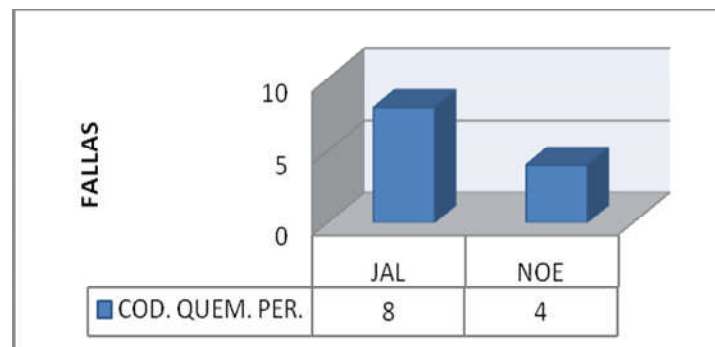
<sup>16</sup> IDEM.



### III.3.3 Fallas en Aislamiento de Codos Conectores Quemados o Perforados

Se produce esta falla 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.

Dicho sea de paso, este tipo de falla no tiene que ver con la mano de obra que colocó el accesorio en el cable. En las divisiones Jalisco y noroeste es donde se presentan con mayor repetitividad las fallas por codos conectores quemados y perforados. Lo anterior se muestra en la siguiente gráfica III.8<sup>17</sup>:



Gráfica III.8 Fallas en aislamiento de codos conectores quemados o perforados.

### III.3.4 Fallas por Conductor con Maltrato Mecánico o Quemado

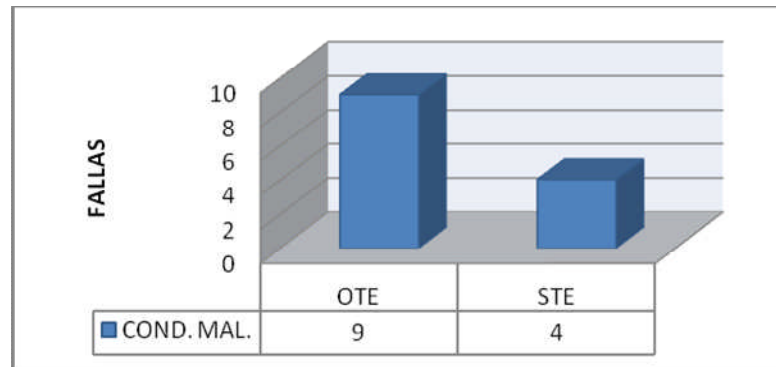
Se presenta principalmente porque durante su instalación en los ductos, sufre daño mecánico, y poco a poco el aislamiento se va deteriorando hasta llegar un punto en el que se pierde la barrera entre los planos de energía y viene la consecuente interrupción del suministro.

El daño mecánico es uno de los factores responsables de gran parte de las fallas en los cables de las redes subterráneas. Entre los agentes que lo provocan están los cortes, compresión, perforación, etc.

<sup>17</sup> ÍDEM.



De las 13 divisiones que comprenden el territorio nacional en cuestión de la distribución de la energía eléctrica, es en solo 2 donde se presenta este tipo de falla con mayor frecuencia: oriente y sureste, como se valora en la siguiente gráfica III.9<sup>18</sup>.



Gráfica III.9 Fallas por conductor con maltrato mecánico o quemado.

<sup>18</sup> ÍDEM.





## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN AÉREO Y UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO.

### IV.1 GENERALIDADES

En el capítulo anterior presentamos las fallas que ocurren en los sistemas de distribución de energía eléctrica.

En esta parte realizaremos un análisis comparativo entre las redes de distribución aéreas y las redes subterráneas, apoyándonos en tablas y en gráficas con datos estadísticos que nos ayudarán a ilustrar de mejor manera, las diferencias existentes.

### IV.2 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS

Una ventaja es una característica o cualidad que tiene un objeto, persona, institución, empresa, etc., sobre otra, que lo hace superior. Analizaremos las ventajas que tienen las redes de distribución aérea y subterránea, como si fueran empresas encargadas, cada quien por su cuenta, de hacer llegar la energía eléctrica a los consumidores.

Por principio de cuentas, se resumen brevemente las ventajas que tienen ambas redes por separado, las cuales se muestran en la tabla IV.1:

RED AÉREA	RED SUBTERRÁNEA
<ul style="list-style-type: none"> <li>-BAJO COSTO INICIAL</li> <li>-FACIL LOCALIZACIÓN DE FALLAS</li> <li>-LAS FALLAS SON MOMENTÁNEAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-MENOR NÚMERO DE FALLAS</li> <li>-MENOR COSTO OPERACIÓN Y MANTTO.</li> <li>-SEGURIDAD EN EL ENTORNO</li> <li>-MAYOR PLUSVALÍA DE ÁREAS PÚBLICAS Y PRIVADAS</li> <li>-MEJOR ESTÉTICA</li> <li>-MEJOR APARIENCIA VISUAL</li> </ul>

Tabla IV.1 Ventajas de una Red Aérea y una Subterránea.

El bajo costo inicial es inherente a una red aérea, toda vez que no requiere de la apertura de zanjas, ni de cables aislados para poder instalarse. Por lo mismo, al ser visibles todos sus componentes, es muy fácil detectar una falla, aún cuando éstas sean mayormente de carácter instantáneo.



Por otro lado, las redes subterráneas al estar ajenas a los agentes externos de la naturaleza es menos propenso a fallar, lo que deriva es un bajo costo en mantenerlas operando. A su vez mejora la estética y apariencia visual del medio donde se establezca, propiciando seguridad a las personas y al medio ambiente. Lo anterior hace que tanto las propiedades públicas o privadas de ese entorno cuesten más que otros que no reciban el suministro vía terrestre.

### IV.3 ANÁLISIS DE LAS DESVENTAJAS

De la misma manera que se han visto las ventajas, ahora se muestran las desventajas que las redes de distribución de energía eléctrica se presentan en la tabla IV.2:

RED AÉREA	RED SUBTERRÁNEA
-MAYOR CANTIDAD DE FALLAS -MAYOR GASTO DE OPERACIÓN Y MANTO. -POCA ESTÉTICA DEL ENTORNO -MENOR SEGURIDAD DEL LUGAR -AL ESTAR A LA INTEMPERIE, LAS INSTALACIONES SON MÁS SUCEPTIBLES A LOS FENÓMENOS NATURALES.	-MAYOR COSTO INICIAL -LAS FALLAS SON PERMANENTES -FALTA DE PROMOCIÓN PARA INVERTIR EN REDES DE ESTE TIPO.

Tabla IV.2 Desventajas de una Red Aérea y una Subterránea.

Fenómenos como las lluvias y las descargas atmosféricas ocasionan que se presenten gran número de fallas (como se valoró en el capítulo anterior) en los sistemas aéreos. Adicionalmente el costo para reparar tanto aisladores, cables, postes, poda de árboles, etc., se va encareciendo.

En las áreas urbanas del país, la demanda de diversos servicios que son satisfechos por conductores aislados como la propia electricidad, teléfono y tv por cable, redundan en el exceso de estos elementos, ensuciando la estética y armonía de los lugares, incitando a la inseguridad de la gente que en esos medios habita.

En el caso de los sistemas subterráneos su costo elevado de construcción que tiene con respecto a las líneas que van por aire, ha creado una cortina de humo que frena la inversión en este tipo de sistemas. Con relación a las fallas que afectan las redes terrestres, aunque



menores, requieren de más tiempo para encontrarlas, sobre todo si no está configurada la instalación en anillo.

#### IV.4 ANÁLISIS DE LAS FORTALEZAS

Las fortalezas de las redes son aquellas características sobre las cuales los sistemas se pueden perfeccionar, es decir, aquellas condiciones que están unidas por naturaleza, que pese a la problemática propia de las redes, siempre predominarán. Se menciona enseguida en la tabla IV.3 lo antes citado:

RED AÉREA	RED SUBTERRÁNEA
-FACIL LOCALIZACIÓN DE FALLAS	-MENOR LABOR DE OPERACIÓN Y MANTTO. -MAYOR CONFIABILIDAD Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO.

Tabla IV.3 Análisis de fortalezas.

Además del bajo costo de construcción de una red aérea, lo que la fortalece es que se pueden detectar con relativa facilidad las fallas que en ella ocurren, dado que todas las instalaciones están a la vista.

A las redes subterráneas las fortifica el hecho de que al estar ocultas y ajenas a los fenómenos naturales, son menos propensas a fallar, lo que proporciona la continuidad, calidad y confiabilidad que se busca en el suministro de la energía eléctrica.

#### IV.5 ANÁLISIS DE LAS DEBILIDADES

Las redes de distribución padecen de características que aunque puedan disminuirlas, siempre estarán presentes.

A continuación se muestran las debilidades en la tabla IV.4 que presentan cada tipo de red:

RED AÉREA	RED SUBTERRÁNEA
-EXPUESTA EN DEMASÍA A LOS FENÓMENOS NATURALES Y A AGENTES EXTERNOS.	-MAYOR COSTO INICIAL

Tabla IV.4 Análisis de las debilidades.



Como se vio en el capítulo III, sobresalen en los sistemas aéreos, las averías ocasionadas por fenómenos tales como descargas atmosféricas, tormentas, animales, huracanes, etc., por encima de los errores humanos. Las redes que van por aire son sinónimo de fallas, por lo antes comentado.

Por lo general cada vez que se habla de una red subterránea, se asocia con los términos “caro”, “alto precio”. Si bien es cierto que resulta costoso construir dicho sistema, también es conveniente mencionar que en la actualidad, la relación costo aéreo/subterráneo es mucho menor a como sucedía tiempo atrás.

#### IV.6 ANÁLISIS POR CAUSAS DE FALLAS

En primer lugar analizaremos las fallas por descargas atmosféricas. En las redes aéreas son la principal causa de falla del sistema de distribución y son debidas a los fenómenos naturales provocados por la lluvia, por lo que mientras estén a la intemperie dichas instalaciones siempre fallarán. En el caso de las redes subterráneas, éstas no se verán afectadas nunca por las mencionadas descargas, toda vez que no se encuentran expuestas al medio ambiente (excepto los equipos).

Los vientos fuertes son la segunda causa de falla en las instalaciones aéreas. De manera similar a las fallas por descargas atmosféricas, los vientos son fenómenos de la naturaleza, que ocurren con mucha frecuencia, de modo que los sistemas de distribución subterráneos al no estar expuestos a manifestaciones de carácter ambiental por ninguna razón resultarán perjudicados.

De manera análoga a lo sucedido con las causas ya nombradas, los casos de fallas por tormenta, animales y ramas sobre la línea, se deben a hechos naturales, por lo que siempre estarán presentes, y desencadenarán en afectaciones a las redes aéreas. Obviamente las instalaciones subterráneas estarán exentas de ello.

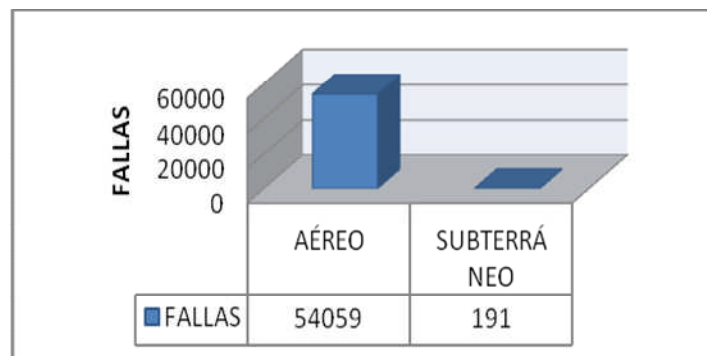


Objetos ajenos a las líneas, falso contacto, vandalismo, choque o golpe, son causas motivadas por las personas, de tal manera que la frecuencia de sus repeticiones, si puede ser abatida en forma considerable en las redes aéreas.

Por su parte, los sistemas subterráneos adolecen, en su mayoría, de causas relacionadas con las personas, en virtud de que tanto la falla del aislamiento del cable, codos dañados o quemados, cables maltratados, aislamiento contaminado, como la falta de hermeticidad (entre otras causas), se deben ya sea a la fabricación de cables y accesorios de regular calidad o de la colocación de éstos no apegada a las recomendaciones de instalación de quienes las producen.

#### IV.7 ANÁLISIS DE LAS FALLAS TOTALES

Retomaremos primeramente, la totalidad de fallas que suceden tanto en las redes aéreas como en las redes subterráneas durante un año, las cuales se muestran en la gráfica IV.1<sup>19</sup> que sigue.



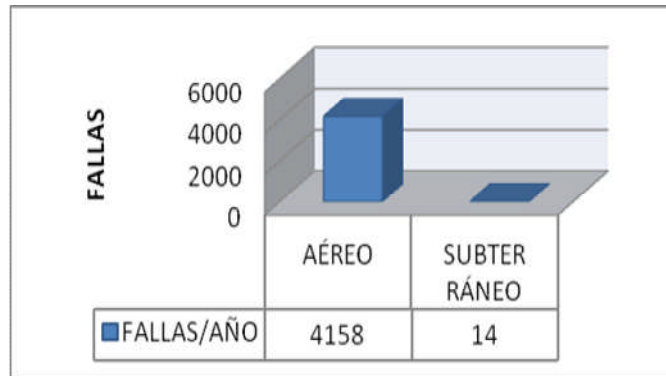
Gráfica IV.1 Fallas totales por año.

Como podemos apreciar, la diferencia es abismal. Estamos hablando que por 1 falla en una red subterránea, suceden 283 fallas en una red aérea.

<sup>19</sup> ÍDEM



Lo antes mostrado da lugar a que en cada división suceden por año 4,158 fallas en una red aérea, mientras que en una red subterránea solo 14, según se establece en la siguiente gráfica IV.2<sup>20</sup>:



Gráfica IV.2 Fallas por año en una división.

En el mismo sentido, ocurren al día en una red aérea 148 fallas. En una red subterránea se presenta 1 cada dos días.

En el tenor de lo anterior, acontecen por lo tanto en una red aérea 6 fallas cada hora, mientras que en una red subterránea 1 en 48 horas.

#### IV.8 ANÁLISIS ECONÓMICO

A manera de ejemplo y para demostrar la alta conveniencia de impulsar el suministro de energía eléctrica a diversos tipos de lugares como son, zonas residenciales, centros históricos, áreas turísticas, etc., mediante redes subterráneas, se ha evaluado comparativamente este tipo de sistema con su equivalente aéreo en la división oriente (zona de Veracruz).

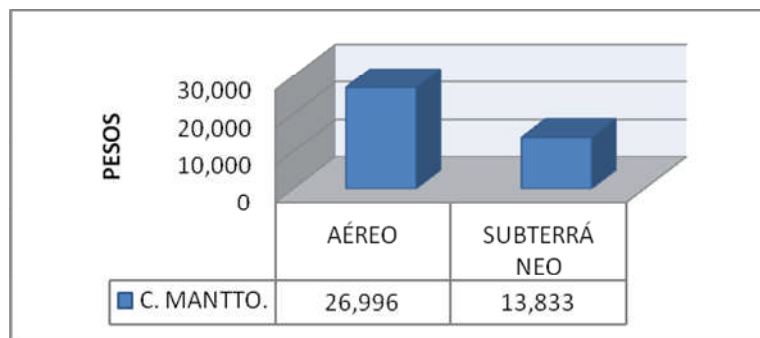
El procedimiento consistió en establecer de antemano que los costos totales de los dos tipos de redes se alcanzan al sumar a los costos de construcción de cada una, los costos de mantenimiento en que se incurre para conservarlas en operación durante una vida útil, que en este caso se ha estimado en 30 años.

<sup>20</sup> ÍDEM



Así también es preciso señalar que estas determinaciones se han hecho comparando redes equivalentes en cuanto a la capacidad y cantidad de usuarios atendidos.

Por otra parte, es necesario especificar que el mantenimiento y operación de las redes, es un factor que se ha considerado de manera muy especial, ya que es trascendental en la determinación de la rentabilidad de los sistemas. Y precisamente, para ilustrar lo comentado, en la gráfica IV.3 que sigue, se aprecian los resultados por costo de kilómetro de circuito de mantenimiento en ambas redes, correspondientes a lo invertido durante un año en la zona ya mencionada.



Gráfica IV.3 Costo de mantenimiento por km de circuito.

Dado lo anterior, resulta que el mantenimiento de una red aérea es 1.96 veces mayor al de un sistema subterráneo.

Por lo que, el resultado preliminar del comparativo ya comentado, se muestra en la siguiente tabla IV.5:

RELACIONES DE COSTO		
CONSTRUCCIÓN	SUBTERRÁNEO/AÉREO	5.91
MANTENIMIENTO	AÉREO/SUBTERRÁNEO	19.38

Tabla IV.5 Relaciones de costos

Es conveniente señalar que el costo de construcción de dichos sistemas también se valoró tomando como referencia la inversión inicial promedio de electrificación en una vivienda, en 3 desarrollos residenciales de la división noroeste, derivándose la tabla IV.6 comparativa que a continuación se expone brevemente:

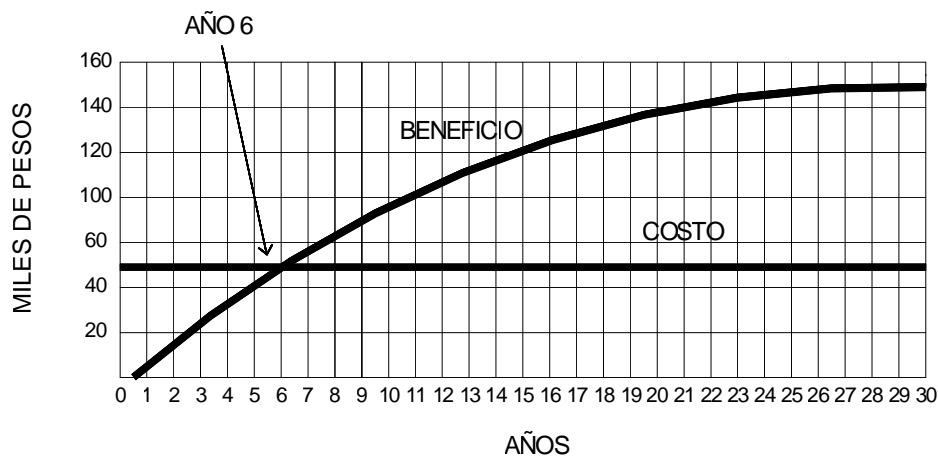


CONCEPTO	AÉREA	SUBTERRÁNEA
COSTO RED	2,324.00	4,036.00
COSTO VIVIENDA	133,000.00	133,000.00
COSTO TOTAL	135,324.00	137,036.00
% DIFERENCIA SUBT./AÉREA	2.95	

Tabla IV.6 Costo por construcción de una vivienda.

De lo antes mostrado, se puede ver que el porcentaje que representa la electrificación de una vivienda a través de una red subterránea, solo representa el 2.95 % del total de la inversión requerida para edificar dicha casa habitación.

Por último se muestra el resultado evaluado por la CFE a nivel nacional, relativo al mantenimiento de las redes subterráneas, en el que se aprecia que este es nulo o casi nulo durante los primeros años, siendo más rentable a partir del año 6 cuando es recuperada en su totalidad la inversión esto representado en la siguiente grafica IV.4:



Gráfica IV.4 Recuperación de la inversión inicial.





## CONCLUSIONES

### Generales

- ◆ Redoblar esfuerzos para provocar que el suministro energético de la electricidad proporcione al usuario:
  - Mayor continuidad
  - Mejor apariencia del entorno
  - Mayor seguridad en personas y en el medio ambiente
  - Armonía con el entorno e incremento en la plusvalía de las áreas públicas y privadas.
  
- ◆ Incursionar ampliamente en áreas fuertemente económicas, como son:
  - Residenciales.
  - Mercados de abastos.
  - Industriales.
  - Centros educativos, ferias y exposiciones permanentes.
  
- ◆ Elaborar planes maestros de crecimiento en las ciudades importantes definiendo los sectores subterráneos e híbridos.
  
- ◆ Contar con proyectos de crecimiento por etapas en las ciudades importantes del país.
  
- ◆ Presentar periódicamente los avances tecnológicos y nuevos desarrollos de materiales y accesorios para la construcción de redes subterráneas
  
- ◆ Aplicar las nuevas tecnologías y métodos de trabajo a los proyectos de redes subterráneas, para obtener ventajas en lo técnico, social y económico.
  
- ◆ Alcanzar la optimización de los proyectos cambiando la tecnología de los materiales.



- ◆ Incorporar los avances tecnológicos para permitir la modernización de las técnicas de construcción, así como el empleo de materiales, equipos y accesorios más eficientes, que mejoren la confiabilidad y faciliten la operación de una red subterránea.
- ◆ Unificar criterios en la elaboración de proyectos y construcción de redes subterráneas
- ◆ Participar en la revisión y optimización de proyectos que tengan que ver con las redes subterráneas.

#### Particulares

- ◆ Definir un catálogo de conceptos y especificaciones de obra civil y electromecánica.
- ◆ Difundir la utilización de fusibles tipo codo para acometidas de media tensión, hasta cargas de 500 kVA en 13.2 kV y de 850 kVA en 23 kV
- ◆ Uniformizar criterios de perforación horizontal direccional para optimizar costos.
- ◆ Instalar ductos de PAD directamente en el terreno, así como usar los de 2 pulg. En vez de los de 3 para la red y de 1.5 pulg. Para acometidas de media tensión
- ◆ Emplear tubos de PAD hasta la base del transformador eliminando la garganta y registro al pie
- ◆ Promover que en las zonas urbanas, las nuevas líneas de alta tensión sean subterráneas
- ◆ Cambiar, en áreas críticas, las líneas de alta tensión aéreas a subterráneas
- ◆ Mejorar el entorno y las áreas verdes en banquetas para conservar en óptimas condiciones los árboles y demás plantas, empleando sistemas de distribución subterráneos.



- ◆ Simplificar los componentes de una red de distribución para incrementar la confiabilidad de todo sistema, para evitar que a medida que se van agregando más dispositivos, éste se vuelve más propenso a fallar.
  
- ◆ Reducir los costos de construcción, inspección y mantenimiento, al eliminar registros innecesarios, los cuales además de propiciar actos vandálicos, robo de conductores y tapas, ocasionen molestias en la vía pública al instalarse sobre banquetas.
  
- ◆ Reducir lo más posible la instalación de dispositivos de protección y seccionalización sofisticados, toda vez que al ser los sistemas subterráneos inherentemente confiables, no hay necesidad de utilizarlos demasiado.
  
- ◆ Observar la tendencia mundial de usar instalaciones de distribución de energía eléctrica altamente confiable, requerida por los procesos industriales, económicos y de servicios diversos, para mejorar el entorno, ofrecer seguridad a las personas e instalaciones y suministrar energía con calidad.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>PÁG.</b>
I.1 Forma esquemática de las partes que integran al SEP	17
I.2 Central generadora	18
I.3 Representación en bloques de un sistema de distribución	22
II.1 Configuración radial	37
II.2 Configuración en anillo	38
II.3 Canalización en ductos	40
II.4 Partes componentes de un cable subterráneo	47
II.5 a) Accesorios que se emplean para 200 A	51
II.5 b) Accesorios que se emplean para 600 A	52
II.6 Conexión de apartarrayos en acometidas subterráneas	68
II.7 Protecciones contra descargas atmosféricas de un sistema de distribución subterráneo en estructura de anillo	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>PÁG.</b>
I.1 Clasificación de las Centrales Generadoras	19
I.2 Tipos de Centrales Generadoras	20
I.3 Clasificación de los Sistemas de Distribución Subterráneos	24
I.4 Tarifas para el suministro	26
I.5 Tensiones de distribución	27
I.6 Tensiones nominales preferentes de distribución	27
II.1 Sección transversal de conductores	39
II.2 Sección transversal y configuración de conductores	40



<b>II.3</b> Capacidades de transformadores	63
<b>II.4</b> Clasificación de los sistemas de protección contra sobretensiones	67
<b>IV.1</b> Ventajas de una Red Aérea y una Subterránea	81
<b>IV.2</b> Desventajas de una Red Aérea y una Subterránea	82
<b>IV.3</b> Análisis de fortalezas	83
<b>IV.4</b> Análisis de las debilidades	83
<b>IV.5</b> Relaciones de costos	87
<b>IV.6</b> Costo por construcción de una vivienda	88

### ÍNDICE DE GRAFICAS

<b>Gráfica</b>	<b>PÁG.</b>
<b>III.1</b> Fallas por descargas atmosféricas	73
<b>III.2</b> Fallas por vientos fuertes	74
<b>III.3</b> Fallas por presencia de animales	75
<b>III.4</b> Fallas por tormenta	76
<b>III.5</b> Fallas por grupos de factores	77
<b>III.6</b> Fallas en el aislamiento del cable	78
<b>III.7</b> Falla en el aislamiento en particular	78
<b>III.8</b> Fallas en aislamiento de codos conectores quemados o perforados	79
<b>III.9</b> Fallas por conductor con maltrato mecánico o quemado	80
<b>IV.1</b> Fallas totales por año	85
<b>IV.2</b> Fallas por año en una división	86
<b>IV.3</b> Costo de mantenimiento por km de circuito	87
<b>IV.4</b> Recuperación de la inversión inicial	88



## BIBLIOGRAFÍA

- ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. *“líneas de transmisión y redes de distribución de potencia eléctrica”*. Limusa, v. li, México, 1978, 827 Págs.
- ESPINOZA LARA, Roberto. *“sistemas eléctricos de distribución”*. México, 1987.
- KOSOW, Irving I. *“máquinas eléctricas y transformadores”*. Reverté, México, D.F., 1991, 727 Págs.
- MCPHERSON, George. *“introducción a máquinas eléctricas y transformadores”*. Limusa, México, D.F., 1987, 547 Págs.
- RAMÍREZ VÁSQUEZ, José. *“instalaciones de baja tensión. Cálculo de líneas eléctricas”*. Ceac, Barcelona, España, 1977, 1215 Págs.
- SERRA FLORENSA, Rafael. *“instalaciones eléctricas generales”*. Editores técnicos y asociados, Barcelona, España, 1979, 301 Págs.
- T. FREDERICK, Morse. *“centrales eléctricas”*. Cecsa, Barcelona, España, 1971.
- ZOPETTI JÚDEZ, Gaudencio. *“redes eléctricas de alta y baja tensión. Para conducir y distribuir la energía eléctrica”*. 6ª., g. Gili, México, D.F., 1984, 706 Págs.
- BENITEZ FUENTES, José Luis [et ál]. *“proyectos eléctricos en sistemas de distribución”*. Instituto de ingenieros en electricidad y electrónica, Jalisco, México, 1986, 100 Págs.
- NASAR, s.a. [et ál]. *“máquinas eléctricas. Operación en estado estacionario”*. Cía. continental editorial, México, 1993, 250 Págs.
- OROZCO, Ing. Enrique; RUBIO, M. en C. Arturo. *“efectos de ferresonancia en sistemas de distribución subterránea”*, IIE.
- Westinghouse Electric Corporation. *“Electrical transmission and distribution. Reference book”*. 4a., pennsylvania, e.e.u.u., 824 Págs.



- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Subgerencia de líneas de distribución subterránea. *“datos estadísticos de los sistemas de distribución subterránea”*. México, 2003.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). Subgerencia de distribución. Depto. De ingeniería y distribución. *“análisis y diseño de los sistemas de distribución subterránea”*. México, D.F.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). *“normas de distribución de construcción de redes subterráneas, 2005”*.
- Manual técnico de cables de energía, Condumex.
- [Http://www.energía.com.mx](http://www.energía.com.mx)