



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA UNIDAD  
HABITACIONAL JOYAS DE CUAUTITLÁN”

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

PRESENTA:  
JULIO ENRIQUE BARRÓN ESCAMILLA  
ORLANDO DOMÍNGUEZ MARTÍNEZ

ASESOR:  
ING. OSCAR CERVANTES TORRES

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA**  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

**"Diseño de una red de distribución subterránea " unidad habitacional Joyas de Cuautitlán"**

Que presenta el pasante: **JULIO ENRIQUE BARRÓN ESCAMILLA**

Con número de cuenta: **30601266-4** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de marzo de 2017.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. Maria de la Luz González Quijano	
<b>VOCAL</b>	Ing. Oscar Cervantes Torres	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Victor Hugo Landa Orozco	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Ing. Leonardo Sergio Lara Flores	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Ing. Arturo Ávila Vázquez	

NOTA: Los suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CONTRAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

**"Diseño de una red de distribución subterránea " unidad habitacional Joyas de Cuautitlán"**

Que presenta el pasante: **ORLANDO DOMÍNGUEZ MARTÍNEZ**

Con número de cuenta: **41103498-2** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de marzo de 2017.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. María de la Luz González Quijano	
<b>VOCAL</b>	Ing. Oscar Cervantes Torres	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Victor Hugo Landa Orozco	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Ing. Leonardo Sergio Lara Flores	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Ing. Arturo Ávila Vázquez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

## Dedicatoria

Dedico este trabajo de tesis a mis padres Ignacio y Maricela que siempre han estado en todos los momentos de mi vida y a lo largo de mi carrera apoyándome. Por todo el esmero, paciencia y confianza depositados, ustedes han sido el pilar fundamental para poder culminar una meta tan importante esto es posible gracias a ustedes.

A mi hermano Francisco por lo que representa en mi vida porque aunque existan veces en las que podemos pelear sabes que te quiero y siempre puedes contar con migo.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México una magnífica institución por abrirme sus puertas y recibirme como alumno.

Finalmente a todos mis amigos y seres queridos que han contribuido a lo largo de los años con mi formación.

Agradecimientos:

A mi familia, en especial a mi madre Lucia, a mi padre Maximino y a mis hermanos Alejandra y Librado por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su incondicional apoyo y motivacion para que pudiera cumplir mis objetivos.

A mi ascesor de tesis Ing. Oscar Cervantes Torres por su apoyo,consejos, pacienciencia y ayuda para que pudiera concluir satisfactoriamente este proyecto.

A mis amigos que han sido pieza fundamental para mi formacion en la vida.

Todo este trabajo a sido posible gracias a ellos.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN:</b> .....	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPITULO. 1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b> .....	<b>9</b>
1.1 EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA .....	9
1.2 FUNDAMENTOS SOBRE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	11
1.3 TRANSMISION DE LA ENERGIA ELÉCTRICA .....	12
<b>CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.</b> .....	<b>18</b>
2.1 CONCEPTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	18
2.2 SISTEMA PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN .....	24
2.3 SISTEMA SECUNDARIO DE DISTRIBUCIÓN.....	25
2.4 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN .....	26
2.5 CARACTERÍSTICAS DE CARGA .....	30
2.6 SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	33
<b>CAPÍTULO 3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN AÉREO.</b> .....	<b>35</b>
3.1 DEFINICIÓN.....	35
3.2 CONEXIÓN RADIAL .....	37
3.3 RED DE CONEXIÓN EN ANILLO .....	39
3.4 CONEXIÓN DE MALLAS .....	41
3.5 PROTECCIONES Y TIPOS DE CONDUCTORES.....	42
<b>CAPÍTULO 4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO.</b> .....	<b>55</b>
4.1 DEFINICIÓN.....	55
4.2 CARACTERÍSTICAS .....	56
4.3 CONEXIONES DE MEDIA TENSIÓN.....	56
4.4 CONEXIONES EN BAJA TENSIÓN.....	61
4.5 TIPOS DE CONDUCTORES. ....	62
4.6 INSTALACIONES SUBTERRÁNEAS. ....	67
4.7 PROTECCIONES.....	73
<b>CAPÍTULO 5. PROYECTO.</b> .....	<b>75</b>
5.1 CALCULO DE CORRIENTES .....	76
- CALCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN .....	79
- CALCULO DEL CENTRO DE CARGA .....	80
- ANÁLISIS DE CAÍDA DE TENSIÓN.....	82
<b>CONCLUSIONES:</b> .....	<b>96</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>97</b>

## Introducción:

A partir del descubrimiento de la energía eléctrica y su utilización comercial esta ha jugado un papel muy importante en nuestra vida facilitando nuestras labores diarias, de ahí que se haya vuelto una necesidad su distribución a través de todas las zonas habitadas del Planeta. Para lograr este objetivo se necesita de un Sistema eléctrico de Potencia (SEP). Este está constituido por:

- 1.- Generación: Esta consiste en transformar la energía (Térmica, Cinética, Nuclear, Química, Solar, etc.) en energía eléctrica.
- 2.- Transmisión: Son los elementos necesarios para transportar la energía generada en las centrales eléctricas hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias.
- 3.- Distribución: Esta comienza en la central eléctrica o subestación, pasando por la red primaria de distribución que comprende voltajes de 3 hasta 30KV esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, industria y comercio) llegando a los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que a la salida de estos centros es baja tensión que abarca desde 127 hasta 440V. Esta red de baja tensión puede colocarse de manera aérea o bien, subterránea.

Red de distribución aérea: Está compuesta por elementos que se encuentran a la intemperie como son; Transformador de distribución, postes, conductores (desnudos, aislados, trenzados o con recubrimiento) y las acometidas.

Red de distribución subterránea: La componen principalmente elementos que se encuentran bajo la superficie, enterrados o entubados en zanjas como son: Transformadores (Tipo pozo, Gabinete y Bóveda), Conductores y acometida

## Objetivos

El principal objetivo de este proyecto de tesis es realizar el diseño de una red de distribución subterránea en una zona urbana con diferentes tipos de cargas como son: Residencial, Comercial e Industrial aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera.

La realización de este proyecto tiene el fin de observar los diferentes tipos de redes de distribución, sus respectivos elementos de protección y la aplicación de estos dentro de un proyecto real ya que para este trabajo de tesis se buscó un condominio en construcción para el cual se diseñó una red de distribución subterránea con el fin de podernos encontrar con todas las complicaciones que en la práctica se presentan para la realización de este tipo de redes de distribución eléctricas.



En la siguiente figura se muestra la representación esquemática de un sistema de energía eléctrica



**Figura 1.1** Esquema del sistema de energía eléctrica

## CAPITULO. 1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

### 1.1 EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

El sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que tiene como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica de tal forma que se logre la mayor calidad al menor costo posible.

En un sistema de potencia, desde la generación hasta el consumo de la energía eléctrica, se requiere que se mantenga el suministro de energía de forma continua, es decir que este tenga el mínimo de interrupciones y en la cantidad que los diferentes tipos de usuarios demanden, otorgando una calidad de servicio apropiada ya que por ejemplo, una tensión inferior a la normal reduce notablemente la luminosidad en las lámparas incandescentes, y una tensión superior a la normal aumenta la intensidad luminosa de estas lámparas acortando su vida útil. En el caso de los motores eléctricos si se alimentan con tensión inferior a la nominal, absorben corrientes superiores a las nominales (de placa) y se pueden calentar aun cuando trabajen a la potencia nominal, una sobretensión ocasiona pérdidas en el núcleo, desperdiciándose así la energía con el posible deterioro de la máquina. Esto quiere decir que la tensión de servicio en cualquier nivel se debe especificar con una cierta variación sobre el voltaje nominal generalmente expresada en porcentaje. La frecuencia del sistema debe también mantenerse en valores cercanos a la nominal ya que es otro de los factores que determinan la calidad del servicio.

Lo anterior se debe cumplir tomando en cuenta que la carga en un sistema eléctrico varia a cada momento y para cualquier valor que tenga se deben satisfacer las condiciones de calidad y continuidad, ya que la industria depende forzosamente de la energía eléctrica para su funcionamiento así como los sectores residencial, comercial y rural requieren de un buen servicio.

En una forma bastante simple se puede decir que el sistema eléctrico se encuentra formado por varios elementos que se interconectan entre sí de tal forma que permitan conseguir el objetivo esperado.

En un sistema eléctrico de potencia los principales elementos que lo conforman son: Las fuentes de energía primaria (agua, carbón, petróleo, gas, material nuclear, etc.) los convertidores de energía turbina, caldera, transformadores, alternador, los dispositivos de protección y medición, las líneas de trasmisión, subtrasmisión, y redes de distribución, estos elementos se pueden observar en la figura 1.2.

Para hablar de fuentes de generación de energía eléctrica, es conveniente observar primero las formas mediante las cuales el planeta recibe energía. El origen de toda la energía es el sol, el cual emite esta energía en forma de luz y calor.

La cantidad de energía recibida por la tierra en forma de radiación es el equivalente a  $4 \times 10^{23}$  toneladas métricas de carbón por año, y la potencia a través de la atmosfera es alrededor de

$10^{11}$  Mw, no obstante de estas enormes cantidades de energía, solo una pequeña parte puede ser usada directamente debido a las bajas temperaturas con que es recibida, la mayor parte de esta energía es convertida a otras formas de energía, la cual usamos como fuentes primarias.

Entre las fuentes primarias de energía se encuentran los combustibles vegetales, combustibles fósiles, energía nuclear, energía química y energía natural. El promedio de energía usada en el mundo por persona es de 12000 Kwh, de los cuales aproximadamente el 10% es usada en forma de alimentos.

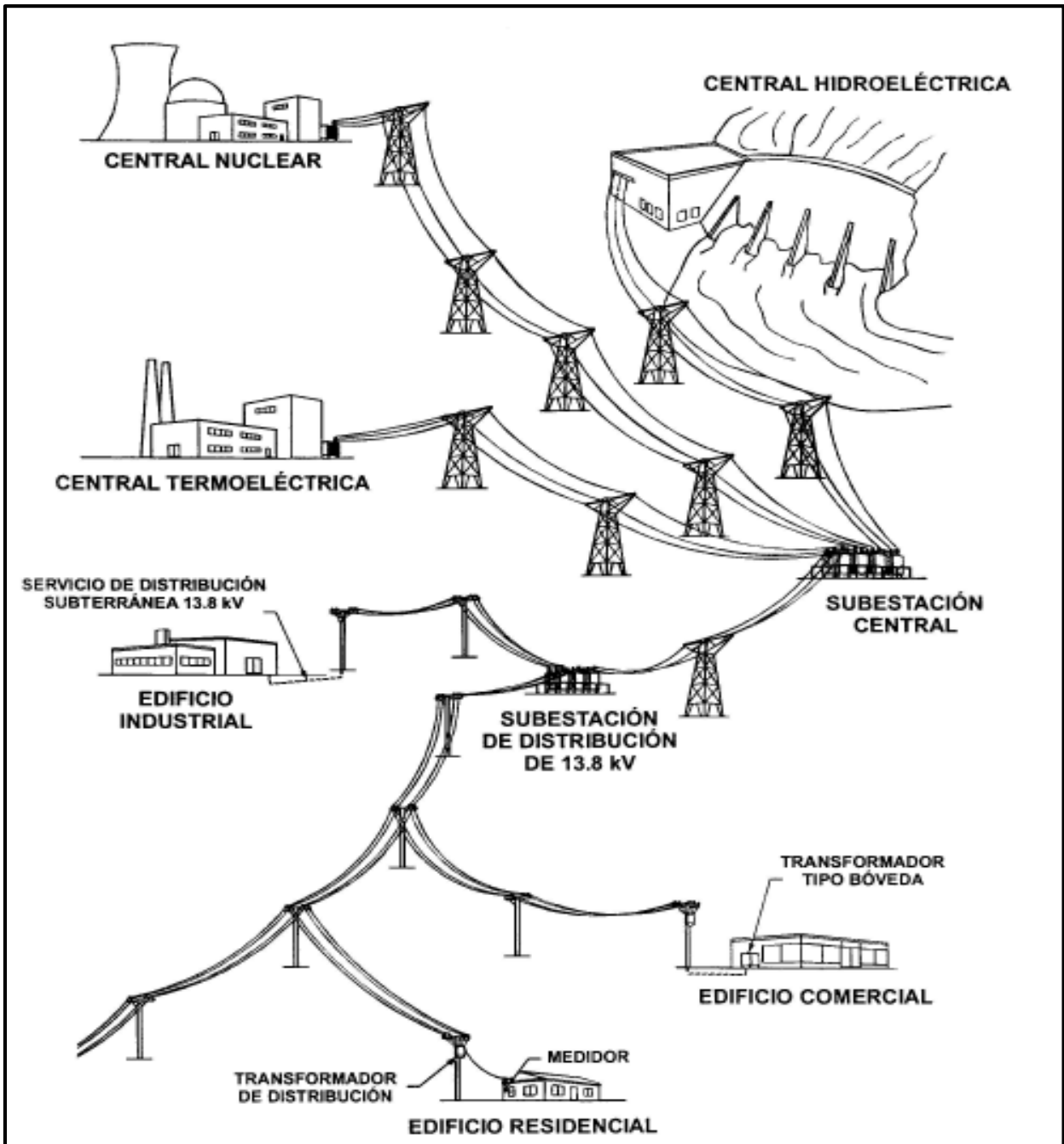
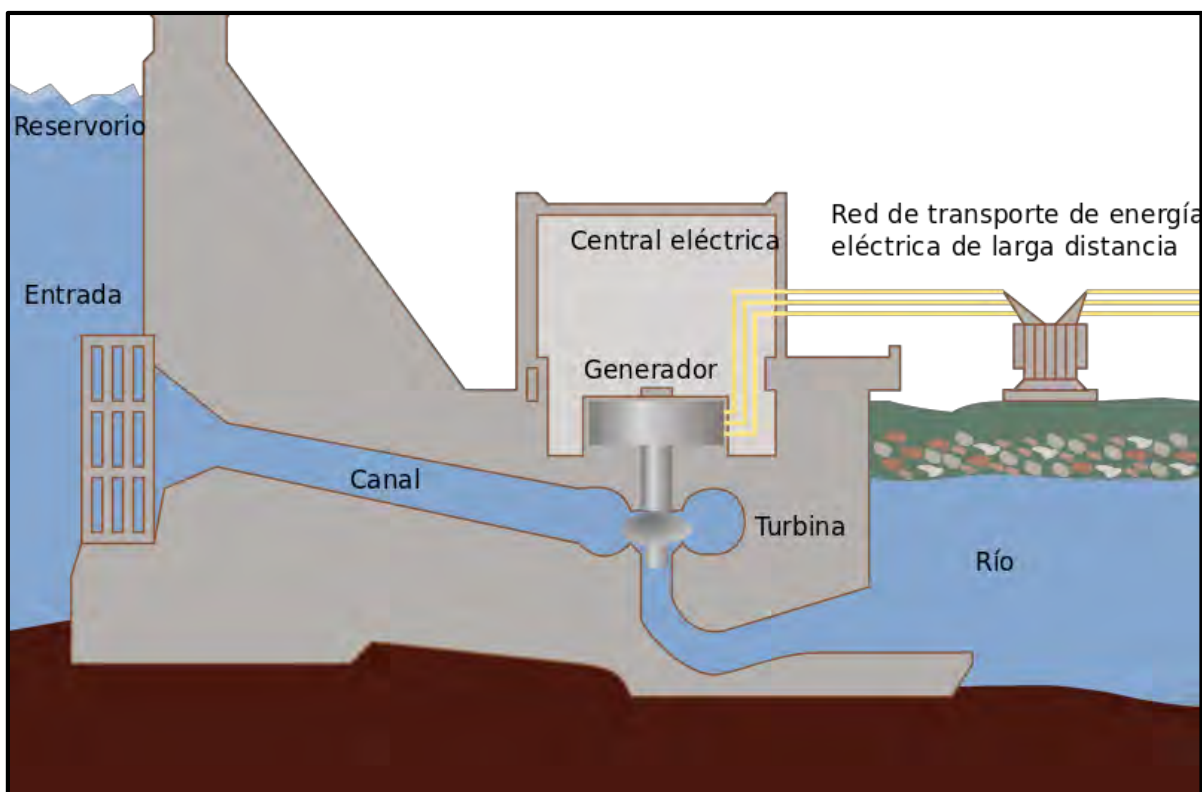


Figura 1.2 Sistema de producción y utilización de energía eléctrica

## 1.2 FUNDAMENTOS SOBRE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La generación es la etapa que lleva su desarrollo en las centrales eléctricas generadoras que producen energía por transformación a partir de las fuentes primarias. Las centrales eléctricas se pueden clasificar como: Centrales hidroeléctricas, centrales térmicas convencionales, centrales térmicas de ciclo combinado, centrales nucleares, centrales eólicas, centrales termoeléctricas solares, y centrales de biomasa.

En la siguiente figura se muestra la imagen de una planta hidroeléctrica



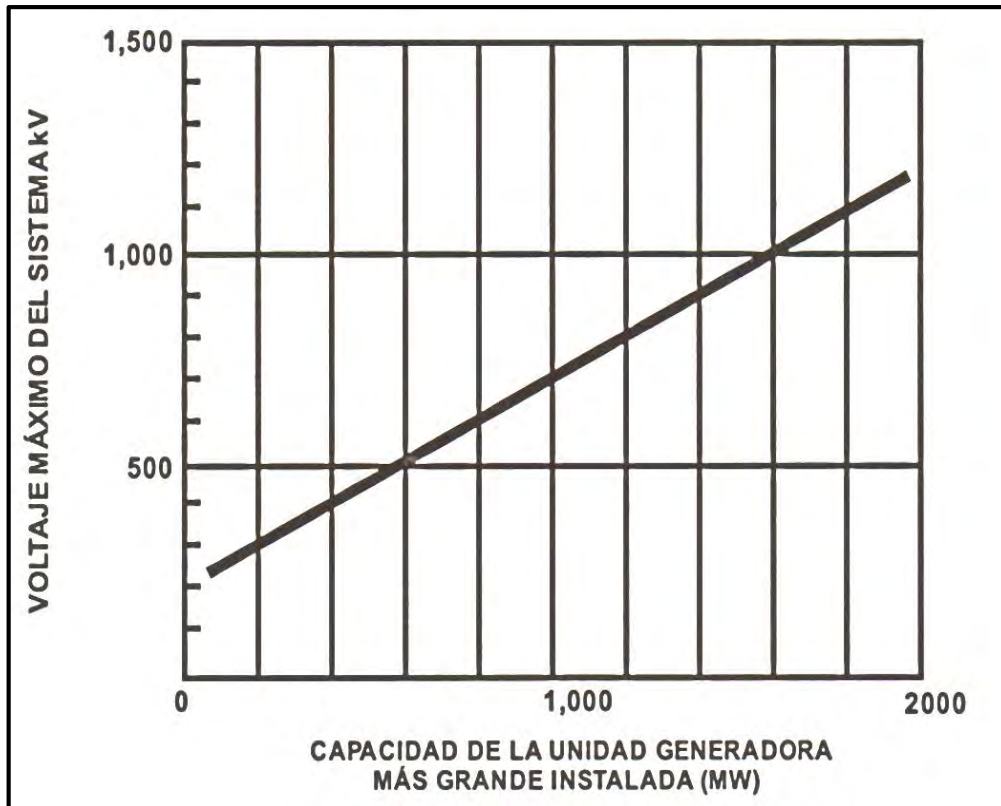
**Figura 1.3 Represa hidroeléctrica**

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que haya instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda. La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar la potencia suministrada.

### 1.3 TRANSMISION DE LA ENERGIA ELÉCTRICA

El inicio de una línea de transmisión puede ser una subestación elevadora, pero interconectan una red eléctrica nacional en barras o nodos de subestaciones al mismo nivel de tensión, uniendo los grandes centros de generación con los grandes centros de consumo y su función principal es transportar la potencia eléctrica a grandes distancias.

Una idea de cómo asociar la potencia de generación en una Central con el voltaje de la línea de transmisión, se da en la siguiente figura:



**Figura 1.4 Relación entre el voltaje de transmisión y el tamaño de la unidad generadora más grande**

Características de las líneas de transmisión.

El concepto general de una línea eléctrica es que tiene un conjunto de elementos (conductores, estructuras, torres, postes, aisladores, herrajes, etc.), cuyo propósito es transmitir la energía eléctrica a ciertas distancias, en la forma más económica posible y bajo condiciones técnicas y de servicio adecuada. Para cumplir con lo anterior, se debe realizar lo siguiente:

1. Las pérdidas de potencia no deben superar ciertos valores (se debe tener el mejor rendimiento posible en el proceso de transmisión).
2. La caída de tensión, se debe encontrar dentro de ciertos límites establecidos.

3. El calentamiento es elevación de temperatura de los conductores, no debe exceder los límites mecánicos en cables, empalmes, conectores, etc.

4. Los conductores en condiciones mecánicas extremas, deben estar sujetos a tensiones mecánicas de tracción que sean admisibles.

El cálculo eléctrico de las líneas representa un problema de equilibrio entre los requisitos de operación y los costos. Existen distintos criterios de cálculo de líneas eléctricas, y según la importancia de la línea, se deben considerar uno o más de ellos y con distinto grado de detalle.

La importancia de una línea se puede establecer en función de:

La potencia que deben transmitir.

La longitud de la línea (distancia a transmitir).

Las componentes de las líneas de transmisión.

Las principales componentes de las líneas de transmisión son aquellos elementos o materiales usados en su construcción, esto puede ser para líneas de transmisión en corriente directa (C.D.) o en corriente alterna (C.A.) aéreas, aun cuando en este capítulo se orienta principalmente a las líneas de transmisión de C.A. Estos materiales son principalmente: conductores, aisladores, herrajes, estructuras, soportes, torres o postes

#### Conductores

En la construcción de líneas de transmisión aéreas, se usan exclusivamente conductores metálicos de nudos que normalmente se obtienen por medio del cableado de hilo metálico alrededor de un hilo (alambre) central.

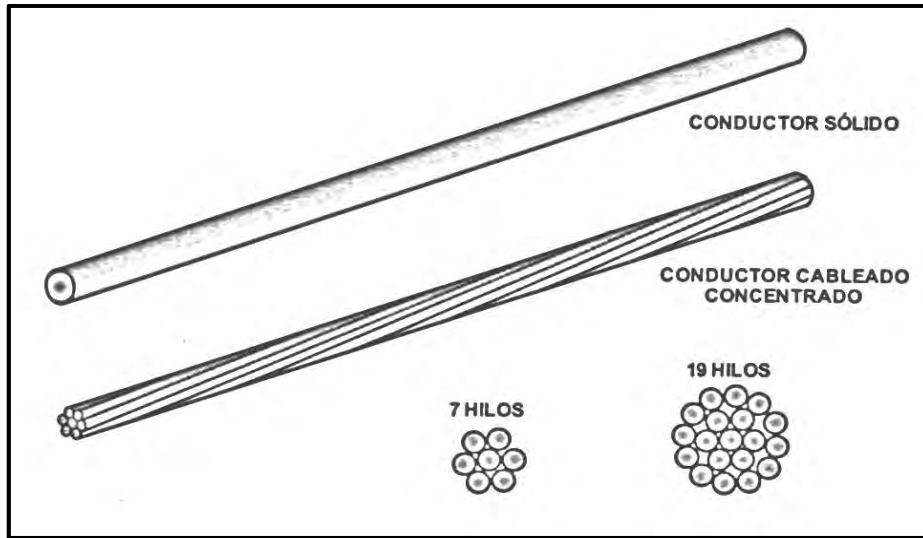
Los metales usados en la construcción de líneas aéreas deben tener al menos tres características por satisfacer:

Una baja resistencia eléctrica, para que las pérdidas por efecto joule sean bajas.

Una alta resistencia mecánica para soportar esfuerzos.

El menor costo posible.

Los materiales usados como conductores que cumplen con estos requisitos para la construcción de líneas de transmisión son: el cobre, el aluminio, aleación de aluminio y el aluminio-acero (ACSR).



**Figura 1.5 Tipos de conductores**

Para la toma de decisión de una línea en particular, se deben considerar las características eléctricas y mecánicas deseables. En el caso de conductores cableados, que se usan en la mayoría de los casos por la facilidad de manipulación mecánica, si los hilos son del mismo diámetro, la formación obedece a la siguiente regla:

$$N_{\text{HILOS}} = 3n^2 + 3n + 1$$

Donde.

$N_{\text{HILOS}}$  = Número de hilos.

$n$  = Número de capas.

De acuerdo con esta regla, se tiene la tabla siguiente:

NÚMERO DE CAPAS	NÚMERO DE HILOS
1	7
2	19
3	37
4	61
5	91

El área o sección de los conductores usados en las líneas de transmisión y redes de distribución, se pueden expresar en milímetros cuadrados ( $\text{mm}^2$ ) o de acuerdo con la Norma Americana en circular Mils o miles de circular Mils (MCM). Un circular mil se define como el área del círculo cuyo diámetro mide 0.001 de pulgada y su equivalencia en  $\text{mm}^2$  es:

$$1 \text{ CM} = 0.00005067 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ mcm} = 0.5067 \text{ mm}^2$$

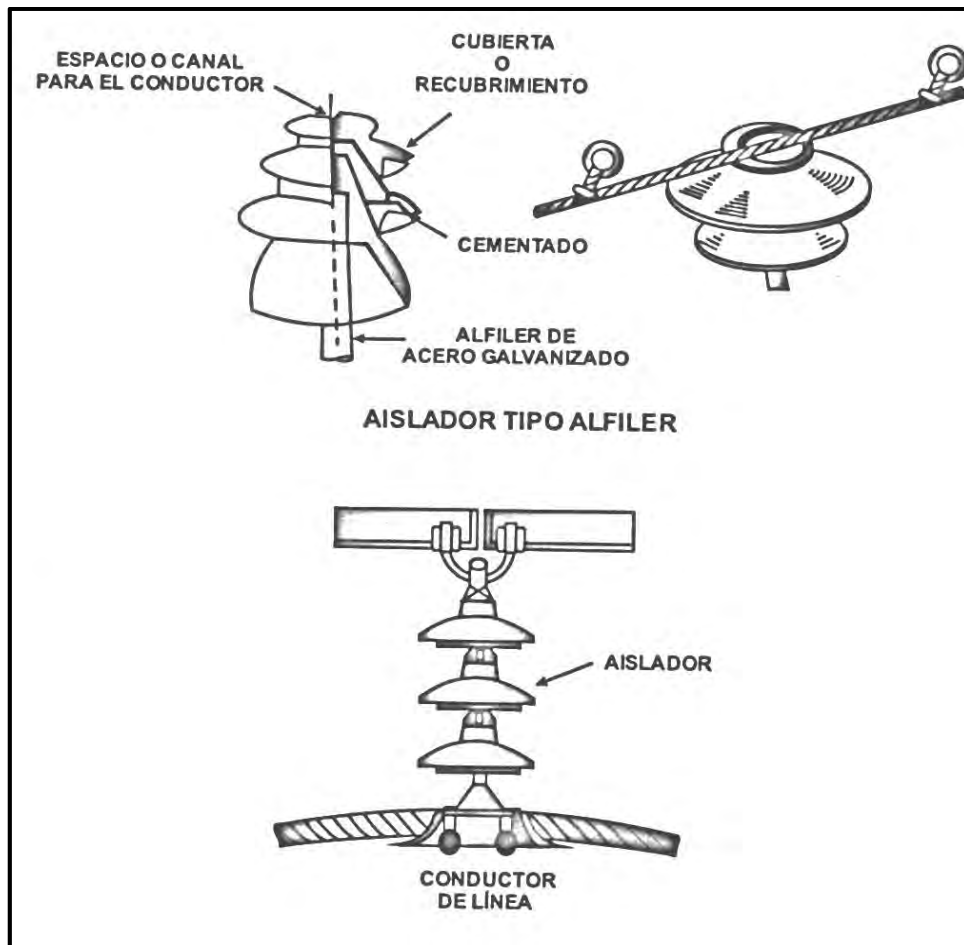
$$1 \text{ mm}^2 = 1.9735 \text{ MCM} = 2 \text{ MCM}$$

En los conductores ACSR, la sección considerada es la de aluminio y no la total.

### Conductores para líneas aéreas

En las líneas de transmisión aéreas, los conductores van sujetos a los aisladores por medio de los herrajes y se colocan sobre traveses (en las líneas de transmisión) o crucetas (normalmente en las redes de distribución, que a su vez se colocan sobre la torre (líneas) o postes (redes de distribución) que permiten dar las distancias de seguridad al suelo y a las partes no energizadas).

En la siguiente figura, se muestra el montaje de conductores sobre aisladores tipo alfiler (usados en distribución) y aisladores de disco tipo suspensión (más usados en transmisión).



**Figura 1.6 Aisladores tipo suspensión**



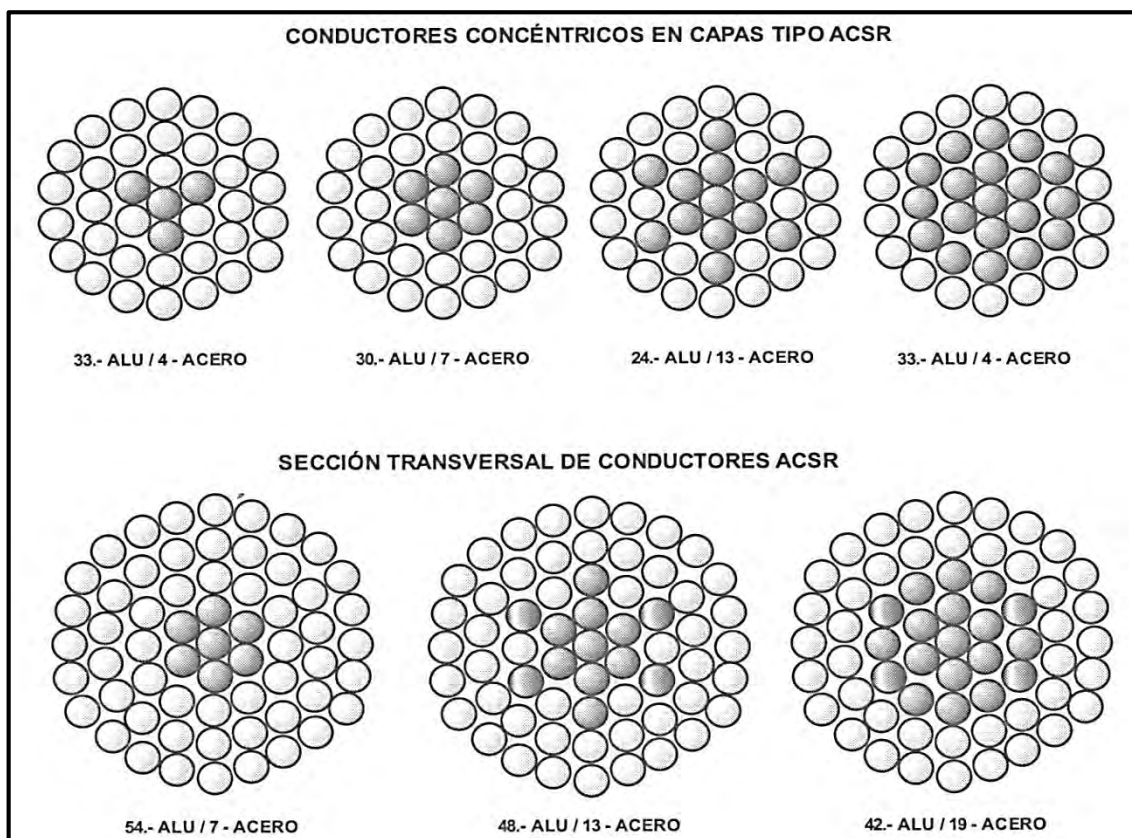
Los conductores más usados en líneas de transmisión son a base de aluminio y sus aleaciones. Algunas de las designaciones comerciales son las siguientes:

- Aluminio reforzado de acero (ACSR).
- Conductores de aluminio con refuerzo de aleación (ACAR).
- Conductores homogéneos de aleación de aluminio (AAAC).
- Cables homogéneos de aluminio puro (AAC).

#### Cables de Aluminio reforzado con acero

Por lo general, estos conductores están formados por varios alambres de aluminio de igual diámetro y de alambres de acero galvanizado. Los alambres van cableados en capas concéntricas, los centrales son de acero y las capas exteriores de alambre de aluminio, esto se puede observar en la figura 1.7.

Con relación a los conductores de aleación de aluminio (AAC) tienen mayor peso, pero sus ventajas mecánicas lo hace actualmente uno de los conductores más usados. Se aplican en líneas de transmisión y subtransmisión. Normalmente el diámetro de los conductores de aluminio es igual al de los de acero.



**Figura 1.7 Conductores concéntricos**

## Niveles de voltaje

Durante varios años, se ha hecho un esfuerzo por expandir los sistemas eléctricos elevando los niveles de voltaje para cada porción del sistema eléctrico de potencia. Se sabe que las pérdidas más importantes en el sistema de potencia, en el transporte de electricidad, son proporcionales al cuadrado de la corriente, de modo que si se duplica la corriente, se cuadruplican las pérdidas.

También se sabe que la potencia es el producto de la corriente por el voltaje, de modo que en la medida que el voltaje aumenta la corriente disminuye, y entonces las pérdidas también disminuyen para una cantidad de potencia transferida; por lo tanto, el voltaje más alto logrado, prácticamente es el más favorable para la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Los voltajes para las máquinas rotatorias (generadores y motores) tienen límites prácticos dados por limitaciones en el aislamiento y en la tecnología de enfriamiento. Los voltajes permisibles en las máquinas rotatorias se han incrementado, pero lentamente, el voltaje máximo para generadores es 24 kV y para motores alrededor de 12 kV.

Los límites de voltaje para transmisión están ajustados por los dispositivos de protección (principalmente los interruptores), como los transformadores y aisladores. Algunos de los rangos de voltaje usados por distintas empresas eléctricas, son los que se indican a continuación:

1. Generadores:	11 kV a 24 kV
2. Transmisión en extra alta tensión:	345 kV, 400 kV, 500 kV y 765 kV en corriente alterna y alrededor de $\pm 500$ kV o $\pm 600$ kV en corriente directa.
3. Transmisión:	115 kV a 230 kV.
4. Sub transmisión:	34.5 kV a 69 kV.
5. Distribución:	13.8 kV, 23.0 kV

## CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

### 2.1 CONCEPTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

El creciente uso de la potencia eléctrica requiere de un sistema de distribución bien planeado, el requerimiento importante para tal sistema es que la potencia sea distribuida a los consumidores en forma económica y eficiente.

Al arreglo para transportar la potencia eléctrica desde los bloques de las fuentes (plantas generadoras o subestaciones importantes) a los distintos consumidores, se le conoce como: “El sistema distribución”.

La distribución de la potencia eléctrica es una parte importante de un sistema eléctrico de potencia, con un arreglo apropiado de circuito, la potencia se puede distribuir a varios consumidores en forma económica y eficiente, en la siguiente imagen se muestra un sistema de distribución.

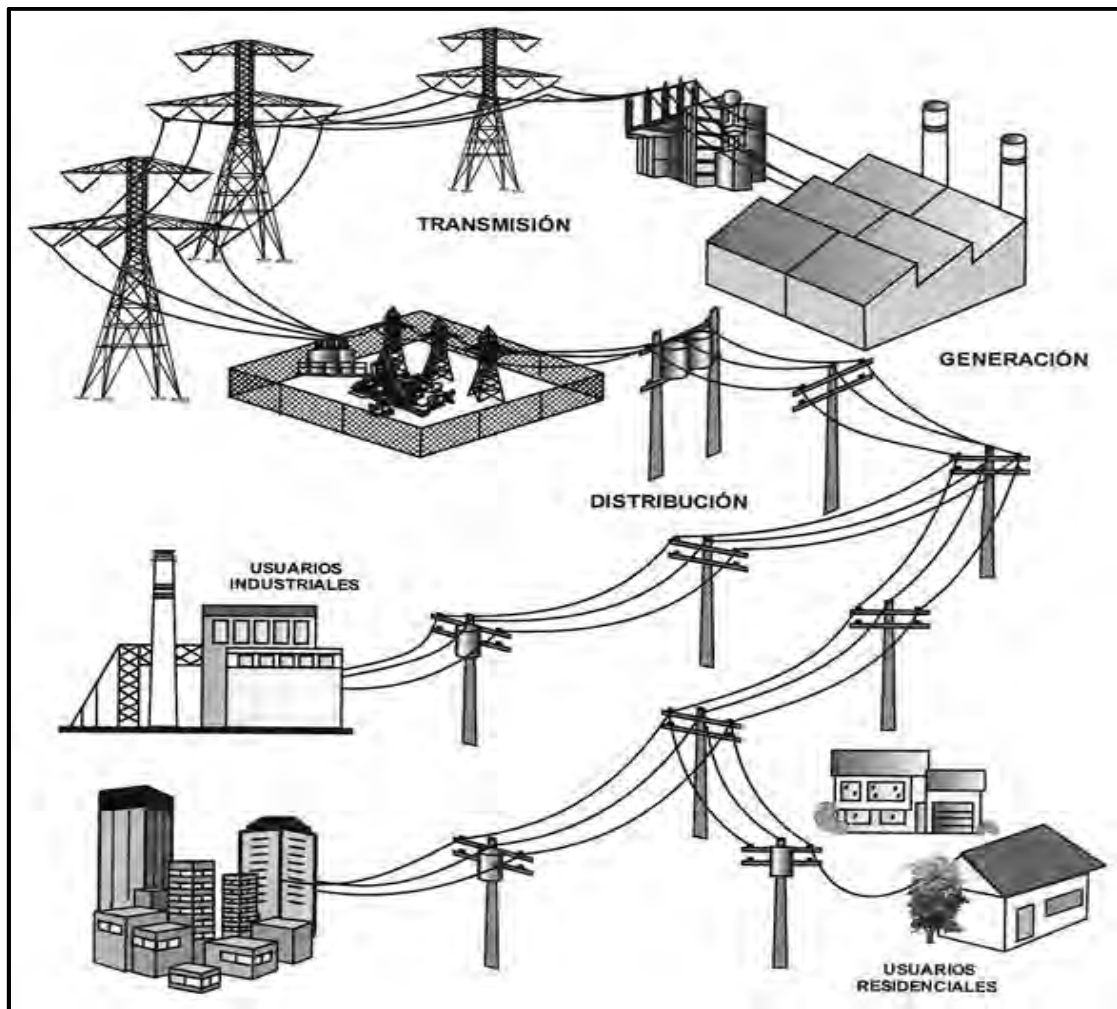


Figura 2.1 Sistema eléctrico convencional

En la distribución eléctrica el proceso va desde su generación en las centrales de corriente alterna a su consumo en la industria y domicilios. Consiste en el transporte de electricidad desde la red de alta tensión hasta el consumidor final. Esta operación requiere la utilización de un transformador que reduzca el voltaje, colocándolo a los niveles requeridos por el usuario (normalmente, 127 voltios).

La afectividad con la que las redes de distribución realizan esta función se mide en términos de regulación de voltaje, continuidad del servicio, flexibilidad, eficiencia y costo. El costo de las redes de distribución representa aproximadamente el 50% del costo del sistema eléctrico en su conjunto.

Las tareas de la distribución son el diseño, construcción, operación y mantenimiento del sistema para poder brindar, al menor costo posible, un servicio eléctrico adecuado al área bajo consideración, en la actualidad y en un futuro próximo. Las redes de distribución toman diferentes formas dependiendo de las características de la carga a servir, existiendo, sin embargo, varios principios comunes que éstas deben cumplir. Así, las redes de distribución deben brindar servicio con un mínimo de variaciones del voltaje y un mínimo de interrupciones.

Las interrupciones del servicio deben ser de corta duración y afectar al menor número posible de consumidores. El costo total, incluyendo construcción, operación y mantenimiento del sistema, debe ser lo más económico posible, en dependencia de la calidad del servicio requerido por la carga en cuestión. El sistema debe ser flexible para permitir exposiciones pequeñas y cambios en las condiciones de carga con un mínimo de modificaciones y gastos.

Como se puede apreciar de lo anteriormente expuesto, el diseño, construcción, mantenimiento y operación de las redes de distribución son factores muy importantes a considerar para poder brindar un servicio eléctrico de calidad a un costo razonable.

### Términos importantes

Los siguientes son términos importantes relacionados con los sistemas de distribución:

1. Alimentador: Un alimentador es un conductor que conecta la subestación (a la central generadora con generación distribuida) al área en donde la potencia se va a distribuir, por lo general no se conectan derivaciones de los alimentadores, de modo que la corriente es la misma a través de toda su longitud. Cuando se diseña un alimentador, la corriente que conduce es su principal consideración.
2. Distribuidor: Un distribuidor es un conductor desde donde se toman derivaciones para alimentar a los consumidores, las corrientes de carga de un distribuidor varían a lo largo de su longitud.
3. Ramal: Un ramal es generalmente en cable pequeño que conecta al distribuidor a las terminales del consumidor.

## Partes componentes de un sistema de distribución

Un sistema de distribución está compuesto fundamentalmente por:

- a) Líneas de subtransmisión
- b) Subestaciones de distribución
- c) Alimentadores primarios
- d) Transformadores de distribución
- e) Alimentadores secundarios
- f) Acometidas
- g) Medidores.

a) Líneas de subtransmisión:

Son las líneas que partiendo de una fuente, planta o subestación van a alimentar subestaciones de distribución o industriales en las cuales el voltaje se reduce a los valores requeridos para el servicio de la industria o a los alimentadores de los circuitos de distribución.

Sobre la base de esta definición pueden considerarse como de subtransmisión: Las líneas que van desde las plantas a las subestaciones industriales. En este caso el voltaje de la línea puede ser desde 2,4 hasta 13,8 Kv. - Las líneas que van desde las subestaciones de enlace hasta la subestación industrial. Nivel de voltaje 34,5kv. - Las líneas que van desde la subestación de salida de la planta hasta una subestación de distribución (S.D.).

Nivel de voltaje 34,5 Kv. En este análisis está considerando las líneas de subtransmisión por el servicio que prestan y no por el nivel de voltaje de las mismas. Normalmente el voltaje de las líneas de subtransmisión es de 34,5 Kv y en muchos casos se toma este nivel de voltaje para definir estas líneas, aunque esto no es lo correcto.

b) Subestaciones de distribución:

Consideramos como de distribución las subestaciones que reciben las líneas de subtransmisión y reducen su voltaje a los valores normales en los circuitos de distribución desde 2,4 hasta 13,2 kV.

c) alimentadores primarios o distribución primarios:

Son las líneas que saliendo de una subestación de distribución van a alimentar a los transformadores de distribución. Su valor de voltaje varía desde 13.8 hasta los 23 Kv.

d) transformadores de distribución:

Son los transformadores destinados a reducir el voltaje de los valores usados en los circuitos de distribución primaria de 2,4 a 13,2 Kv, a los valores de utilización en las residencias, comercios e industrias de 120 a 480 v.

e) alimentadores secundarios o distribución secundaria:

Son las líneas que partiendo de los transformadores de distribución van a dar servicio a los consumidores del área por medio de las acometidas.

f) acometidas:

Son las líneas que partiendo de los alimentadores secundarios se extienden hasta los contadores (medidores) de los consumidores.

g) medidores:

Son los instrumentos conectados a los consumidores, destinados a medir la potencia consumida por los mismos.

Clasificación de los sistemas de distribución

Los sistemas de distribución se pueden clasificar en las formas siguientes:

1. De acuerdo a la naturaleza de la corriente.

De acuerdo ésta, el sistema de distribución se puede subclasificar como:

- a) Sistema de Distribución en C.D.
- b) Sistema de Distribución en C.A.

El sistema de distribución en C.A. se emplea en forma universal, debido a varias ventajas que tiene la C.A. sobre la C.D.

2. De acuerdo a la naturaleza de la construcción.

Los sistemas de distribución se pueden clasificar como:

- a) Sistemas de Distribución Aéreos.
  - b) Sistemas de Distribución Subterráneos.
  - c) Sistemas de Distribución mixtos.
- a) Redes de Distribución Aéreas. Son aquellas en las que los alimentadores primarios, los ramales, los transformadores, interruptores, seccionadores, etc., están soportados por estructuras que los mantienen separados de tierra a la altura establecida por las normas.
  - b) Redes de Distribución Subterráneas. Son aquellas en las cuales los alimentadores primarios, ramales, transformadores, etc., se hallan bajo tierra. Los conductores pueden hallarse situados en conductos enterrados directamente en la tierra y los transformadores, interruptores, seccionadores, etc., se hallan en cámaras que pueden encontrarse en los edificios o comercios existentes o bien bajo tierra.

- c) Redes de Distribución Mixtas. Son aquellas en que partes de la red se encuentran subterráneas mientras que en otras partes de la misma la distribución se ejecuta por líneas aéreas, este tipo de construcción es muy poco utilizado.

3. De acuerdo con el número de conductores:

- a) Sistema de 2 conductores en C.D.
- b) Sistema monofásico de 2 conductores en C.A.
- c) Sistema trifásico de 3 conductores en C.A.
- d) Sistema trifásico de 4 conductores en C.A.

4. De acuerdo con el esquema de conexión:

- a) Sistemas radiales.
- b) Sistemas en anillo.
- c) Sistema en malla.

Atendiendo a su configuración las redes de distribución pueden ser de tipo Radial, conexión en anillo y conexión en mallas, indicando sus nombres la configuración que toma la red con el fin de brindar el servicio solicitado. Las características de cada uno de estas redes son diferentes y las mismas serán consideradas en detalle posteriormente. Las redes más comunes utilizadas en distribución son las del tipo radial.

5. Por el servicio que prestan:

- a) Residenciales.
- b) Industriales.
- c) Comerciales.
- d) Alumbrado.
- e) Mixto.

Atendiendo al servicio que prestan, las redes de distribución pueden clasificarse en residenciales, comerciales, industriales, de alumbrado y mixtas. Sus nombres respectivos indican el tipo de cargas a servir por dichas redes. Las redes más comunes de las zonas urbanas son las tipos mixtas.

6. Por la densidad de carga o tipo de área servida:

- a) Rurales.
- b) Urbanas.
- c) Mixtas.

De acuerdo a la densidad de carga a servir las redes de distribución pueden clasificarse en urbanas, rurales y mixtas, ahora bien, no es posible establecer una definición que permita determinar, cuando un circuito deja de ser de distribución urbana y pasa a ser de distribución rural y viceversa. Para establecer cuando un circuito se considera de uno u otro tipo de distribución necesitamos utilizar el término densidad de carga, esto es, los kilovoltamperes por kilómetros o los kilovoltamperes por kilómetro cuadrado que solicita la carga a servir.

- a) Basado en esta disposición podemos establecer como distribución rural típica aquella que sirve una carga de 50 KVA o menos distribuida en una longitud de 2-3 Km.
- b) una distribución urbana típica aquella que sirva una carga de 2 000 KVA/km.

Ahora bien, las redes urbanas tienen lógicamente una densidad de carga mayor en el centro de la ciudad que en sus alrededores, donde en muchos casos el circuito se va extendiendo para servir solicitudes cada vez más distintas unas de otras. En esta zona de densidad de carga es difícil establecer cuando el circuito deja de ser de distribución urbana y pasa a ser de distribución rural.

En los circuitos de distribución urbana se necesita tener mejor regulación de voltaje, mayor seguridad de la continuidad en el servicio y un por ciento de pérdidas menor que los circuitos rurales. En los circuitos de distribución rural normalmente el factor mecánico es el que determina el calibre del conductor, la regulación del voltaje y continuidad del servicio no son factores determinantes debido a que las características de las cargas permiten más flexibilidad.

Un factor característico de las líneas rurales es el uso de tramos mayores y postes más bajos debido a que la separación vertical permisible es menor y no existan circuitos de distribución secundarios, los cuales al estar separados 30 cm. entre sí, limitan el tramo permisible.

En algunos casos, cuando es necesario extender circuitos de distribución secundarios en líneas rurales existentes, se instalan postes de menor altura para soportar circuitos secundarios solamente. Pueden instalarse también directamente en el poste si el número de conductores a instalar y la altura de los postes existentes lo permiten.



## 2.2 SISTEMA PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN

Una red de distribución primaria es la parte del sistema, que partiendo de las subestaciones reductoras, distribuyen la energía eléctrica por su estructura topológica. Usan tensiones que pueden ser; 3, 6.9, 11, 13.8, 23, 24.9 y 34.5 Kv. En México las tensiones más utilizadas son; 13.8 y 23 Kv.

Estas redes atienden a los consumidores primarios y a los transformadores de distribución que alimentan a la red secundaria en baja tensión. Dentro de los consumidores primarios destacan las industrias de tamaño medio, centros comerciales, instalaciones de alumbrado público, etc. Puede ser aéreas o subterráneas, las aéreas de uso más común por su menor costo y las subterráneas encontrando gran aplicación en áreas de mayor densidad de carga, por ejemplo, la zona central de una metrópoli que tienen restricciones de impacto visual.



**Figura 2.2 Red de distribución primaria**

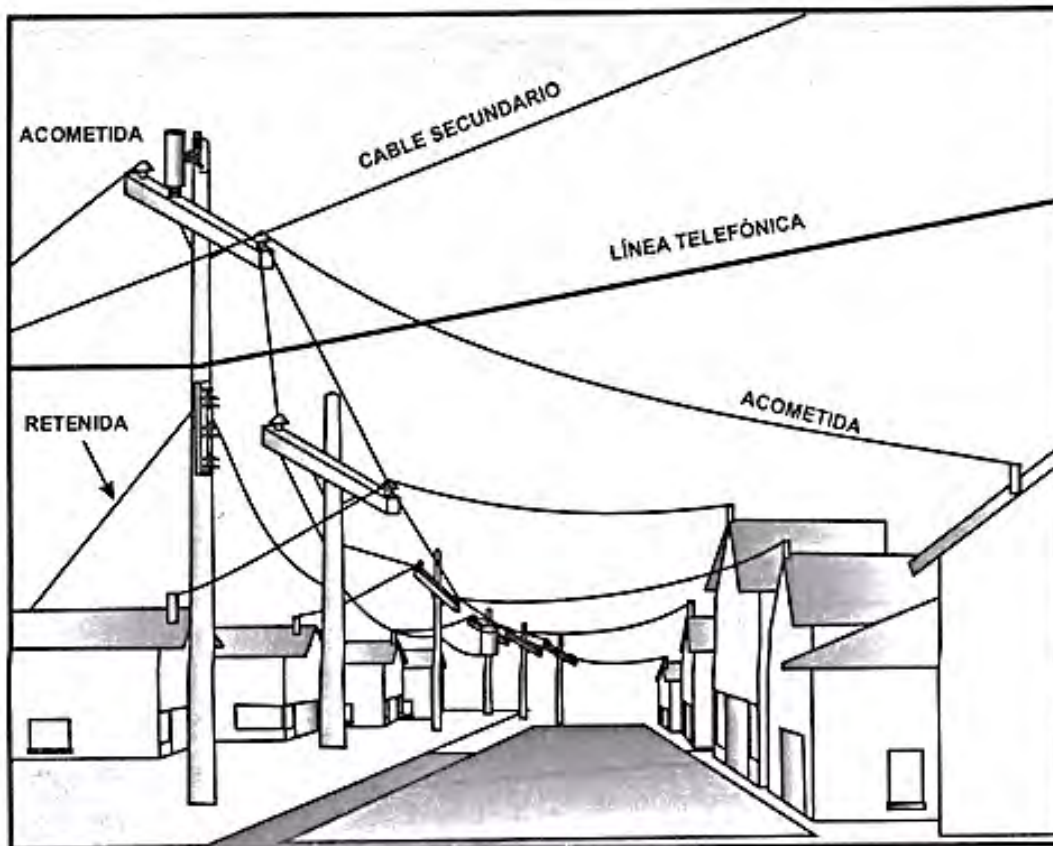
### 2.3 SISTEMA SECUNDARIO DE DISTRIBUCIÓN

Son las redes que parten de las subestaciones o transformadores de las redes primarias y alimentan directamente a las distintas cargas o receptores, de manera que constituyen la última etapa en la distribución de la energía eléctrica y alimenta a cargas trifásicas o monofásicas con voltajes de 420, 220 y 127 Volts.

Una red de Distribución Secundaria está diseñada para transportar la energía eléctrica suministrada a la tensión de servicio de los abonados desde la salida de baja tensión de los puntos de transformación (transformadores) hasta las acometidas. También se ubican en esta red, los dispositivos del alumbrado público.

Estos sistemas reducen de la tensión primaria (13.8 y 23 Kv), a tensión secundaria o de baja tensión por medio de transformadores, cuentan por lo general con apartarrayos para la protección contra sobretensiones y con fusibles para la protección contra sobrecorrientes.

Estos dispositivos de protección están instalados en el lado primario, por el lado secundario por lo general no tienen ninguna protección; los transformadores usados en las redes aéreas, normalmente son trifásicos y están directamente instalados en postes y sus potencias nominales normalizadas son 45, 75 y 112.5 KVA.



**Figura 2.3 Instalación de red secundaria**

## 2.4 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

Una subestación eléctrica es un arreglo de componentes eléctricos que incluyen barras, transformadores de potencia, interruptores, cuchillas desconectadoras, auxiliares, etc. Las subestaciones pueden estar localizadas en las centrales eléctricas (elevadoras) en los sistemas de transmisión y distribución y en las instalaciones de los consumidores, en principio tienen arreglos y componentes similares.

Básicamente una subestación eléctrica consiste de un número de circuitos entrantes y salientes conectados a un sistema de barras común que son conductoras. Cada circuito tiene un cierto número de componentes eléctricos, todas estas componentes están conectadas en una secuencia definida, de manera que un circuito se puede desconectar durante la operación por medio de control normal y también en forma automática durante las condiciones anormales de operación, como por ejemplo un cortocircuito.

Las subestaciones eléctricas son parte integral de un sistema de potencia y forma eslabones importantes entre las centrales de generación, los sistemas de transmisión, los sistemas de distribución y las cargas o usuarios, sus funciones principales son las siguientes:

- Alimentar o proporcionar la potencia eléctrica requerida por los consumidores en forma continua e ininterrumpida.
- Cubrir geográficamente lo máximo que requiere el suministro de la red.
- Dar la máxima seguridad del suministro.
- Acortar lo más posible la duración de las fallas.
- Contribuir a la máxima eficiencia de las plantas y de la red.
- Alimentar la potencia eléctrica dentro de los límites especificados de voltaje.

### Subestaciones elevadoras

Estas subestaciones se construyen normalmente como parte de las centrales generadoras de energía eléctrica, cuya función es elevar los niveles de tensión proporcionados por los generadores para transmitir la potencia generada a los puntos de interconexión de la red o a los grandes centros de consumo.

### Subestaciones de transmisión

Es aquella que se construye en la proximidad de los grandes bloques de carga y está conectada a través líneas de transmisión. La subestación central de transmisión es otra subestación receptora intermedia.

### Subestación de subtransmisión

Es aquella construida en general en el centro de los grandes bloques de carga, está alimentada por la subestación receptora, de donde salen los alimentadores de distribución primarios, alimentando directamente los transformadores de distribución y/o las subestaciones del consumidor.

### Subestaciones del consumidor

Generalmente son aquellas construidas en propiedades particulares, alimentadas por medio de alimentadores de distribución primaria, que parten de las subestaciones de subtransmisión y que alimentan los puntos finales de consumo.

### Transformadores

Los transformadores de distribución son utilizados para reducir la tensión trifásica en redes de distribución eléctrica a tensión de consumo domiciliaria, principalmente en áreas metropolitanas y para aplicaciones industriales.

### Transformadores de distribución tipo poste

El Transformador tipo poste es aplicable a sistemas de distribución aéreos, en fraccionamientos residenciales, colonias populares, en el centro de las ciudades, pequeñas industrias, centros comerciales y para cargas diversas. Este es el transformador más utilizado para la electrificación urbana y rural (figura 2.4)



**Figura 2.4 Transformador tipo poste**

## Transformadores subterráneos tipo pedestal

El pedestal trifásico está diseñado para operar a la intemperie y estar montado sobre una base típicamente de concreto. Tiene integrado un gabinete a prueba de vandalismo, el cual contiene los accesorios y las terminales de conexión.

Los transformadores del tipo pedestal trifásico se utilizan en lugares donde la seguridad y apariencia son un factor decisivo, tales como:

- Desarrollos comerciales
- Desarrollos turísticos
- Edificios de oficinas y/o residenciales
- Hoteles
- Hospitales
- Parques eólicos
- Pequeña y mediana industria bajo el concepto de subestaciones compactas
- Universidades



**Figura 2.5 Transformador tipo pedestal**

## Transformador subterráneo tipo pozo

La subestación subterránea se compone básicamente de un seccionador de maniobras tipo inundable y transformador(es) sumergibles o parcialmente sumergibles.

El seccionador de maniobras podrá ser de tres, cuatro o cinco vías para entrada, salida y derivaciones a transformadores. La operación selectiva del seccionador debe ser tripolar por medio de pértigas, que actúan sobre los accionamientos. La conexión a los terminales de MT es de frente mediante terminales premoldeados tipo codo.

Las tapas de la caja que contiene el seccionador de maniobras deben ser metálicas en lámina corrugada.

El transformador de la subestación subterránea es de tipo sumergible u ocasionalmente sumergible, con todos los bujes de conexión por la tapa superior (figura 2.6).

La subestación subterránea se instala en cajas de inspección separadas, una para el transformador y otra para el seccionador de maniobras comunicadas por un banco de ductos en cárcamo.

La protección de MT del transformador debe ser interna. Los bornes de MT deben ser tipo codo y herméticos a la humedad. Los bornes de BT deben ser aislados.

El tablero general de acometidas y el armario de medidores, deben estar ubicados fuera de la caja de instalación del transformador y dentro del predio que se alimente.



**Figura 2.6 Transformador tipo pozo**

#### Transformadores tipo bóveda

Los transformadores tipo bóveda pueden estar bajo o sobre tierra, y se montan dentro de bóvedas normalmente fabricadas de hormigón. Los transformadores de bóveda aportan energía eléctrica a zonas densamente pobladas de grandes ciudades y aplican como fuente de energía secundaria en los sistemas de redes eléctricas. Los transformadores de bóvedas se tienen que diseñar de manera tal de estar protegidos de la inmersión, aunque en general están ubicados en lugares a salvo de la humedad.

## Especificaciones de transformador tipo sumergible

Los transformadores fabricados bajo las especificaciones de CFE estarán expuestos a inundaciones, por lo que deben ser totalmente sumergibles en agua (equipo sumergible), incluyendo las conexiones para cables, equipo seccionador, fusibles internos y los accesorios externos, sin interrumpir el suministro de energía eléctrica.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS DE CARGA

La carga eléctrica es un conjunto de aparatos y equipos que consumen energía eléctrica para desarrollar un proceso o satisfacer las necesidades más comunes, estas cargas se pueden clasificar en dos tipos.

### a) Por su uso

Cargas residenciales: Chica 10 KW , 1  $\emptyset$

Mediana 15 KW , 2  $\emptyset$

Grande 20 KW , 3  $\emptyset$

Cargas comerciales: Estas cargas son en baja tensión de 1  $\emptyset$ , 2 $\emptyset$  y 3 $\emptyset$

Cargas industriales: Estas cargas necesitan una demanda más grande por lo tanto son alimentadas en media tensión.

### b) Por su ubicación geográfica

Carga rural: Este tipo de cargas son menores a 1 MVA/Km<sup>2</sup>

Carga semiurbana: Esta cargas van de 1 – 5 MVA/Km<sup>2</sup>

Carga urbana: La densidad de carga se encuentra entre 5 – 40 MVA/Km<sup>2</sup>

Carga urbana central: Contiene la una densidad de carga mayor a 40 MVA/Km<sup>2</sup>

### c) Por su dependencia o confiabilidad

Cargas normales: Este tipo de cargas permiten tener interrupciones del servicio por periodos de tiempo prolongados (no más de 8 horas).

Cargas semisensibles: Estas cargas aceptan interrupciones del servicio pequeñas (máximo 15 minutos).

Cargas sensibles: Estas cargas no permiten tener una interrupción en el servicio como son hospitales, aeropuertos, edificios gubernamentales, etc.

**Carga instalada:** es la suma de todas las potencias nominales de los aparatos o equipos eléctricos que consumen energía eléctrica dentro de un servicio o una instalación.

La carga máxima por vivienda depende del grado de utilización que se desee alcanzar, por lo que se establecen dos grados de electrificación:

Electrificación básica, para cubrir la utilización de diversos aparatos eléctricos de uso común sin necesidad de obras posteriores de adecuación.

Electrificación elevada, para viviendas con superficies útiles superiores a 160 m<sup>2</sup>, que prevén una utilización de electrodomésticos mayor a la permitida por la electrificación básica o con sistemas de calefacción eléctrica y aire acondicionado.

**Densidad de carga:** es la carga instalada entre el área o superficie.

$$\frac{\text{carga instalada}}{\text{area}} = \frac{W}{\text{m}^2} = \frac{Kw}{\text{Km}^2}$$

**Demanda:** La demanda de una instalación o sistema de distribución es la carga en las terminales receptoras tomadas en un valor medio en determinado intervalo de tiempo.

**Factor de demanda:** se define como la relación entre la demanda máxima y la carga instalada (sirve para indicar el % de energía que se consume), pero también puede interpretarse como la cantidad promedio de electricidad demandada por una vivienda en 24 horas.

$$Fd = \frac{\text{Demanda maxima}}{\text{Carga instalada}} = \leq 1 \quad [\%]$$

**Demanda máxima:** es el máximo valor que se presenta en el periodo del día (se utiliza para definir la capacidad nominal de un sistema).

$$Dm = \text{Factor de demanda} * \text{Carga instalada}$$

**Factor de utilización:** es la relación entre la demanda máxima del sistema y la capacidad nominal de dicho sistema (sirve para indicar si el sistema trabaja correctamente).

$$Fu = \frac{\text{Demanda maxima del sistema}}{\text{capacidad nominal}} = [\%]$$



**Demanda promedio:** Es la sumatoria de demandas en cada hora entre el periodo de tiempo.

$$D_p = \frac{\sum \text{Demanda}}{t}$$

**Factor de carga:** Es la relación entre la demanda promedio en un intervalo dado y la demanda máxima que se observa en el mismo intervalo; basándose en lo anterior se puede expresar el concepto en forma matemática.

$$F_c = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda máxima}}$$

**Factor de diversidad:** Relación entre la suma de las demandas máximas en las distintas partes de un sistema eléctrico y la demanda máxima de todo el sistema.

$$F_{Div} = \frac{\sum \text{Demanda máxima individual}}{\text{Demanda máxima del sistema (conjunto)}} \geq 1 \text{ [%]}$$

**Factor de coincidencia:** Se define como el inverso del factor de diversidad.

$$F_{CO} = \frac{1}{\text{Factor de diversidad}}$$


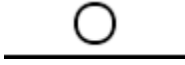
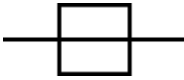



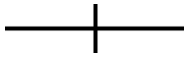










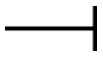

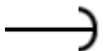
**Demanda máxima diversificada:** Es la demanda máxima del sistema entre el número de cargas que se tienen en dicho sistema.




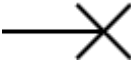






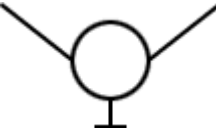
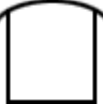
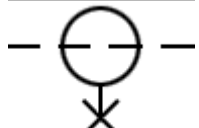

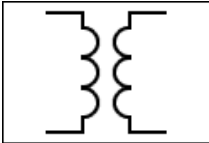
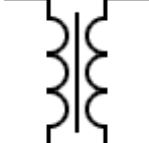
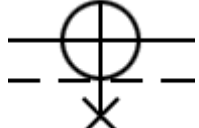


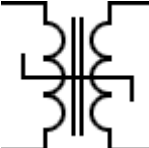
$$\frac{\text{Demanda máxima del sistema}}{n} \quad n = \text{numero de cargas}$$

**Demanda máxima coincidente:** Relación entre la sumatoria de las demandas máximas y el número de cargas en el sistema.

$$\frac{\sum \text{Demanda máxima individual}}{n}$$

## 2.6 SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Línea de distribución eléctrica Cable / Conductor		Línea dentro de un conducto Línea dentro de un tubo, canaleta...
	Línea pasante a través de una cámara de acceso		Línea subterránea
	Línea submarina		Línea subterránea
	Línea con bloque de gas o aceite		Línea con derivación del bloque de gas o aceite
	Línea con válvula de detección de gas o aceite		Línea de sondeo
	Línea bajo enlucido		Línea de alimentación de corriente alterna, CA
	Ánodo de protección		Línea de alimentación de corriente continua, CC
	Fin de línea no conectada		Fin de línea no conectada y aislada
	Línea aérea		Retención vertical
	Soporte de línea aérea		Retención inclinada

	Soporte de madera para línea aérea		Antideslizamiento del cable
	Soporte metálico para línea aérea		Luminaria
	Línea aérea sobre soporte de madera		Torre de soporte eléctrica
	Línea aérea sobre soporte metálico		Panel de distribución
	Línea aérea sobre soporte de madera y retención inclinada		Tablero empotrado
	Línea aérea sobre soporte y retención vertical		Cabina para instalación exterior Símbolo genérico
	Línea subterránea con soporte y luminaria		Cabina para instalación exterior Ej: Cabina de amplificación
	Transformador eléctrico Dos devanados y núcleo de aire.		Transformador con núcleo Fe-Si (hierro-silicio)
	Línea aérea con soporte de madera y luminaria		Transformador con núcleo de ferrocube
	Transformador con regulación continua de corriente		Transformador con reactor saturable

## CAPÍTULO 3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN AÉREO.

### 3.1 DEFINICIÓN

El creciente uso de la potencia eléctrica requiere de un sistema de distribución bien planeado, el requerimiento importante para tal sistema es que la potencia sea distribuida a los consumidores en forma económica y eficiente.

El arreglo más común utilizado para transportar la potencia eléctrica desde los bloques de las fuentes (plantas generadoras o subestaciones importantes) a los distintos consumidores, se le conoce como: “El sistema de distribución Aéreo o visible”

Estas son algunas características del sistema de distribución aéreo

- La red de distribución es visible ( es decir que el sistema se encuentra sobre postes)
- Menor confiabilidad
- Menor continuidad en el servicio
- Menor seguridad
- Cuenta con un mantenimiento de menor costo

La distribución de la potencia eléctrica es una parte importante de un sistema eléctrico de potencia con un arreglo apropiado de circuito la potencia se puede distribuir a varios consumidores en forma económica y eficiente.

El proyecto de redes de distribución involucra otros aspectos que no son tratados en las líneas de transmisión y que deben manejarse con fluidez teniendo especial cuidado en la comprensión de los conceptos, ya que los métodos mismos son de tipo general con aspectos específicos de normalización elaborados y empleados por las propias compañías suministradoras de energía eléctrica, los aspectos fundamentales que intervienen en el proyecto de las redes de distribución son:

- ✓ Características de la carga.
- ✓ Tensión de operación.
- ✓ Continuidad de servicio.
- ✓ Regulación de tensión.
- ✓ Control de reactivos.
- ✓ Mínimas pérdidas.

Determinación del número de subestaciones.

En las redes de distribución aéreas por lo general las subestaciones eléctricas son del tipo intemperie y la mayoría del denominado tipo poste, el número de subestaciones y su localización depende de varios factores siendo los más importantes la característica de la

carga, la regulación de tensión y las pérdidas, ya que no se pueden aplicar los mismos criterios de diseño en una zona urbana densamente poblada, que en una zona rural por mencionar solo dos elementos de corporación.

Con el objeto de dar la mayor generalidad posible se partir del caso más completo y simple a la vez, que está representado por las redes para zonas urbanas.

Es obvio que las subestaciones de donde parten los circuitos secundarios o lleguen las redes primarias de las redes de distribución tendrán que operar con las tensiones usada por las mismas y tienden a la normalización para su aplicación no solo a nivel regional, sino también a nivel nacional, las tensiones más usuales correspondientes a la denominada categoría 2 (mayores de 1000 volts) de acuerdo con la Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC—38) son las indicadas en la tabla siguiente:

<b>Clase en KV.</b>	<b>Tensión entre fases en KV.</b>
2.5	2.4
5.0	4.16 6.0
8.6	7.2
15.0	12.47 13.20 13.80
20.0	19.1 23.0
34.5	33.0

#### **Niveles de Tensiones primarias usuales**

En México las tensiones recomendadas como primarias son: 6.6, 13.2, 23.0 y 36.5 KV. En la misma forma que existe una tendencia hacia la normalización en las tensiones de distribución, también se pretende hacer lo mismo con los transformadores usados en las subestaciones de estas redes, ya sea como transformadores trifásicos o como bancos de transformadores monofásicos, ubicadas estas subestaciones dentro de los esquemas o arreglos más comunes usados en la distribución aérea o subterránea.

En el caso particular de la distribución área se pueden mencionar como comunes los siguientes esquemas.

### 3.2 CONEXIÓN RADIAL

En este esquema un alimentador primario suministra energía a varias subestaciones (por lo general tipo poste) y cada transformador de estas subestaciones da servicio a su respectiva carga sin que exista conexión entre subestaciones. Con este esquema en el caso de alguna falla en el secundario de un transformador (Lado de Carga) o en el propio transformador se aísla la carga alimentada por esa subestación sin afectar el resto, para esto se requiere una adecuada coordinación en las protecciones.

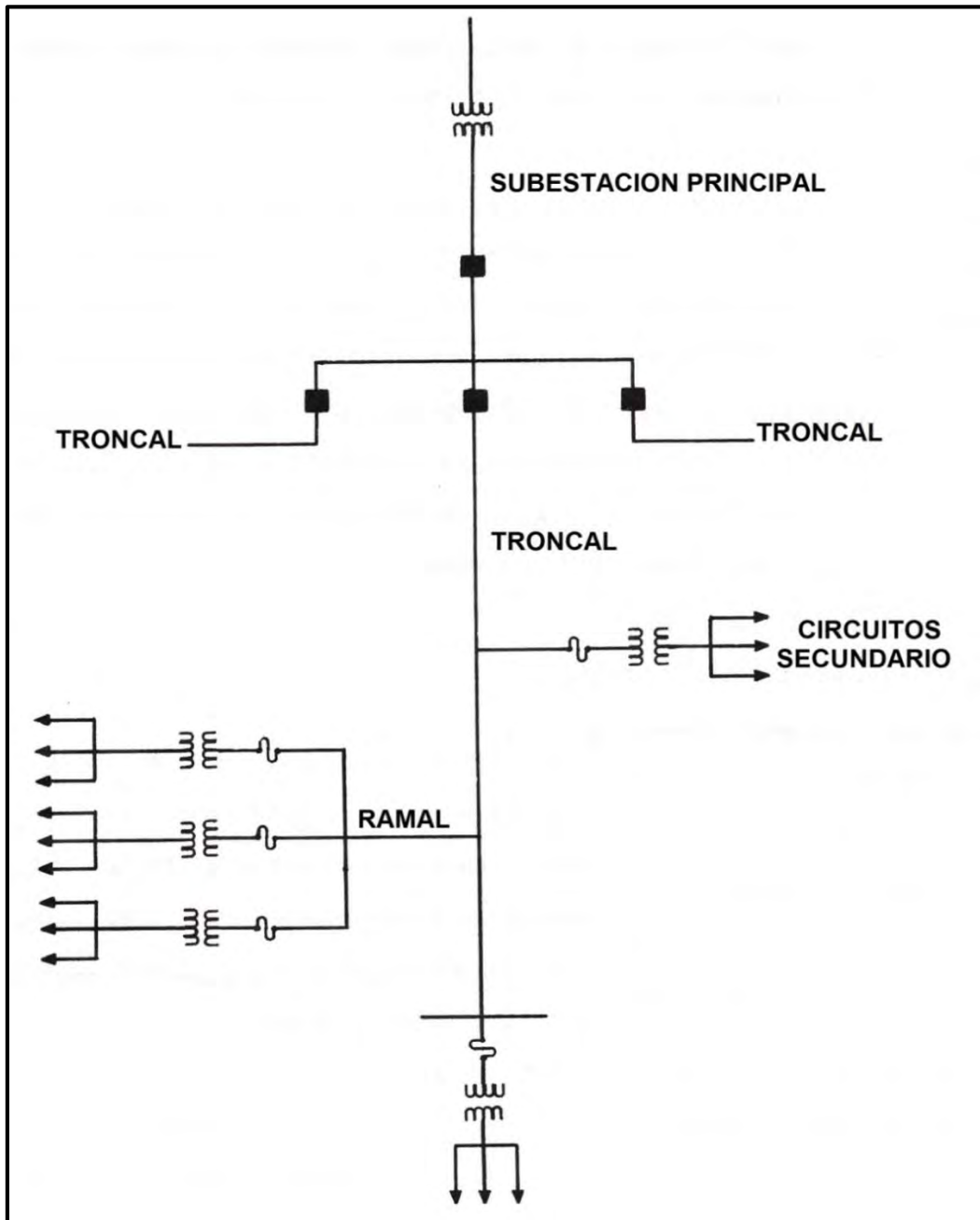
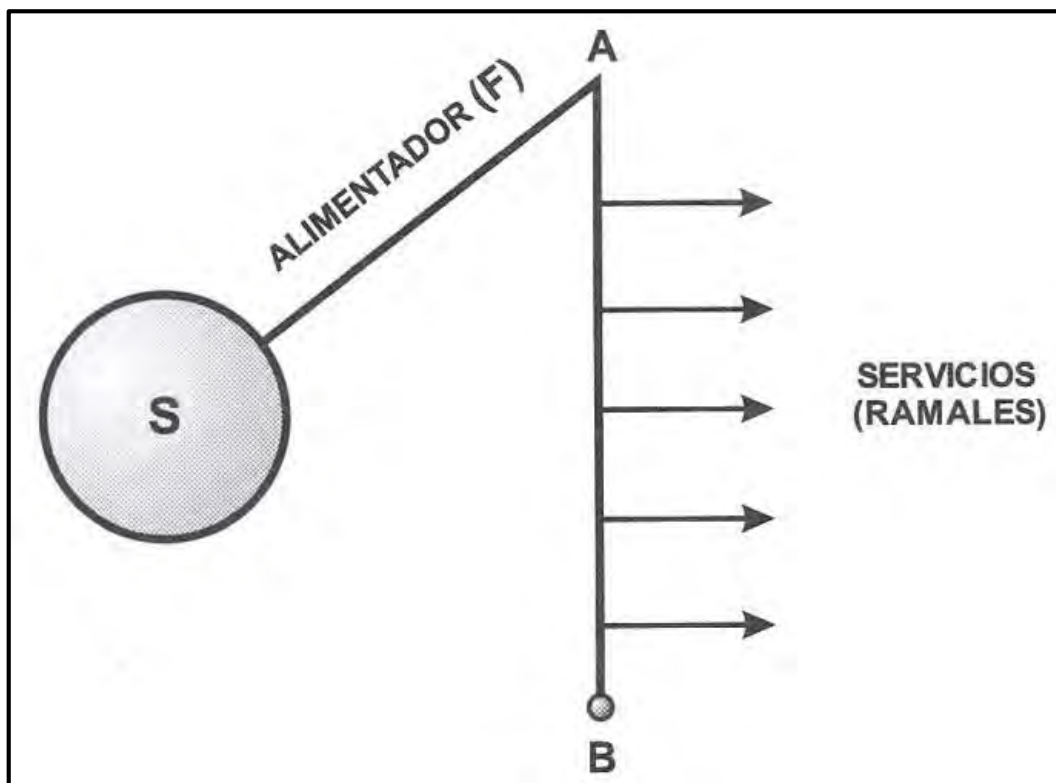


Figura 3.1 Red de conexión radial

Sistema de conexión radial:

Cuando el distribuidor está alimentado por un sólo extremo, se le conoce como sistema de distribución radial. En la siguiente figura, se muestra un sistema como éste, en donde la subestación (S) alimenta potencia al distribuidor AB en el extremo A, a través del alimentador (F), esto se aplica en bajo voltaje y la subestación se localiza al centro de la línea.



**Figura 3.2 Subestación en una conexión radial**

Desventajas. El sistema radial tiene las siguientes desventajas:

- ➔ El extremo del distribuidor más cercano al extremo de suministro podría ser cargado fuertemente. En la figura anterior, el extremo A del distribuidor está demasiado cargado.
- ➔ Los consumidores son dependientes de un sólo alimentador, por lo tanto, cualquier falla en el alimentador o distribuidor interrumpe el suministro a los consumidores que están del lado de la falla, alejados de la subestación.
- ➔ El consumidor en el extremo más distante del distribuidor, podría estar sujeto a variaciones de voltaje serias, cuando cambia la carga en el distribuidor.

### 3.3 RED DE CONEXIÓN EN ANILLO

En este esquema se puede usar uno o más alimentadores primarios para suministrar de energía a los transformadores de las subestaciones. Los secundarios de los transformadores se conectan mediante líneas principales de tal forma que todos los transformadores absorben la demanda, con esto se logra una mejor regulación de tensión y se reduce el efecto de parpadeo (Flicker) en las lámparas, producido por la operación de motores en la red.

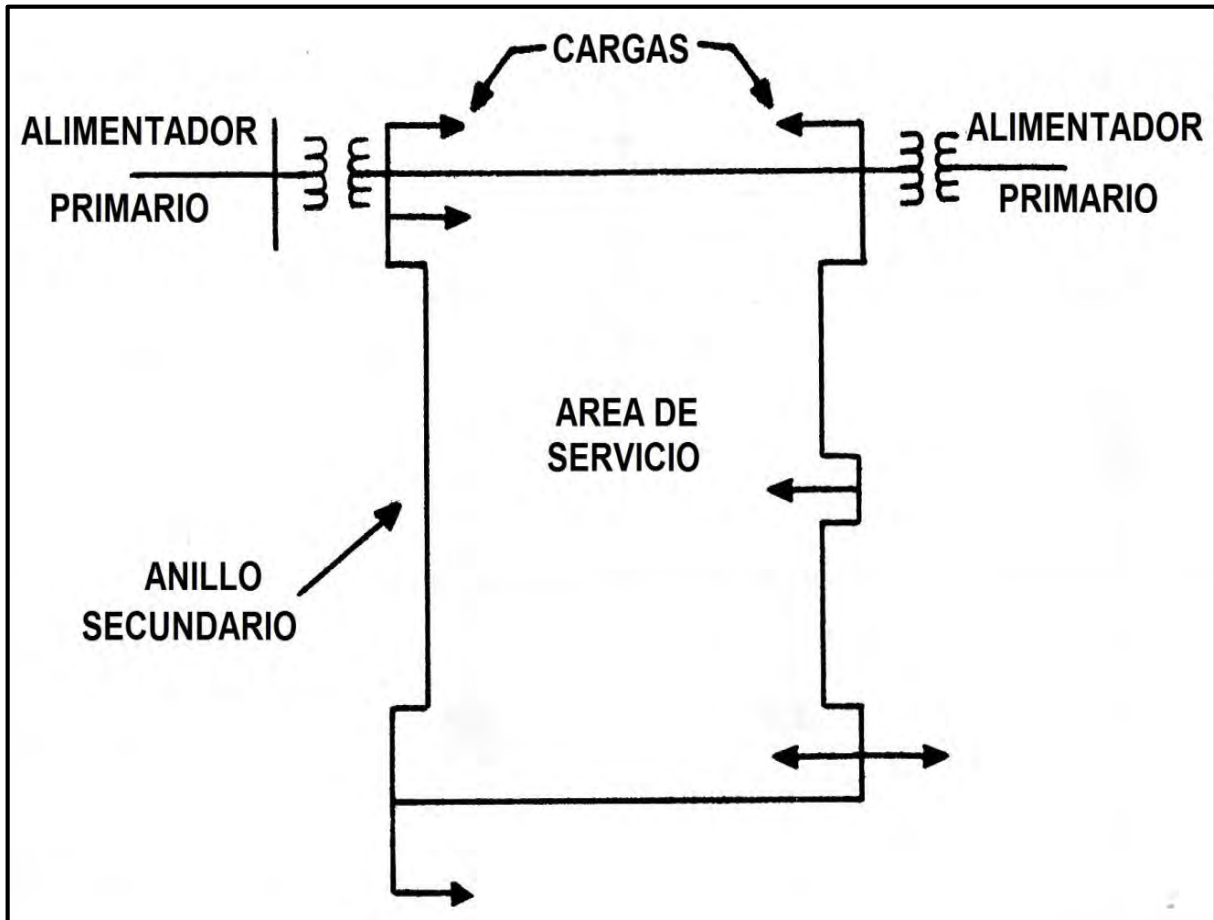


Figura 3.3 Red de conexión en anillo

#### Sistema de conexión en anillo

Cuando el distribuidor está alimentado por dos alimentadores, se le llama un “sistema en anillo”. En este sistema, el alimentador se cierra sobre sí mismo, es decir, forma un anillo completo y de aquí su nombre. En la siguiente figura, se muestra un sistema en anillo, donde la subestación (S) alimenta al anillo cerrado ABCDEA, el distribuidor está conectado a los puntos B, C, D y E del alimentador mostrado.





### 3.4 CONEXIÓN DE MALLAS

En este tipo de esquema de conexión se establece lo que se conoce como las líneas maestras en el primario y en el secundario, normalmente los alimentadores primarios no están interconectados, pero las líneas maestras de los secundarios se conectan de forma tal que forman una malla, con este esquema en caso de que falle un alimentador primario o un transformador existe la posibilidad de suministrar energía a los usuarios por la parte no afectada de la red ya que cada transformador de la subestación se conecta a la malla secundaria a través de dispositivos de protección, el diagrama de esta conexión se puede observar en la figura 3.5.

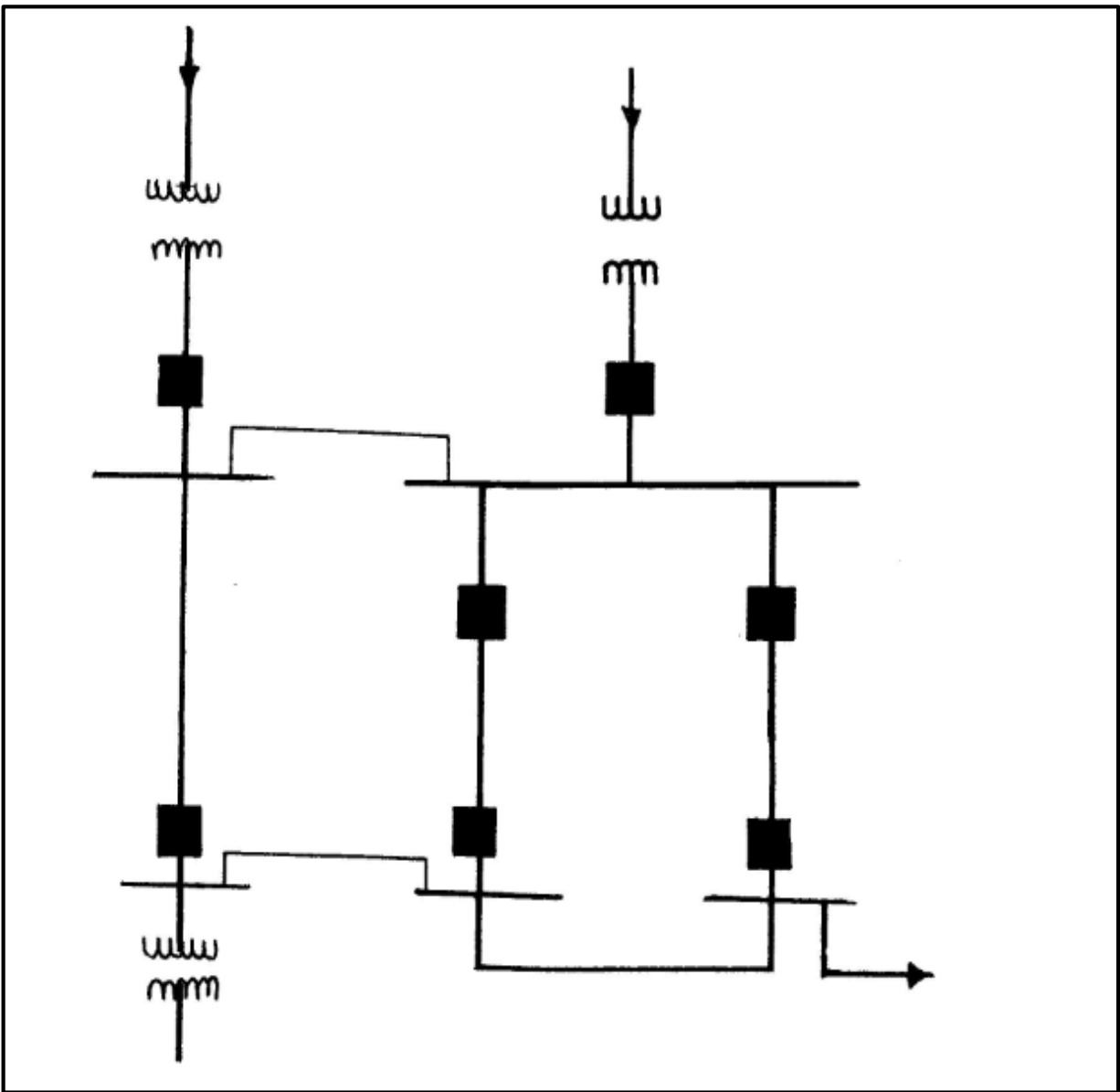


Figura 3.5 Red de conexión de mallas

### 3.5 PROTECCIONES Y TIPOS DE CONDUCTORES

Durante su operación las redes de distribución están sujetas a una serie de eventos que modifican sus características en el sistema y que pueden hacer variar los requerimientos establecidos en cuanto a confiabilidad o seguridad en el suministro de la potencia eléctrica. Estos eventos pueden ser de diversos orígenes, algunos propios de la red y otros ajenos a ella, como por ejemplo: choques de automóviles con postes y estructuras caídas de ramas en las líneas, efecto de sismos, viento, vandalismo, efecto de las descargas atmosféricas, corto circuito, etc.

De estos ejemplos de contingencias que se mencionaron antes, algunos son ajenos casi en su totalidad al aspecto técnico del diseño o de la operación y las soluciones que se dan son diversas, precisamente las redes de distribución subterránea tienen ventajas sobre las aéreas en cuanto a que si están bien diseñadas y construidas el número de contingencias es menor y por lo tanto se puede garantizar mayor continuidad de servicio, sin embargo tratándose de redes subterráneas o aéreas básicamente existen dos problemas que requieren de soluciones técnicas adecuadas a fin de limitar dentro de lo posible la interrupción del servicio y garantizar su mejora, estos problemas se refieren principalmente a efectos de las sobretensiones de origen externo y al efecto del corto circuito.

#### Protección en redes de distribución contra sobretensiones

La protección de las redes de distribución, se indica con un buen diseño en su aislamiento, es decir cuando se han hecho los cálculos eléctrico y mecánico, así como determinado el tipo de estructura; el aislamiento que debe de tener la línea en todo su trayecto se debe diseñar considerando los conceptos de nivel de aislamiento y nivel básico de aislamiento.

El nivel de aislamiento de la línea se refiere al aislamiento que debe de tener la línea para operar en condiciones normales, considerando:

- a) Variaciones de tensión por cambios de carga, taps de los transformadores o efecto ferranti
- b) Las condiciones climatológicas del lugar en que se encuentra instalada la red de distribución, es decir el número de descargas atmosféricas que ocurren por mes o por año y si es posible intensidad de la corriente de las mismas.
- c) Condiciones del terreno en que se instalaron las estructuras para determinar el efecto de la resistividad del terreno.

El nivel básico de aislamiento es un concepto general aplicable al aislamiento de cualquier máquina o equipo que interviene en un sistema eléctrico de potencia, se refiere a las tensiones que debe soportar un aislamiento bajo condiciones transitorias, como es el caso de las descargas atmosféricas, el nivel básico de aislamiento deberá estar seleccionado para soportar los máximos esfuerzos dieléctricos que se presentan al nivel de aislamiento correspondiente.

## Aisladores en un alimentador

Después de los conductores, son los aisladores los elementos más importantes de una línea aérea, ya que estando los conductores desnudos o cubiertos insuficientemente, es necesario un elemento aislante que los soporte en posición apropiada y a distancia conveniente de partes estructurales, u otros conductores, incluyendo la tierra.

La función de los aisladores es mucho más complicada de lo que parece, pues además de ser un condensador entre la línea y la tierra es un conjunto de capacitancias longitudinales y transversales, establecidas entre los herrajes de un mismo aislador y entre estos y la estructura, al que se añade otro conjunto de resistencias superficiales y efecto corona.

Los materiales de fabricación, usados en distribución son la porcelana, vidrio y pírex, cada uno de los cuales presenta ventajas y desventajas. El vidrio por ejemplo, cuya resistividad es del orden de una centena de veces mayor que la de la porcelana y cuya transparencia permite el control de quebraduras y defectos internos, es por el contrario, más frágil que la porcelana y mojado pierde en parte sus buenas cualidades aislantes.

## Dispositivos de protección contra sobretensiones en las redes de distribución

Los elementos principales de protección son: hilos de guarda, cuernos de arqueo, apartarrayos

Hilos de guarda.- Estos elementos son de poco uso en las redes de distribución y su función es prácticamente la misma que en las líneas de transmisión, es decir sirven básicamente como elemento de protección de los alimentadores contra descargas directas o cercanas a los mismos.

Cuernos de arqueo.- La función de los cuernos de arqueo es como su nombre lo indica arquear o provocar la ruptura dieléctrica del aire circundante a ellos cuando se presenta una sobretensión enviándola a tierra, para lo que se requiere que la separación y alineamiento entre ellos esté debidamente calibrada.

Los cuernos de arqueo en las redes de distribución normalmente se encuentran localizados en las boquillas de los transformadores en el lado de tensión más alta y su uso es restringido actualmente debido a que se ha popularizado el uso de apartarrayos, no obstante en zonas con poca densidad de rayos y en líneas o alimentadores con propósito de electrificación rural conviene revisar la posibilidad de su uso debido a que resultan mucho más económicos que los apartarrayos.

Apartarrayos.- Este es el dispositivo de protección contra sobretensiones usado por excelencia en los transformadores de las redes de distribución y es también el elemento primario para la coordinación de aislamiento en base a las siguientes funciones:

- a) Operar con sobretensiones en el sistema permitiendo el paso de las corrientes del rayo y sin sufrir daño
- b) Reducir las sobretensiones peligrosas a valores que no dañen el aislamiento del equipo

## Protección de las redes de distribución contra fallas de corto circuito

Las redes de distribución por ser la parte de los sistemas eléctricos de potencia que se encuentra más cercana al consumidor pueden ser, el elemento que produzca el mayor número de interrupciones a los usuarios si no están bien diseñadas y no tienen los elementos de protección necesarios.

La protección de las redes de distribución consiste básicamente de dos aspectos, la protección contra sobretensiones y la protección contra corto circuito este último tiene que ver con la determinación de las corrientes de corto circuito.

### Estudio de corto circuito

En los sistemas de potencia grandes y en las instalaciones industriales se deben determinar las corrientes de corto circuito en distintos puntos para seleccionar el equipo de protección y efectuar una coordinación en forma adecuada.

Un corto circuito es una falla que se presenta en una instalación y que demanda una corriente excesiva denominada corriente de corto circuito en el punto de ocurrencia. La falla puede ser de los tipos siguientes:

- a) De línea a tierra (fase a tierra)
- b) De línea a línea (fase a fase)
- c) De dos líneas a tierra (fase a fase a tierra)
- d) Trifásica (tres fases entre sí)

De estos tipos de falla la más probable de ocurrir es la denominada falla de línea a tierra y los métodos de análisis normalmente empleados son aquellos que tratan las redes en condiciones de asimetría debido a que a excepción de la falla trifásica, las otras son asimétricas, un método empleado es el llamado de las componentes simétricas.

Para cálculos preliminares se puede suponer que la falla que se presenta es trifásica y entonces se simplifican mucho estos ya que la red se trata en condiciones de simetría siendo entonces una sola red en la que se representan las fuentes de corto circuito y los elementos limitadores. Este método de cálculo con estas condiciones da buenos resultados en sistemas de distribución e instalaciones industriales y se le conoce como método aproximado, método del bus infinito o porcentual.

En el estudio de corto circuito se consideran básicamente dos tipos de elementos en la red: Las fuentes (elementos activos) y los elementos pasivos, son fuentes de corto circuito aquellos elementos que suministran corriente al punto de falla, que en general se puede decir, que son todas las maquinas rotatorias como: alternadores, condensadores síncronos, motores síncronos, motores de inducción

En el caso de las redes de distribución el efecto de los alternadores y convertidores síncronos se difiere y se establece lo que se conoce como la capacidad interruptiva para cada nivel de

tensión en puntos dados de la red. Son elementos pasivos las impedancias de los elementos del sistema bajo estudio incluyendo la de las propias maquinas rotatorias.

Dispositivos de protección contra sobrecorrientes en redes de distribución

Los principales elementos de protección contra sobrecorrientes en los sistemas de distribución son:

- a) Cuchillas-fusible (cortacircuitos)
- b) Restauradores
- c) Seccionalizadores

Cuchillas-fusible

Las cuchillas fusible también conocidas como cortacircuitos son de uso muy común en sistemas de distribución y se pueden encontrar comercialmente de acuerdo con su aplicación clasificadas como: Tipo interior, tipo intemperie, tipo hilo de apertura y fusión, en aceite, en arena, estas dos últimas se emplean en sistemas de distribución subterráneos.

Las cuchillas fusible están construidas esencialmente de un elemento aislador con herrajes para montaje en cruceta, en portafusible o tubo y herrajes de sujeción para operación normal o servicio pesado con corrientes nominales de 100 o 200 amperes y clases de tensión 7.8, 15 y 27KV.

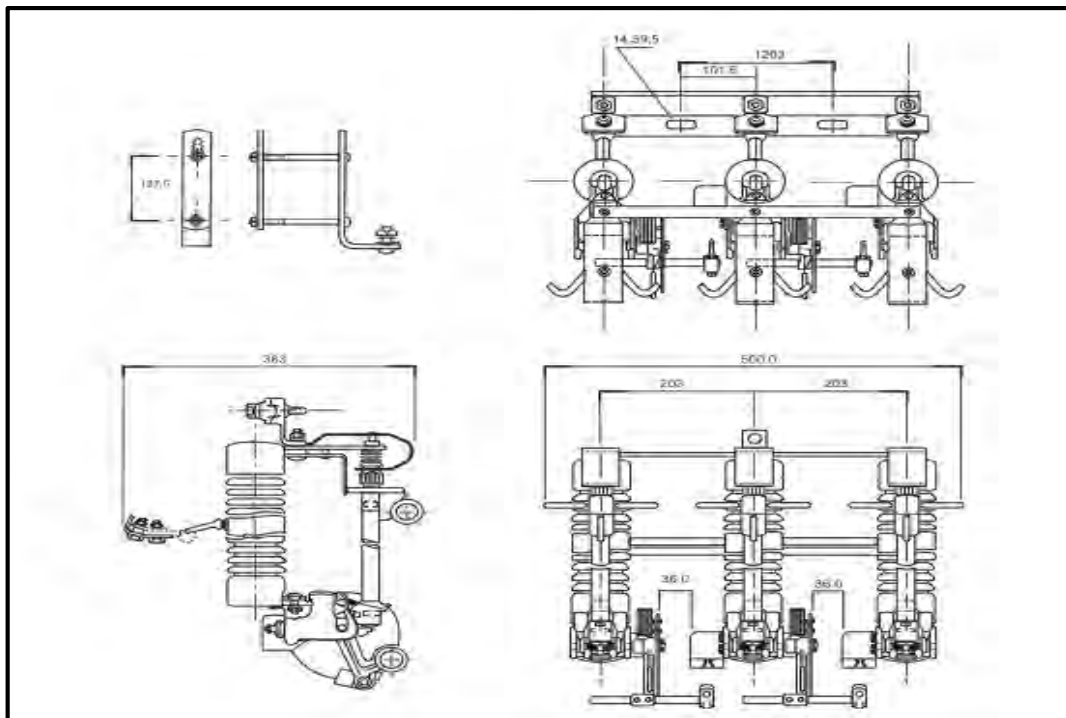


Figura 3.6 Chuchillas-fusible

## Principio de operación

Cuando se instala una cuchilla fusible en un sistema de distribución, el listón fusible está listo para funcionar como dispositivo de protección, al ocurrir la falla debido a la alta resistencia del tensor se calienta y desprende, en ese instante se establece un arco severo de una parte a otra del listón, el arco es un medio conductor de partículas mezcladas ionizadas, las cuales son iones metálicos del elemento fundido del alambre y del gas ionizado, debido a que el arco resulta ser un medio para que fluya la corriente de falla, este debe ser extinguido rápidamente de modo de evitar daños al sistema y equipo, la extinción del arco depende principalmente del principio de expulsión.

A pesar de que el tubo porta fusible auxilia al listón en la extinción del arco y en la interrupción de la corriente, la cuchilla fusible se puede considerar el dispositivo de protección fundamental.

## Elementos para la selección para cuchillas y listones fusibles

La aplicación de cuchillas fusible depende de la corriente de carga, tensión del sistema de distribución, tipo de sistema y posible corriente de falla. Estos cuatro factores determinan tres datos de las cuchillas: corriente debida a la carga, tensión y capacidad interruptiva.

La seguridad, economía y localización también influyen en la selección de cuchilla, incluso se debe considerar la carga de tierra, los posibles cambios por operación y la conveniencia en la forma de establecer su operación.

Todas las cuchillas fusibles aplicadas a dos o tres líneas, de una delta, estrella o estrella aterrizada, deberán seleccionarse con base al voltaje de línea y las cuchillas aplicadas a ramales monofásicos en sistemas con neutro, deberán ser seleccionadas en base al voltaje al neutro.

Después que los rangos de la cuchilla para una particular instalación han sido determinados, el tipo de cuchilla deberá ser seleccionado tomando en cuenta la seguridad, economía y versatilidad.

La cuchilla abierta con listón es recomendada para las instalaciones rurales donde la posible corriente de falla es baja, estas cuchillas no son caras y presentan indicación de operación al desaparecer el listón fusible.

La sobre carga causada por la corriente de carga no es necesariamente directamente proporcional al rango del fusible, pero depende en magnitud y duración de la corriente. La sobrecarga incrementa la temperatura del listón, causando que el tiempo de fusión de la sección del fusible sea reducido para todos los valores de la corriente de falla.

Las corrientes de falla de corta duración pueden proporcionar una porción del calor de fusión, que resulta en daño para la sección del fusible a causa de la fusión parcial.

## Restauradores

Los restauradores son dispositivos de protección que presentan la ventaja con respecto a las cuchillas fusibles de que mientras unas interrumpen sin distinción tanto fallas temporales como permanentes, los otros pueden distinguir entre los dos tipos de fallas debido a que en caso de fallas temporales, da repetidas oportunidades a la falla para que se elimine por si sola o sea eliminada por los dispositivos de protección secundarios.

En caso de que la falla no fuera eliminada, entonces el restaurador opera manteniendo sus contactos abiertos. Los restauradores están diseñados para interrumpir una fase o tres fases simultáneamente. Los restauradores monofásicos tienen control hidráulico, mientras que los trifásicos pueden estar controlados hidráulica o electrónicamente.

Los restauradores monofásicos emplean un solenoide en serie, trabajando en acoplamiento a un dispositivo de recierre para abrir los contactos. Estos son cerrados solamente por la acción de los resortes del mecanismo de palanca.

Los restauradores para interrumpir rangos altos de corriente de falla, emplean una bobina que da suficiente energía a los contactos para abrirse, desconectando la falla, mientras que los restauradores trifásicos, emplean una bobina para cerrar los contactos y resortes para abrir.



**Figura 3.7 Restaurador**



## Principio de operación

Los restauradores se ajustan para operar de acuerdo a sus curvas de operación. Cada curva representa el tiempo total que requiere el restaurador para eliminar la falla para todos los valores de corriente dentro del rango correspondiente. Operan solamente en una curva a la vez y se puede transferir la operación de rápida a lenta de acuerdo al ajuste deseado. Las curvas normalmente comienzan a 200% de la corriente de carga correspondiente al rango del restaurador y terminan con los valores máximos de capacidad interruptiva. Las curvas rápidas están trazadas con respecto al mínimo tiempo de eliminación, con todas las variaciones de la curva negativa. Cualquier desviación de la curva rápida resultara un tiempo de eliminación más corto. Las curvas lentas pueden desviarse dentro de un margen de  $\pm 10\%$  de los valores dados. Se pueden ajustar para que operen en una secuencia de 4 operaciones a lo largo de una misma curva o en el disparo inicial en la curva rápida y el resto en las curvas lentas. Esto último permite al restaurador aumentar sus aplicaciones debido a que en caso de fallas temporales opera antes de que los fusibles detecten la falla y en los disparos subsecuentes si la falla persiste da tiempo a que los fusibles la eliminen.

Cuando el recierre de un circuito es lento, la unidad puede tolerar las grandes corrientes de arranque que ocurren generalmente después de una prolongada salida del circuito de distribución, permitiendo al circuito estabilizarse sin abrirse, ya que al restablecer el servicio todos los motores de fábricas y casas tienden a arrancar a la vez.

## Recomendaciones para la selección

Como generalmente las fallas en los sistemas en un 80% son temporales, los restauradores pueden eliminar esta falla y restaurar el servicio sin desenergizar ninguna sección permanente.

Los restauradores también interrumpen fallas permanentes con suficiente rapidez, protegiendo conductores y equipo, seleccionando cual dispositivo deberá seccionar la parte con falla en un sistema con protección coordinada. Al emplearse restauradores en los sistemas, se aumenta la continuidad en el servicio, reduce las operaciones innecesarias y disminuye las pérdidas en el suministro.

## Seccionalizadores

Este dispositivo sirve principalmente para proteger los circuitos alimentadores contra fallas en ramales, reduciendo de esta forma en lo posible las fallas que queden fuera de servicio. El seccionalizador opera en forma automática aislando de esta forma las secciones contra falla en una línea del resto de la red, este elemento no interrumpe las corrientes de falla, actúa como un contador de operaciones de un dispositivo de recierre en presencia de una falla; por lo general un seccionalizador puede controlar tramos de línea de 4 a 5 Km, pero la cantidad de ramales que el seccionalizador pueda controlar depende de factores como: Importancia de carga, zonas verdes e índice de descargas atmosféricas.

## Fundamentos en la coordinación de protecciones

Uno de los aspectos importantes a considerar en el diseño de los sistemas de distribución es tener un mínimo de usuarios sin servicio en el caso de que se presente una falla, esto eléctricamente significa tener el menor número posible de circuitos fuera de servicio en condiciones de falla, para lo cual además de seleccionar los elementos de protección con sus características adecuadas y ubicarlos convenientemente, es necesario fijar un criterio de operación en caso de falla de tal forma que los elementos operen de forma coordinada, a este criterio de coordinación se le conoce técnicamente como coordinación de protecciones y está basado en un análisis de las curvas tiempo-corriente de los dispositivos de protección usados para cumplir con los siguientes requisitos:

- 1) Cuando por una falla permanente se presente una suspensión del servicio, la falla deberá restringirse a la mínima área posible tratando de que la suspensión sea del menor tiempo posible.
- 2) El elemento de protección de menor capacidad deberá eliminar la falla, ya sea permanente o temporal antes que el elemento usado como respaldo interrumpa todo el circuito por proteger o bien opere a otros dispositivos de protección como restauradores o Seccionalizadores.
- 3) Se entenderá por definición cuando se usen listones fusibles o cualquier otro dispositivo de protección en las redes de distribución que el dispositivo más cercano a la falla en el lado de alimentación es el respaldo.

Se presentan en los sistemas de distribución cuatro tipos clásicos de coordinación que son:

- a) Coordinación fusible-fusible
- b) Coordinación fusible-restaurador
- c) Coordinación restaurador-restaurador
- d) Coordinación restaurador-seccionalizador
- e) Coordinación relevador-fusible

### Coordinación fusible-fusible

Debe empezarse por la selección del fusible denominado “protección” que es el dispositivo que está protegiendo el equipo o que represente la carga, este fusible debe cumplir con dos finalidades.

Protección contra sobrecargas.- Aquí queda comprendido el caso de falla en el circuito secundario de un transformador protegido con fusibles, ya que representa la sobrecarga máxima que se puede presentar.

Protección contra fallas en el equipo.- El fusible deberá coordinarse con el equipo que este protegiendo ya que, de no ser así, se tiene sobrada la capacidad del equipo, o un envejecimiento prematuro del aislamiento, por lo que cada equipo deberá estar protegido con

fusibles adecuados, no solo en cuanto a la corriente nominal de los mismos, también a las características que los definen.

Una vez hecha la selección se procede a coordinarlo con otro fusible denominado de “respaldo” que protege al llamado de “protección” y al circuito que lo alimenta y de esta manera se irán coordinando según se acercan a la subestación de distribución.

Una regla esencial para la aplicación de la localización de los listones es que el tiempo máximo de corte del listón de “respaldo” no exceda en un 75% del tiempo mínimo de fusión del listón de “protección” de esta manera se asegura que el listón destinado como protección, interrumpirá y limpiará la falla antes que el listón protegido este dañado de cualquier forma. El factor de 75% considera las variables de operaciones como: temperatura ambiente, sobrecarga y calor de fusión.

Otra regla importante consiste en que la corriente de carga en el punto de aplicación no deberá exceder a la capacidad de corriente constante del listón.

La coordinación de listones fusible puede establecerse por medio de las curvas de tiempo-corriente o tablas de coordinación, estas tablas de coordinación están basadas en datos derivados de las curvas tiempo-corriente, así que producen una coordinación con poco trabajo. Y es recomendable para coordinar rangos máximos de corriente de cortocircuito.

#### Coordinación fusible-restaurador

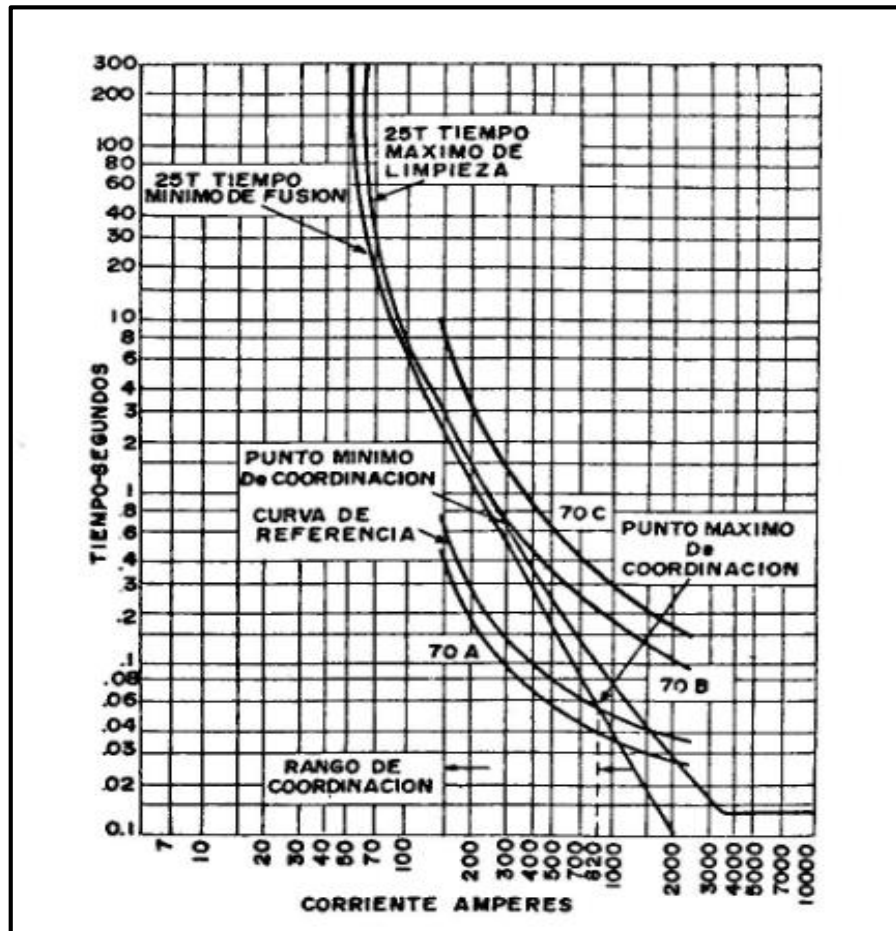
La coordinación se puede obtener empleando los métodos basados en las curvas tiempo-corriente y por lo general el restaurador se debe ajustar para dos operaciones rápidas y dos lentas. En la primera operación eliminara un 80%de las fallas temporales, en la segunda un 10%. Antes de la tercera operación el listón fusible se debe fundir para eliminar fallas permanentes.

La coordinación sitúa en un grado inferior cuando se usa una operación rápida seguida de tres lentas, con este orden se elimina un 80% de las fallas durante la primer apertura del restaurador, pero esta es usada cuando los seccionadores automáticos en aceite están instalados en puntos intermedios, escogiendo los fusibles que seccionalizan la parte de falla de línea que está más lejos del restaurador y esto no es posible cuando son usadas todas las operaciones rápidas o lentas.

Les bases que regulan el empleo de listones fusible como dispositivos de protección, en coordinación con el restaurador son:

- 1.- Para todos los valores posibles de corriente de falla de la sección por proteger por el listón fusible, el mínimo tiempo de fusión del listón deberá ser más grande que el tiempo de eliminación de la operación rápida del restaurador afectado par el factor de multiplicación. La magnitud de este factor varía con el número de operaciones rápidas e intervalos de recierre entre dos operaciones rápidas.

2.- Para todos los valores de corriente de falla factible en la sección protegida por el listón, el tiempo máximo de eliminación del fusible no deberá ser más grande que el máximo tiempo de eliminación lenta del restaurador ajustado a una secuencia con 2 o más operaciones lentas.



**Figura 3.8 Grafica coordinación fusible-restaurador**

En la gráfica anterior se puede observar que la coordinación entre el restaurador y el listón fusible es ajustada por dos condiciones básicas: la primera, establece el máximo punto de coordinación y la segunda establece el mínimo. El punto máximo de coordinación es la corriente correspondiente al punto de intersección entre la curva mínima de fusión de listón fusible y la curva de referencia del producto de la curva rápida de máxima eliminación del restaurador y el factor multiplicador.

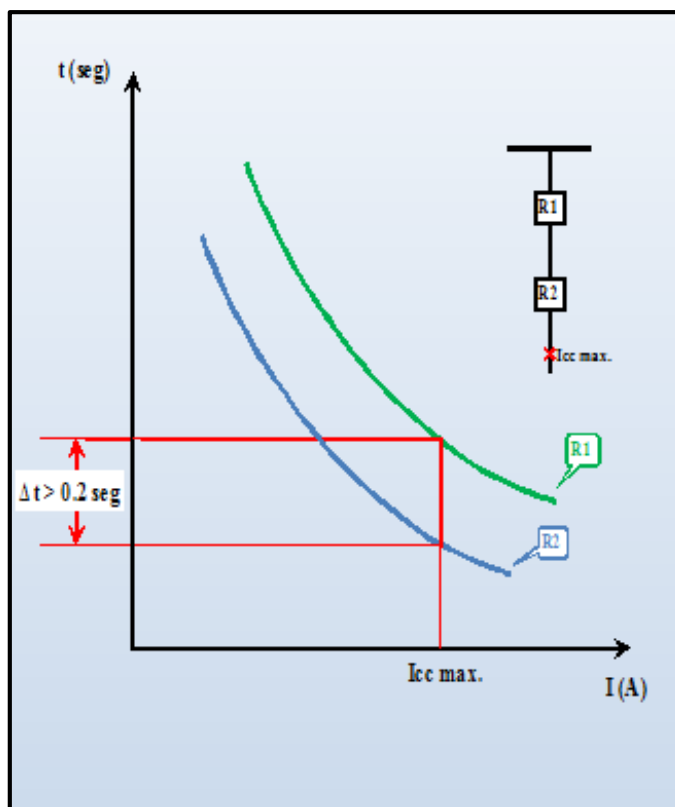
El punto de mínima coordinación se obtiene al intersectar la curva de máxima eliminación del listón con la curva "lenta" del restaurador. Si la curva de máxima eliminación del listón no intersecta a la curva lenta del restaurador, el punto de mínima coordinación es la mínima corriente de disparo del restaurador.

### Coordinación restaurador-restaurador

Los principios usados en los listones fusibles son los mismos que se emplean para coordinar restauradores. Estos principios influyen inicialmente en la selección de las curvas y secuencias de operación de los dispositivos de respaldo y protección y la localización de estos dispositivos en el sistema de distribución de acuerdo con el esquema usado y la importancia de la red.

### Coordinación de restauradores operados con bobinas serie de disparo

La coordinación de restauradores que son operados solamente por bobinas serie de disparo, puede ser llevada a cabo por medio de un estudio de las curvas tiempo-corriente. Los restauradores de esta categoría son controlados hidráulicamente y presentan diferentes niveles de capacidad interruptiva desde pequeños hasta intermedios. En la figura 3.9 se muestra la gráfica de coordinación restaurador-restaurador, Se requiere un margen de tiempo mayor de 0.2 segundos entre sus curvas características tiempo-corriente para la máxima corriente de falla común a ambos dispositivos.



**Figura 3.9 Criterio de Coordinación restaurador-restaurador**

Otra posibilidad es la limitación por “cascada” que se presenta como complemento de las operaciones rápidas entre restaurador “protección”, el más alejado de la subestación, y el restaurador de “respaldo”, el más cercano de la subestación, antes que la unidad de protección esté en condiciones de ver la falla. Esta limitación por cascada se diferencia de la verdadera cascada debido a que la falla finalmente es interrumpida.

La limitación por cascada depende de la magnitud de la corriente de falla del restaurador de respaldo y de la diferencia entre tiempos de disparo. Algunas veces puede ser tolerada para que la coordinación del sistema pueda ser llevada a cabo.

#### Coordinación restaurador-seccionalizador

Este arreglo es común en las redes de distribución urbanas con alta densidad de carga y en principio la coordinación se lleva a cabo de forma semejante a la de restaurador-restaurador, teniéndose el caso de instalar un seccionalizador como protección y el restaurador como respaldo.

#### Coordinación relevador-fusible

Debe existir un margen mínimo en tiempo de coordinación de cuando menos 0.3 y 0.4 segundos entre la curva MCT del fusible y la característica del relevador para la máxima corriente de cortocircuito.

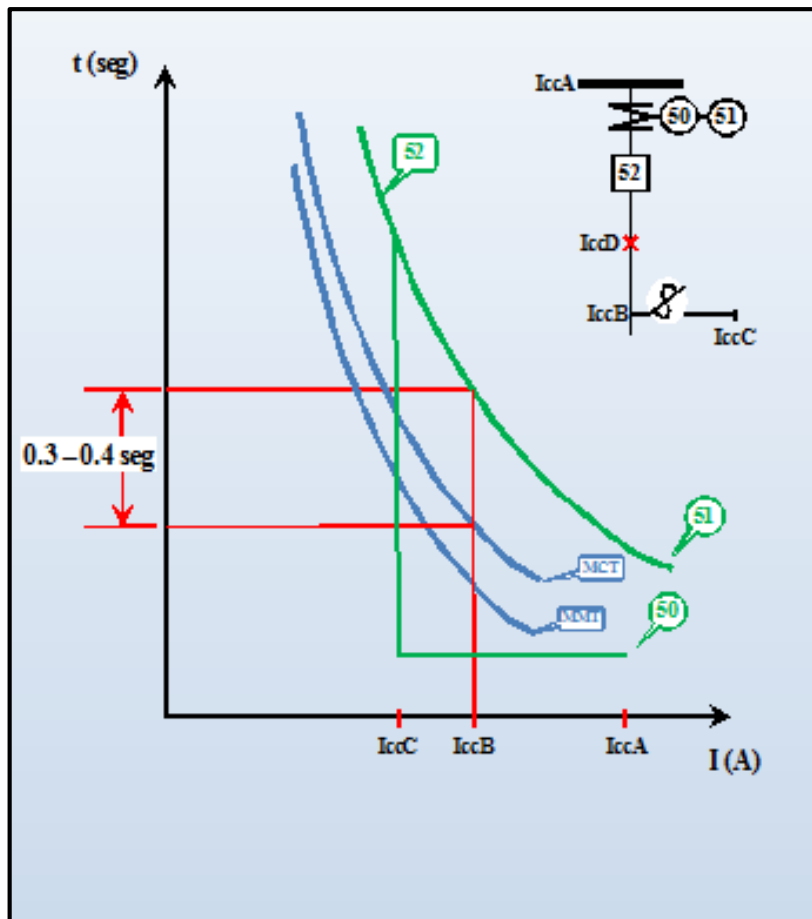


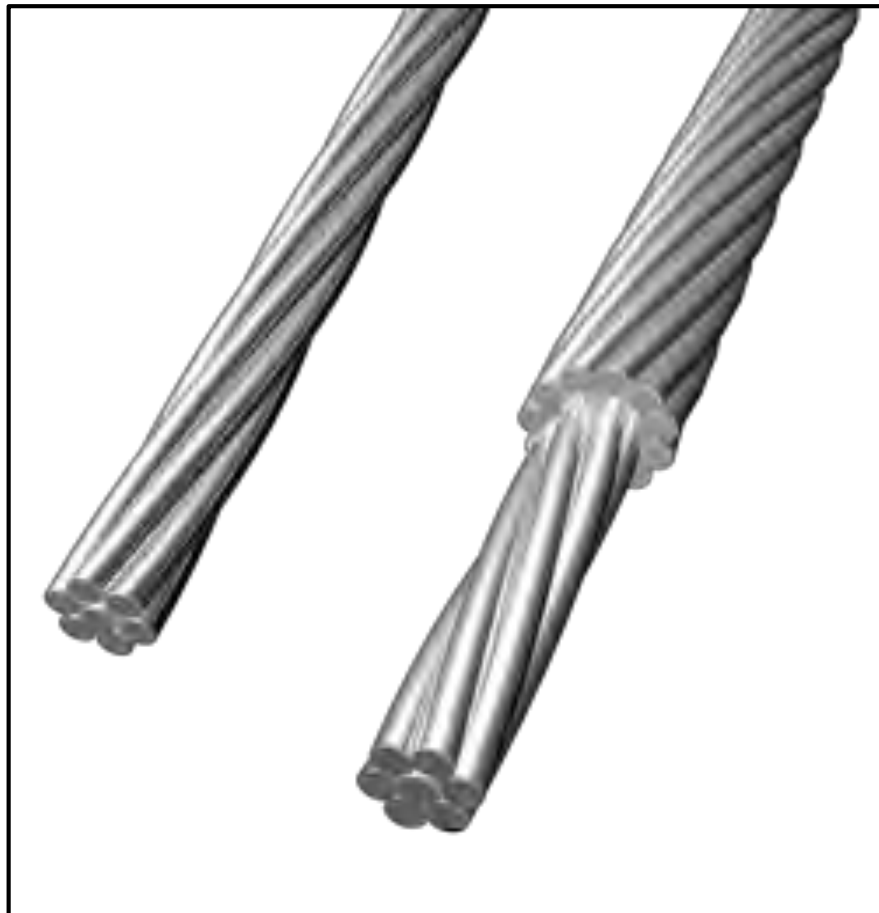
Figura 3.10 Criterio de coordinación relevador-fusible

## Tipos de conductores

En la siguiente tabla se muestran algunos tipos de conductores para sistemas de distribución de tipo aéreo

Cobre	CUD 1/0	$0,3801 \Omega/Km$	310 A
	CUD 4	$0,9625 \Omega/Km$	180 A
Aluminio	Fases ALF 3/0	$0,338 \Omega/Km$	325 A
	Fases ALF 1/0	$0,537 \Omega/Km$	235 A
	Neutro ALD 2	$0,855 \Omega/Km$	180 A

**Tabla de conductores**



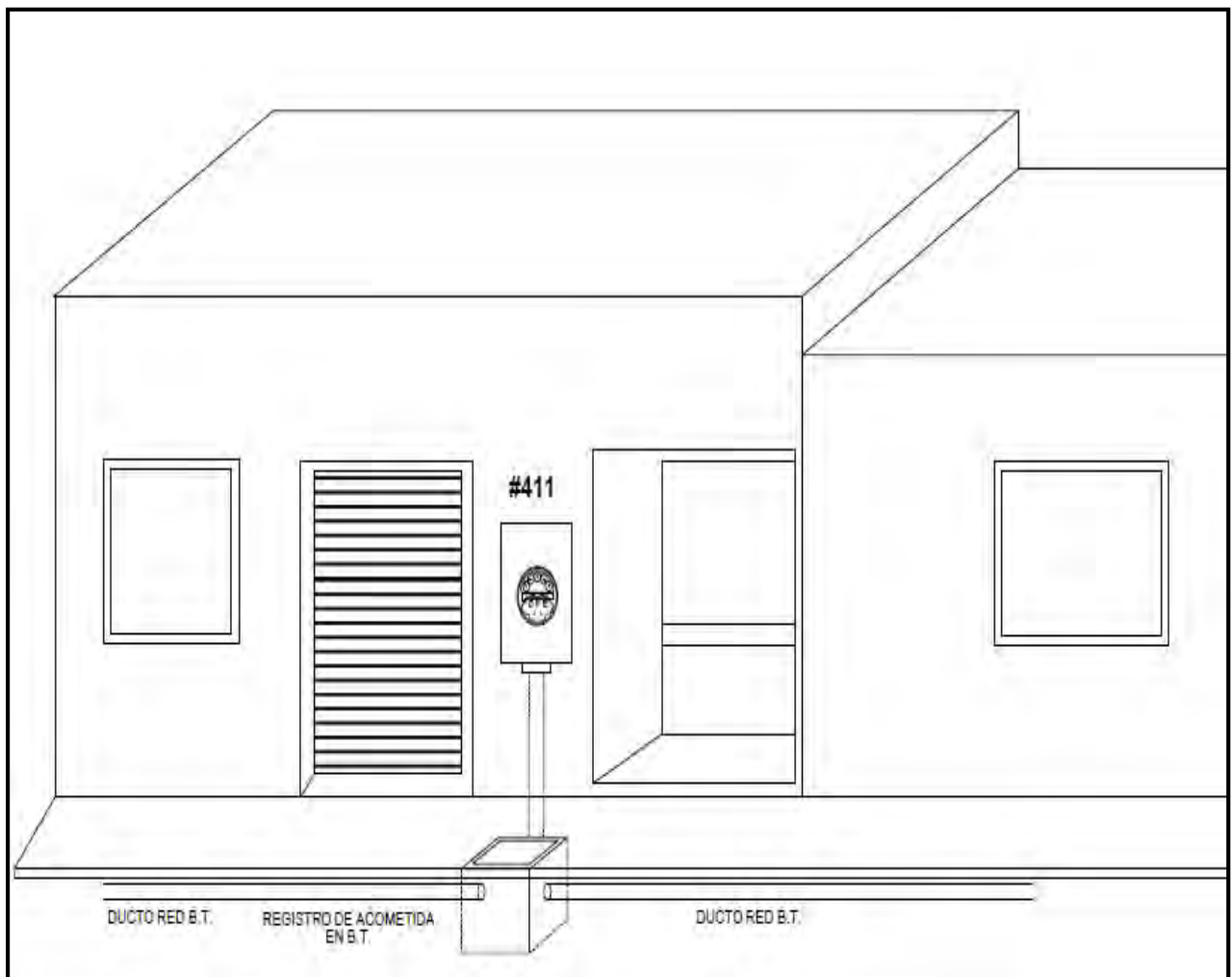
**Figura 3.11 Aspecto de un cable de aluminio sin aislante**

## CAPÍTULO 4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEO.

### 4.1 DEFINICIÓN.

En las grandes ciudades se utilizan tanto los sistemas de distribución aéreos como subterráneos, el costo de la distribución subterránea es mucho mayor que el de la distribución aérea. Al aumentar las densidades de carga, la construcción aérea se vuelve difícil de manejar en virtud de los transformadores y conductores de mayor tamaño que se requiere. Por esta razón en las zonas comerciales del centro, en la mayor parte de las ciudades se acostumbra a utilizar la distribución subterránea.

Debido a una imagen urbana muy deteriorada causada por el entrecruzamiento de las redes eléctricas aérea, telefónica y la cercanía extrema de las redes a las edificaciones, la imposibilidad de construcción de nuevas redes aéreas por las características geométricas, con calles estrechas, discontinuas, sin aceras, grandes pendientes podemos decir que las redes subterráneas se han convertido en una alternativa favorable.



**Ejemplo de una red de distribución eléctrica subterránea.**



## 4.2 CARACTERÍSTICAS

Las ventajas de un suministro de energía eléctrica basado en redes de distribución subterráneas con respecto a las redes aéreas, pueden resumirse de la siguiente manera.

Mayor confiabilidad.

Mayor seguridad

Mejor imagen urbana (resalto de la belleza arquitectónica)

Menor impacto medio ambiental

Mayor continuidad de servicio

## 4.3 CONEXIONES DE MEDIA TENSIÓN.

En forma generalizada las diferentes estructuras de mediana tensión que más se emplean en la actualidad en los sistemas de distribución son las siguientes: radial, anillo abierto, doble derivación, alimentadores selectivos.

### a) Radial

Es aquel sistema en el que el flujo de energía tiene una sola trayectoria, de la fuente a la carga, la estructura de alimentación radial, aérea o subterránea a un servicio de este tipo es obviamente la menos compleja también es la menos confiable ya que debido a una falla en cualquier componente del sistema de alimentación primaria, afectará a todos los consumidores ligados al mismo, los cuales quedarán sin servicio hasta que se localice y sea reparada la falla. Por tanto este sistema solamente se aplicará a servicios que no requieran continuidad

Estas son algunas consideraciones técnicas en el diseño de sistemas de distribución subterránea en redes radiales.

- 1.- Diseño del sistema.
- 2.- Automatización del sistema.
- 3.- Tasas de crecimiento y características de la carga.
- 4.- Selección de las estructuras de MT y BT.
- 5.- Localización óptima de las subestaciones de distribución.
- 6.- Selección de la tensión de alimentación.
- 7.- Análisis de cortocircuito.
- 8.- Diseño de la protección: relevadores y fusibles.
- 9.- Protección contra sobre voltajes (descargas atmosféricas).

Se caracteriza por la alimentación por uno solo de sus extremos, como se muestra en la figura 4.1 transmitiendo la energía en forma radial a los receptores y el emisor. Además presenta un cableado en las partes. Las líneas de distribución se extienden desde la subestación como rayos de una rueda de bicicleta, de donde viene su nombre. La principal ventaja de un arreglo radial es que son simples y económicos, y su principal desventaja es que cualquier problema generalmente deja a un número de usuarios fuera de servicio hasta que el problema se resuelva.

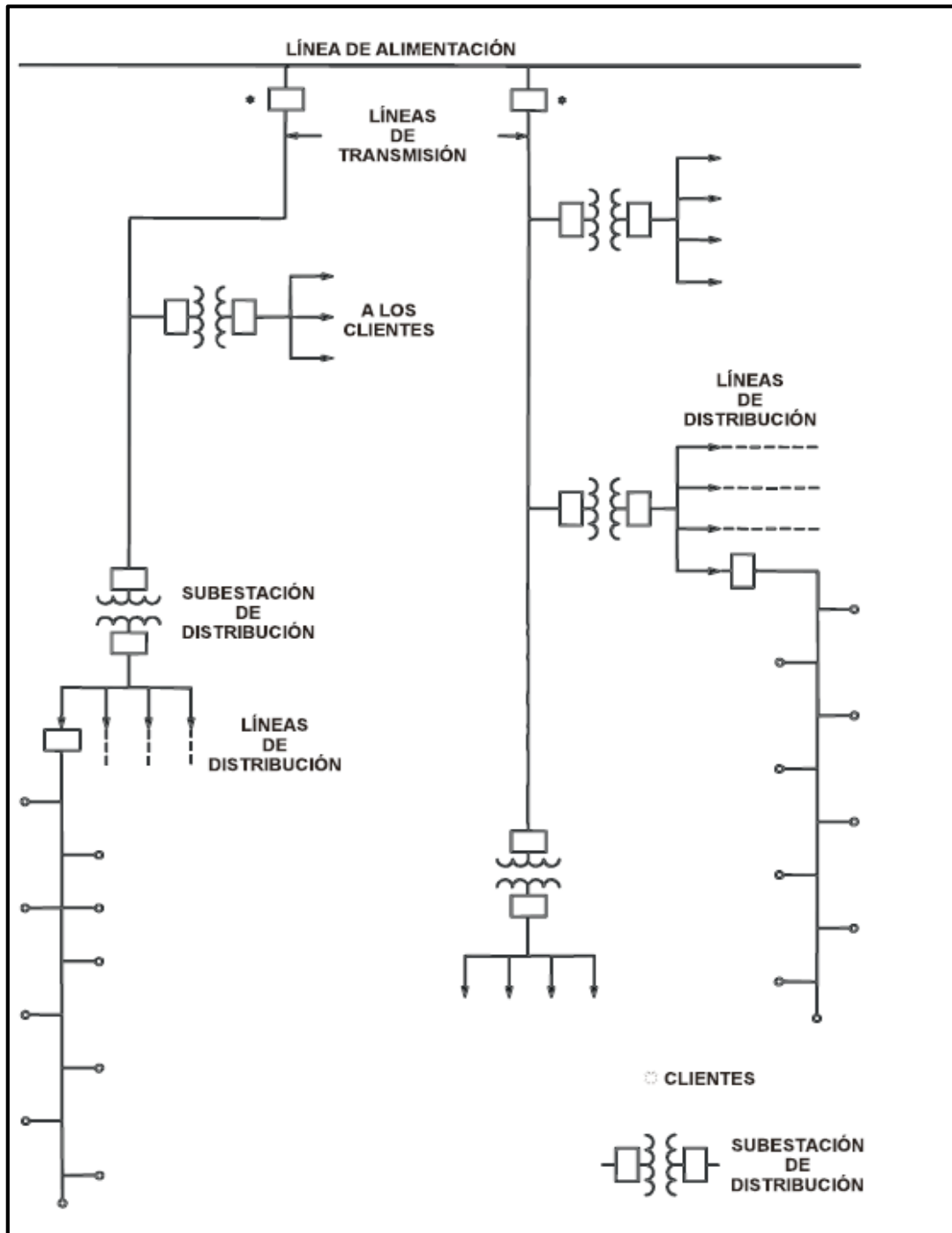


Fig. 4.1

b) Anillo abierto

Este diseño ha sido empleado extensamente para alimentar cargas comerciales y pequeñas cargas industriales importantes. Consta de dos alimentadores radiales que se unen en un desconectador normalmente abierto como se observa en la figura 4.2. Una falla en un componente de la red primaria puede ser seccionada o aislada en forma manual y restablecer el servicio mediante la operación del desconectador ubicado en el punto normalmente abierto.

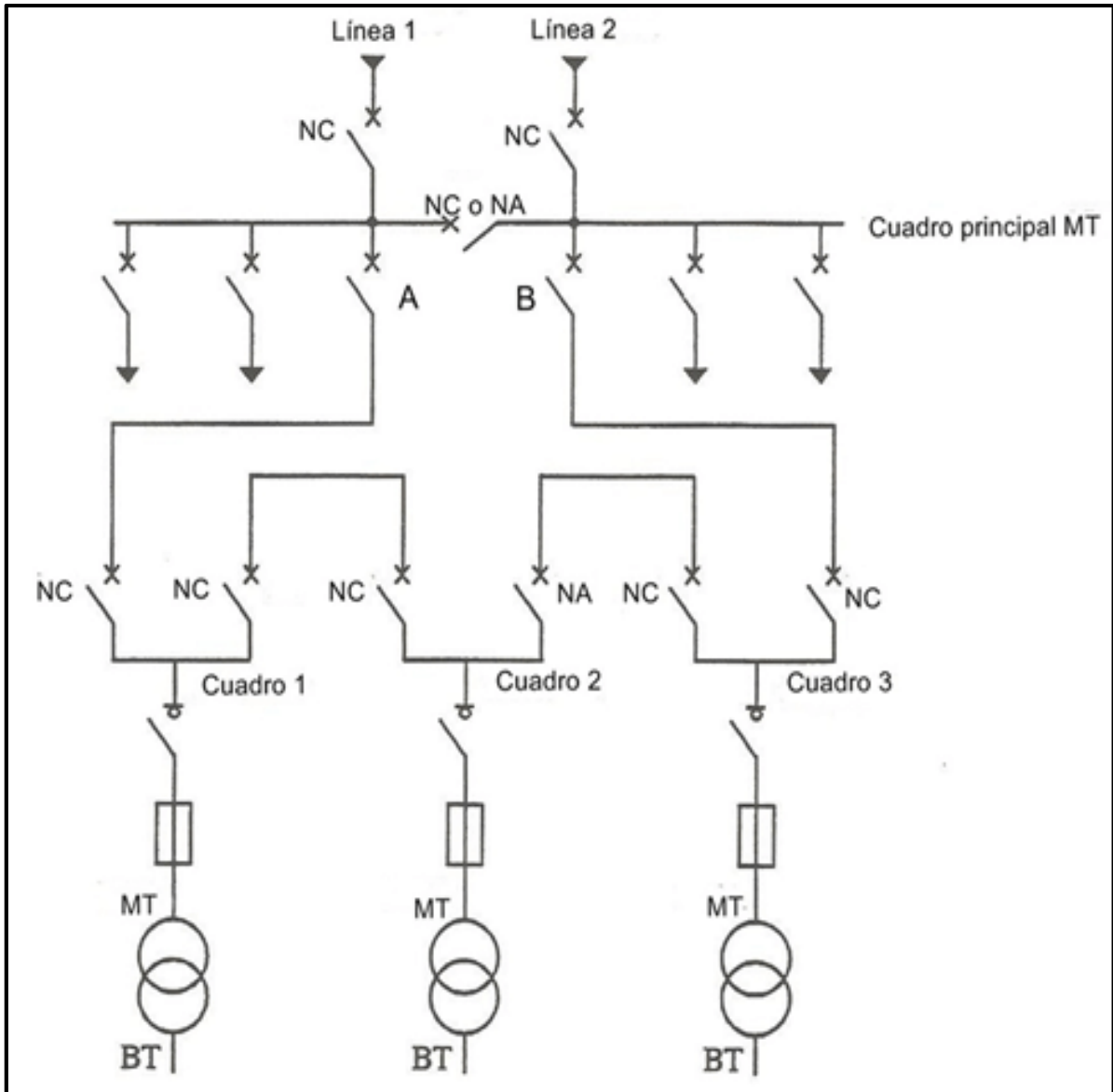


Fig. 4.2

### c) Doble derivación

En este diseño, dos circuitos de media tensión independientes se llevan al centro de carga y se conectan al transformador por medio de un dispositivo automático de transferencia tal como se observa en la figura 4.3. Uno de los circuitos recibe el nombre de preferente y el otro se conoce como alimentador emergente.

Esta es una estructura que proporciona un alto grado de confiabilidad en el servicio, ya que cuando un alimentador queda fuera de servicio, el otro llevará el total de la carga, mediante el cambio automático de alimentación a través de los interruptores de transferencia en media tensión.

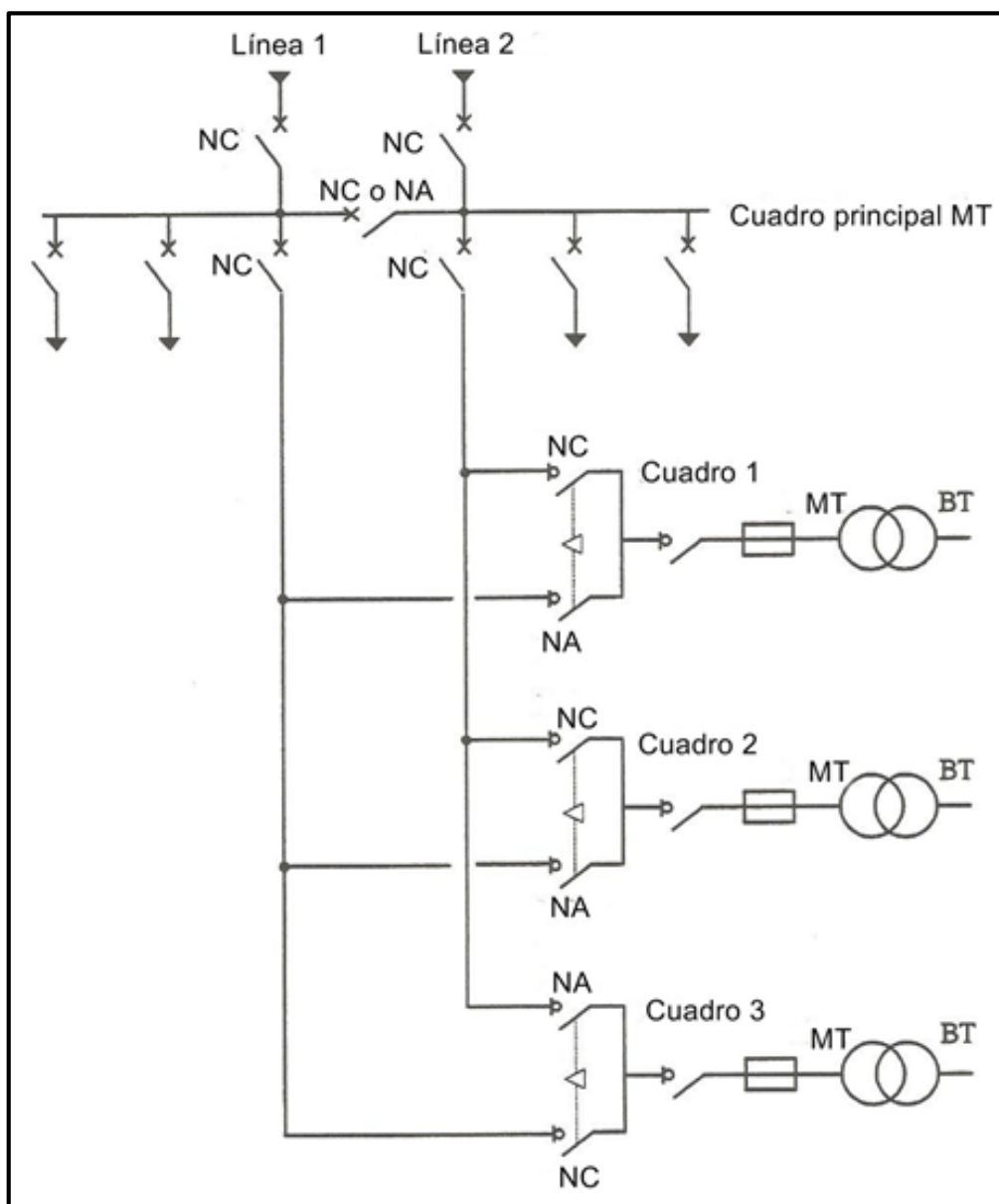


Fig. 4.3

#### d) Alimentadores selectivos

Esta red se constituye por cables troncales que salen preferentemente de subestaciones diferentes y llegan hasta la zona por alimentar, de estas troncales se derivan cables ramales de menor sección que van de una troncal a otra enlazándolas, siguiendo el principio de la doble alimentación como se puede observar en la figura 4.4. Las subestaciones o transformadores de distribución se reparten entre parejas de alimentadores troncales que quedan conectadas en seccionamiento.

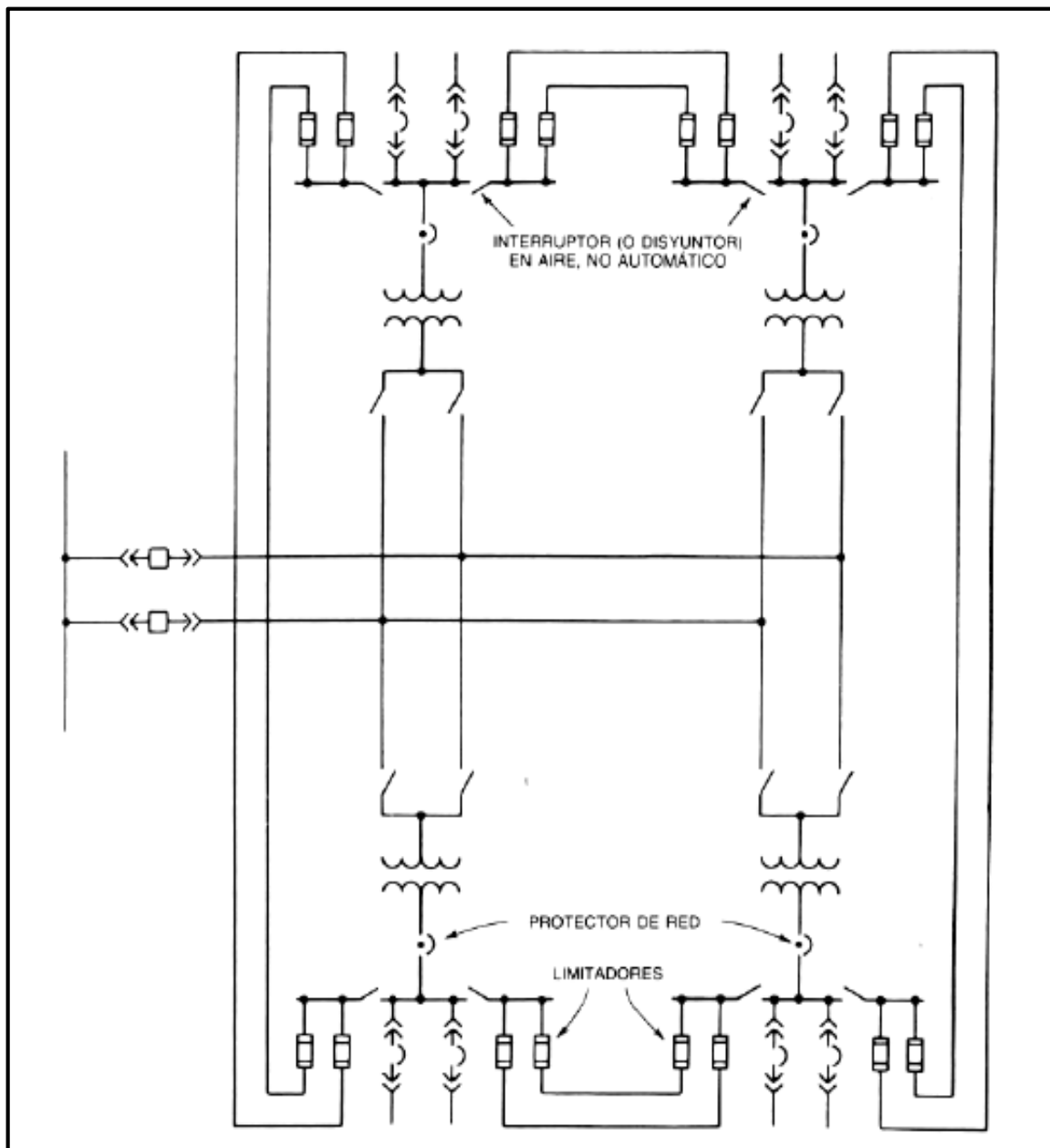


Fig. 4.4

#### 4.4 CONEXIONES EN BAJA TENSIÓN

Las redes secundarias constituyen el último eslabón en la cadena entre la estación de generación y los consumidores. Al igual que los sistemas de distribución en mediana tensión, los sistemas de baja tensión tienen diversos arreglos en sus conexiones y por lo general se siguen manteniendo los mismos principios de operación que en aquellos. Sin embargo, entre los circuitos primarios y los secundarios hay una importante diferencia que afecta su operación: en los circuitos de baja tensión es posible trabajar con la línea viva sin tanto peligro y costo teniendo las debidas precauciones, lo que da mayor flexibilidad al sistema.

Este sistema, al igual el sistema de distribución en mediana tensión, consiste en alimentadores secundarios que tienen su origen en la B.T. de los transformadores, en cajas de distribución o en los buses de las subestaciones secundarias, llevando la energía hasta el lugar de consumo. Hay tres estructuras de redes secundarias en el sistema de distribución:

**1) Red radial sin amarres.**

**2) Red radial con amarres.**

**3) Red mallada (utilizada en redes automáticas).**

1) Red radial sin amarres.

En este tipo de redes parten en diferentes direcciones, desde el lugar donde se encuentra instalado el transformador estableciendo los alimentadores secundarios. En esta red una falla en el transformador o en alguno de los cables dejará sin servicio a todos los consumidores que alimenta la instalación.

A un en este arreglo tan sencillo es posible tener un grado de seccionalización, ya que si el problema es en los cables, una vez que la falla se localiza el cable se puede cortar, aislando el lado dañado del lado en buen estado, y si éste está conectado a la fuente puede ser normalizado y una parte de la carga volverá al servicio mientras se realiza la reparación.

2) Red radial con amarres

En el sistema anterior una falla en el alimentador primario o en el transformador da por resultado una interrupción de toda el área alimentada por éstos, hasta que el daño se repara o el transformador se reemplaza. Para solucionar esta situación, así como para facilitar la restauración del servicio cuando hay problemas en los cables secundarios, se instalan cajas de seccionamiento llamadas CS 4-500, intercaladas en los cables que van de un transformador a otro. Normalmente se colocan en las esquinas con objeto de darles mayor flexibilidad en su conexión al poder recibir hasta cuatro circuitos. Un buen estudio respecto a la forma en que se repartirán las cargas de los servicios para cada transformador permitirá determinar la colocación de estos medios de amarre y seccionalización y dará mayor libertad en la reparación de fallas en alta tensión, puesto que la carga del transformador dañado se puede transferir por la baja tensión a los transformadores adyacentes, realizando con personal operativo la llamada hoja de cambio.

### 3) Red mallada.

La finalidad de este arreglo es que al existir una falla en uno de los alimentadores de alta tensión no disminuya la regulación de tensión en la red y la carga del alimentador dañado sea absorbida a través de la red secundaria (B.T.) por los transformadores de otros alimentadores, que deberá tener la capacidad de absorber el aumento de carga cuando uno de ellos falle. Este arreglo de red es utilizado normalmente para redes automáticas de distribución.

### 4.5 TIPOS DE CONDUCTORES.

La estructura de un conductor subterráneo a grandes rasgos se muestra en la figura 4.5 y su descripción es la siguiente:

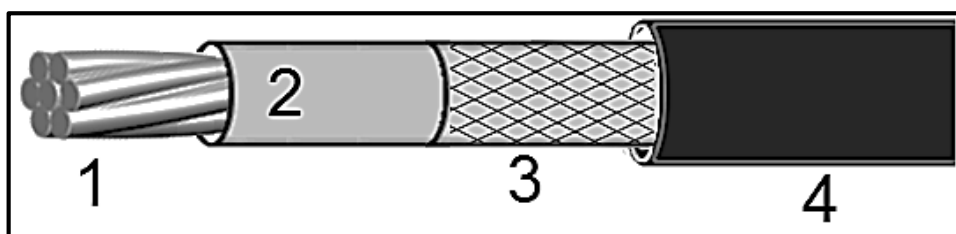


Fig. 4.5

- 1) Conductor: Este es el medio por el cual circula la corriente, puede ser de cobre o aluminio (A.T. – B.T.).
- 2) Aislamiento: Es el forro que sirve como protección o seguridad principalmente para las personas que los manipulan, su principal función es la de soportar el voltaje aplicado al conductor.

Pueden ser Secos:

- Plástico (PVC) {
- Termofijos: Solo soportan un calentamiento cuando es necesario algun dobles.
  - ó
  - Termoestables: Soportan dos o mas calentamientos cuando es necesario algun dobles.

Húmedos: Son de un papel especial impregnado en aceite.

- 3) Pantalla: Es un semiconductor que va encima del aislamiento, su función es reducir o limitar los campos eléctricos y para que cumpla con esa función la debemos aterrizar.
- 4) Su principal objetivo es proteger al cable, puede ser de plástico (PVC) o de cubiertas metálicas a base de plomo.

Los conductores eléctricos son de cobre recocido o aluminio semiduro, cableados a base de hilos redondos (cuerda) para conductores unipolares. Para secciones iguales o mayores a 50 mm<sup>2</sup> en cables multipolares se utilizan cuerdas sectoriales.

La resistividad del aluminio es 1,64 veces mayor que la del cobre; pero a igualdad de resistencia eléctrica entre conductores el peso del aluminio es la mitad del de cobre.

La disposición de los cables de M.T. es la siguiente: el conductor recubierto de una capa semiconductora revestido de aislante, con una pantalla de cobre, un relleno y una armadura metálica; todo ello protegido por una cubierta.

El cable puede ser unipolar (de una sola alma) y multipolar (de varias almas, con su propio aislante y pantalla). El cable multipolar sin pantallas sólo se utiliza para tensiones hasta 15 kV (cables de campo no radial). Los aislantes empleados son: papel impregnado y termoplásticos (PVC) hasta 20 kV; termoestables (PRC o XLPE) hasta 100 kV.

Se utilizan aislantes especiales en cables antillama y en cables resistentes a ambientes determinados.

Las pantallas, realizadas habitualmente con hilos de cobre, mallas de cobre o se hojas de aluminio, tienen por objeto mejorar la distribución del campo eléctrico en el cable y evitar influencias de éste con campos eléctricos exteriores. Para mejorar la distribución del campo eléctrico se utilizan también capas semiconductoras entre el conductor y el aislante, y entre éste y la pantalla.

Las armaduras, realizadas habitualmente de fleje de acero, van colocadas sobre el aislamiento para protección mecánica del cable conductor.

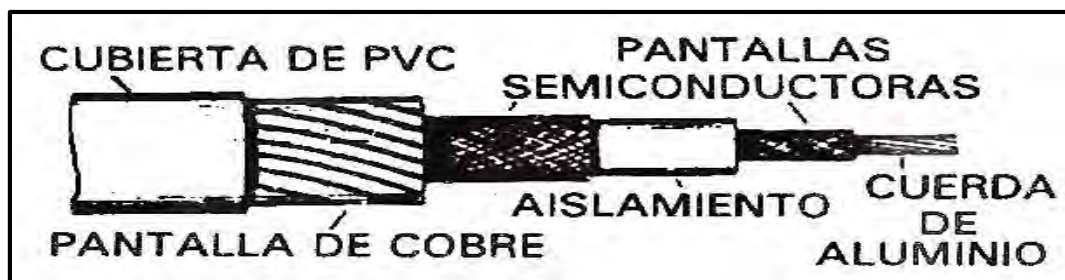
Las cubiertas de los cables protegen las armaduras metálicas contra la corrosión y la acción de agentes químicos. Si la armadura es de plomo la cubierta no es necesaria. Actualmente la mayoría de las cubiertas se hacen de materiales termoplásticos.

### **Cables aislados subterráneos para media tensión**

En las líneas subterráneas de media tensión se utilizan varios tipos de cables:

#### **Cables de aislamiento seco:**

El cable más utilizado es de aluminio y su forma física se muestra en la figura 4.6



**Fig. 4.6**

1) Composición. Cuerda de hilos de aluminio recubierto de pantalla semiconductor, aislamiento plástico, pantalla de cobre y cubierta de PVC



2) Designación. Se designan por tres letras (la primera indica el aislamiento, la segunda la pantalla y la tercera el material de la cubierta), seguidas por la tensión nominal, la composición del cable con su sección y la sección de la pantalla.

Así el cable DHV 12/20kV 1x240k Al + H16, es el cable con aislamiento de etileno propileno (D), pantalla (H), cubierta de PVC (V), tensión nominal 12/20 kV, unipolar de 240 mm<sup>2</sup> de sección, forma circular (k), aluminio y sección de la pantalla 16 mm<sup>2</sup>.

3) Características. Las principales características de los conductores más utilizados se indican en la tabla siguiente:

Características	CABLES RHV/DHB 12/20 Kv			
	1 x 95 AL	1 x 150 AL	1 x 240 AL	1 x 400 AL
Sección nominal (mm <sup>2</sup> ).	95	150	240	400
Espesor nominal de aislamiento (mm).	5.5	5.5	5.5	5.5
Diámetro exterior aproximado (mm).	30	33	37	47
Numero de alambres del conductor.	15	15	30	53
Radio mínimo de curvatura (mm).	420	480	560	680
Peso aproximado (kp/km).	910	1140	1540	2300
Nivel de aislamiento a impulsos (kV).	125	125	125	125
Intensidad admisible al aire a 40 °C (A).	245	320	435	580
Intensidad admisible enterrado a 25 °C (A).	250	315	415	530
Intensidad admisible en cortocircuito con duración de 0.1 s (kA).	27.9	44.1	70.5	117.6
Resistencia máxima a 20 °C (Ω/km).	0.320	0.206	0.125	0.078
Capacidad (μF/km).	0.235	0.257	0.310	0.360
Reactancia inductiva (Ω/km).	0.119	0.110	0.104	0.097

La temperatura máxima de trabajo de estos cables es de 90 °C y en cortocircuito de duración inferior a 5 s 250 °C

### Cables de papel impregnado

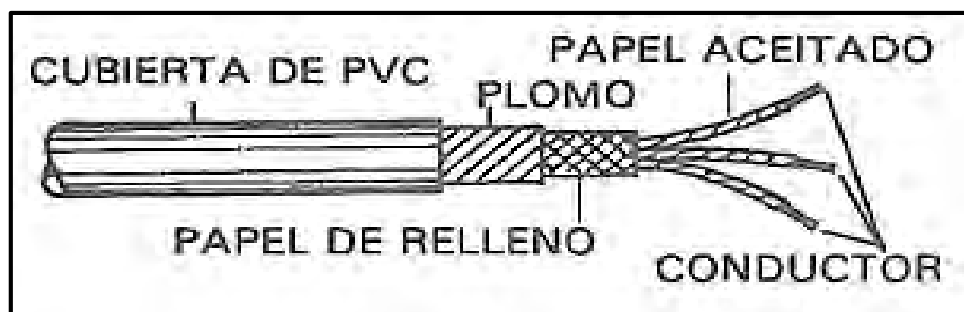


Fig. 4.7

1) Composición. Cable trifásico con conductores de cobre o aluminio, aislados con papel aceitado, cubierta común de plomo y cubierta exterior de PVC.

2) Designación. Se designan por tres letras (la primera indica el aislamiento de papel (P), la segunda la cubierta de plomo (P) y la tercera la cubierta exterior (V), seguidas por la tensión nominal y la composición del cable con su sección y material conductor.

Así el cable PPV 12/15 kV 3x95 Cu, es el cable con aislamiento de papel impregnado, cubierta de plomo y cubierta exterior de PVC, 12/15 kV de tensión nominal, tripolar de cobre de 95 mm<sup>2</sup> de sección (figura 4.7).

3) Características. Las principales características de los conductores utilizados son las indicadas en la tabla siguiente:

Características	PPV 12/15 V	
	3 x 95 Cu	3 x 150 AL
Sección nominal (mm <sup>2</sup> ).	95	150
Número de hilos	19	37
Diámetro exterior (mm).	57	59
Radio mínimo de curvatura (cm).	114	60
Intensidad nominal al aire a 40 °C (A).	215	195
Intensidad nominal enterrado a 25 °C (A).	125	235
Intensidad admisible de cortocircuito con duración de 0.5 s (kA).	9.3	15
Resistencia máxima a 20°C (Ω/km).	0.19	0.206

La temperatura máxima de trabajo de setos cables es de 70 °C

### Empalme, derivación y terminal

Se utilizan kits que contienen los elementos de montaje con sus accesorios y la información técnica. Los empalmes y derivaciones se realizaban en cajas metálicas (de hierro en trifásica y de plomo en monofásica). Actualmente se realizan en cajas de plástico.

La unión de una línea aérea con otra subterránea se hace en caja terminal de interior o de intemperie.

### Empalmes subterráneos en media tensión.

a) Empalme con cable de aislamiento seco. Para el cable RHV se utiliza manguito de empalme por compresión (fig 4.8) con aplicación de distintas cintas conductoras y aislantes para la reconstrucción del aislamiento del conductor.

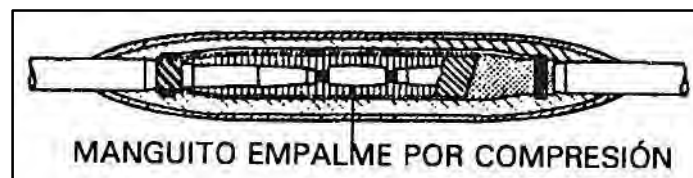


Fig. 4.8

Se utilizan actualmente los empalmes con piezas premoldeadas, formados por un conjunto de piezas que constituyen un “kit” de empalme. Después de unir el cable con un manguito, al retirar el núcleo interior del cuerpo del empalme de caucho-silicona, éste se contrae realizando el sellado del cable. Este empalme con cuerpo retráctil en frío se utiliza hasta 36 kV para cables con aislamiento seco.

b) Conectores enchufables (Fig 4.9): Empalme premoldeado que facilita la unión de un cable aislado a otro cable o a una terminal de un equipo eléctrico. En estos conectores se distinguen cuatro partes: conductor, apantallamiento interno, aislamiento y apantallamiento externo.

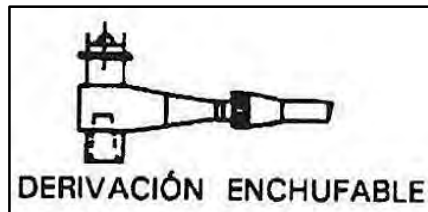


Fig. 4.9

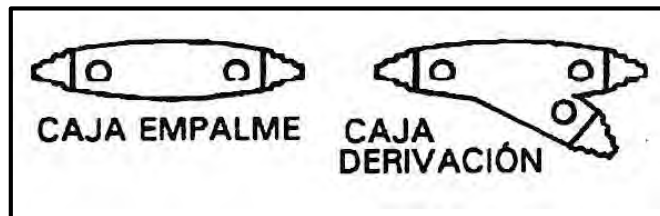
Con estos conectores se pueden montar distintos tipos de derivaciones y se utilizan mucho para la conexión del cable al terminal del transformador, formado por un pasatapas también enchufable. La instalación de los conectores puede ser en el interior o en el exterior, sin necesidad de herramientas especiales, encintado o material de relleno. Se utilizan hasta una tensión de 24 kV.

Empalmes y derivaciones en B.T.

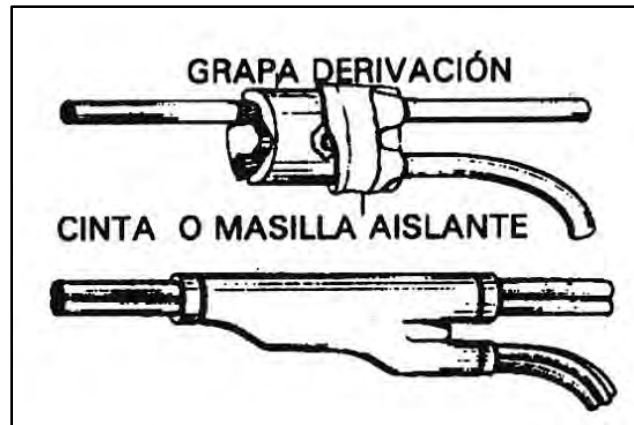
Los empalmes y derivaciones en las líneas subterráneas de B.T. se realizan:

Con vertido de resina, en cajas de empalme o derivación subterráneas de material plástico con relleno de resina epoxi o similar.

Los kits de conexión están formados por dos medias protecciones acopladas entre sí, ajustables al diámetro exterior del cable y rellenas de mezcla aislante.

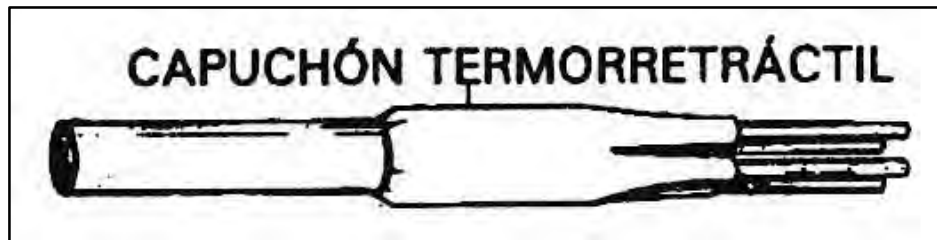


Los empalmes y derivaciones se protegen también con un cuerpo termorretráctil. La conexión se realiza con manguito o grapa de conexión cubierta con masilla aislante. La protección exterior termorretráctil está recubierta en su interior por un adhesivo que se derrite por la aplicación de calor, de forma que el cuerpo se retrae sellando perfectamente la conexión.



Estos materiales termorretráctiles tienen una gran resistencia mecánica y elevada resistencia a los agentes atmosféricos.

Para las terminaciones de los cables se utilizan también manguitos termorretráctiles.



Se fabrican también empalmes con cuerpo de protección retráctil en frío.

#### 4.6 INSTALACIONES SUBTERRÁNEAS.

##### Tuberías

En las primeras redes subterráneas de México la tubería era de PVC (policloruro de vinilo) y se contaba con un sistema de unión tipo campana: un extremo de la tubería se unía con el siguiente tubo y así sucesivamente. Para evitar su separación, se usaba pegamento; éste era un método de unión seguro, pero no garantizaba la hermeticidad y, en ocasiones, se tenían filtraciones de agua y tierra, originando tapones de lodo que impedían el paso de los conductores al momento de cablear.

Los coples adicionales cumplían con la misma función que la campana integrada al tubo, pero sin la garantía de la hermeticidad. Con las modificaciones en las normas de construcción de la CFE, se cambió a tubería de Polietileno de Alta Densidad, conocida como PAD como la mostrada en la figura 4.10. Existen dos tipos: lisa y corrugada. Cada una cuenta con sus sistemas de acoplamiento independientes.



**Fig. 4.10**

Tubería lisa

Acoplamiento de termofusión

Este es un método de soldadura para unir tubos de Polietileno de Alta Densidad. Las superficies a soldar deben comprimirse contra el termoelemento con una fuerza proporcional al diámetro de la tubería y luego se debe disminuir hasta un valor determinado de presión, con el fin de que las caras absorban el calor necesario para la polifusión.

Esta disminución provoca la formación de un cordón regular alrededor de la circunferencia, relacionado directamente con el espesor del tubo.

Desventajas

El equipo para realizar la termofusión es costoso. En caso de adquirirlo, se debe contar con el personal calificado para su uso; de no ser así, se tiene que gestionar la renta de un equipo para realizar el trabajo, incrementando el costo de la obra.

### **Tubería corrugada**

Actualmente existen dos tipos de acoplamiento:

1) Acoplamiento de campana (Fig. 4.11).

Es muy similar a los de la tubería de PVC, las campanas vienen extruidas a un extremo para unirse al siguiente tubo, pero se le agregó un anillo que garantiza la hermeticidad de la unión.



**Fig. 4.11**

#### Desventajas

Las campanas al estar extruidas -o unidas al tubo- son de un espesor delgado, por tanto se hacen maleables y llegan a presentar fallas en los sistemas de unión, traduciéndose como re-trabajo al tener que realizar amarres especiales con alambre. Si al realizar la unión con el anillo se ocupan otros líquidos por no contar con el lubricante adecuado, se pueden poner en riesgo las instalaciones.

#### 2) Sistema de unión por medio de coples (Fig. 4.12).

Hoy en día POLIFLEX, reforzando su misión de hacer más fáciles y seguras las instalaciones eléctricas, cuenta con el sistema de acoplamiento más seguro que existe en el mercado. Con la retroalimentación de los instaladores y basándose en sus necesidades, diseñó un innovador cople, garantizando la hermeticidad entre uniones y la utilización del material al 100%.



**Fig. 4.12**

## Ventajas

Al ser un cople traslúcido, puedes apreciar a través de sus paredes que la tubería está colocada correctamente a tope y que tiene los anillos que garantizan la hermeticidad en la unión. Adicional a esto, cuenta con unas pestañas de seguridad, evitando que se salga de su posición original.

Vienen por separado para que se puedan ocupar a cualquier distancia de unión. Cada uno incluye su lubricante especial que no deja ningún residuo tóxico pues está hecho a base de agua; además es inoloro y se evapora en cuestión de minutos. Este método de unión es bastante rápido, confiable y seguro.

## Canalización a cielo abierto

El trazo debe realizarse conforme a los planos del proyecto e indicaciones de la supervisión de obra de la CFE; tiene que efectuarse con equipo topográfico, evitando en lo posible interferencias y cruzamientos con otras instalaciones existentes. En caso de encontrarse con otra instalación de servicio, ya sea teléfonos, agua potable, drenaje o alumbrado, se tiene que coordinar con la supervisión de la CFE a fin de determinar una solución a la intersección.

Para lugares donde se detecte la presencia de registros telefónicos, agua, etcétera, y no se cuente con información que permita conocer su trayectoria y características, se recomienda efectuar tres sondeos máximos por cuadra –preferentemente– donde se construirán los registros, con el fin de planear el nuevo trazo si fuese necesario.



**Ejemplo de canalización a cielo abierto**

## Microzanjas

Una microzanja es una técnica en la cual se ejecuta un corte longitudinal continuo sobre una superficie de asfalto fig. 4.13 (a), concreto o terracería con el objetivo de facilitar y agilizar el acceso a los cables enterrados. El procedimiento de excavación se puede hacer de manera mecánica por medio de maquinaria (retroexcavadoras) Fig. 4.13 (b) o bien con el método tradicional: pico y pala.

El ancho y profundidad de la zanja es conforme al tipo de canalización que se instale. Los ductos para alojar cables de fibra óptica pueden variar su diámetro, desde 1 ¼” hasta 2” (para el caso de los monoductos). Fig. 4.13 (c)

Las profundidades de la microzanja están en el rango de los 30 cm a los 60 cm de profundidad; su ancho puede variar. En el caso de la instalación de monotubo puede ser desde 6 cm.

Un punto importante es que se debe acumular tierra limpia de relleno en el fondo de la zanja para soportar la tubería cuando se instale en la excavación, (por lo general se le conoce como una cama de arena).

Además, se debe tener en cuenta la flexión del ducto, por eso es necesario que cada esquina sea sesgada al momento de realizar la zanja.

Los ductos para alojar cables de fibra óptica pueden variar su diámetro, desde 1 ¼” hasta 2” (para el caso de los monoductos).

La zanja debe excavar de manera directa, nivelada y sin rocas, lo más posible. También se deben evitar las curvas más pequeñas que el radio de curvatura de la tubería. Además si ocurre un cambio de nivel brusco en el piso de la zanja es necesario utilizar relleno (tierra limpia) para soportar la tubería.



Fig. 4.13



## Registro de paso

En la figura 4.14 se muestran las dimensiones normalizadas del registro y de los ductos, así como su ubicación respecto al registro de distribución de CFE.

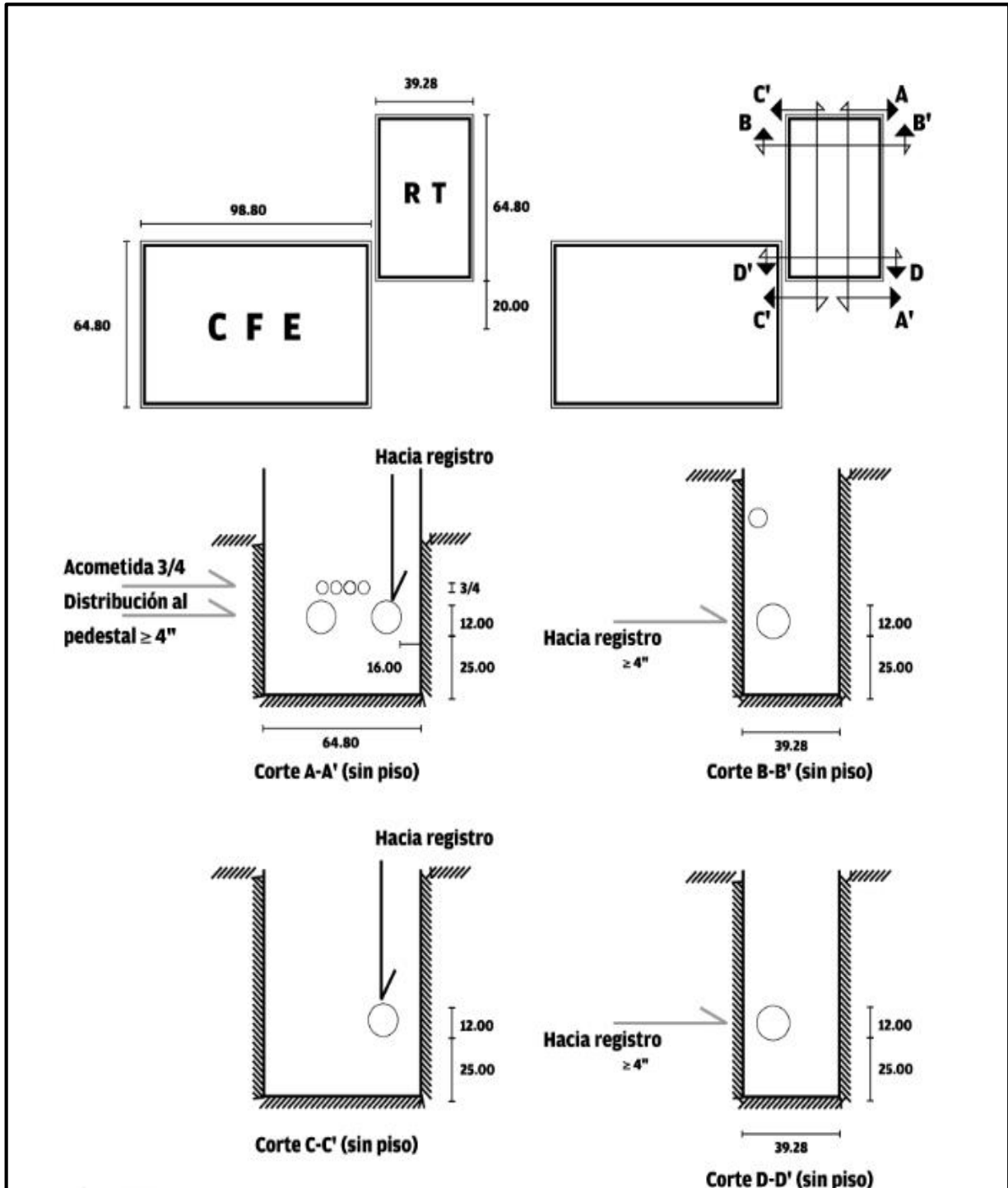


Fig. 4.14

## 4.7 PROTECCIONES.

Los elementos fundamentales, conductores y aislamientos, completan, desde el punto de vista eléctrico, los cables más sencillos. En general, los cables suelen tener un diseño más complejo, pues a los componentes citados hay que añadir las protecciones que defienden al cable contra distintos tipos de agresiones.

Clases de protecciones:

Se pueden distinguir cuatro:

- 1) Capas semiconductoras.**
- 2) Pantallas.**
- 3) Armaduras.**
- 4) Cubiertas exteriores.**

- 1) Capas semiconductoras:

Se trata de delgadas capas de material sintético conductor, que se coloca en los cables de aislamiento seco y cuya función principal es evitar la presencia de aire en puntos del cable sometidos a un campo eléctrico intenso.

La capa interior, colocada entre conductor y aislante tiene por objeto hacer perfectamente cilíndrico el campo eléctrico en contacto con el conductor rellenando los huecos dejados por los alambres constituyentes de la cuerda, con lo que se mejora el valor del gradiente eléctrico en el punto más desfavorable y se disminuye el riesgo de la formación de “absorbencias”, se mantiene siempre a la misma tensión que el conductor con que está en íntimo contacto.

En los cables con aislamiento de papel impregnado cumple la misma función, un encintado de papel carbón que se coloca sobre cada conductor. La capa exterior, cumple semejante función en la parte exterior de aislamiento y se mantiene a la tensión de tierra. Para mayor facilidad en la instalación de empalmes o terminales, la composición química de esta capa es de tal naturaleza que es relativamente fácil separarla del aislamiento.

Las tres capas que cubren el conductor en un cable seco son: capa semiconductor interna, aislamiento y capa semiconductor externa. Se aplican en un proceso simultáneo de tripe extrusión en el vacío con lo que se garantiza la ausencia de aire entre las mismas. Por estas razones, a los cables fabricados utilizando esta técnica se le denomina de “triple extrusión separable en frío” (TESF).

## 2) Pantallas:

Son elementos metálicos con funciones de protección eléctrica. La utilización de estas pantallas puede tener por objeto proteger el cable contra interferencias exteriores, darle forma cilíndrica al campo eléctrico, o incluso evitar accidentes derivando a tierra una eventual corriente por falla.

La pantalla metálica puede constar de: alambres, cintas planas o corrugadas o combinación de alambres y cinta. En el caso de cables aislados con papel, la cubierta de plomo hace las veces de la pantalla. El diseño de la pantalla metálica se debe efectuar de acuerdo al propósito de diseño que puede ser:

- ➔ Para propósitos electrostáticos.
- ➔ Para conducir corriente de falla.
- ➔ Como pantalla neutra (Sistemas residenciales subterráneos).

## 3) Armaduras

Son elementos metálicos con funciones de protección mecánica. Pueden estar previstas para proteger al cable contra esfuerzos de tracción, cortantes, contra roedores, etc. y estar constituido por flejes de hierro o aluminio colocados en hélice de paso corto o coronas de alambres también de hierro o aluminio, en hélice de paso largo, trenzados de hilos de acero, etc.

Las armaduras de hierro, deben aplicarse sobre cables que incluyan los conductores de retorno, ya que si se aplican sobre cables unipolares podrían dar lugar, por histéresis o corrientes de Foucault, a pérdidas muy elevadas.

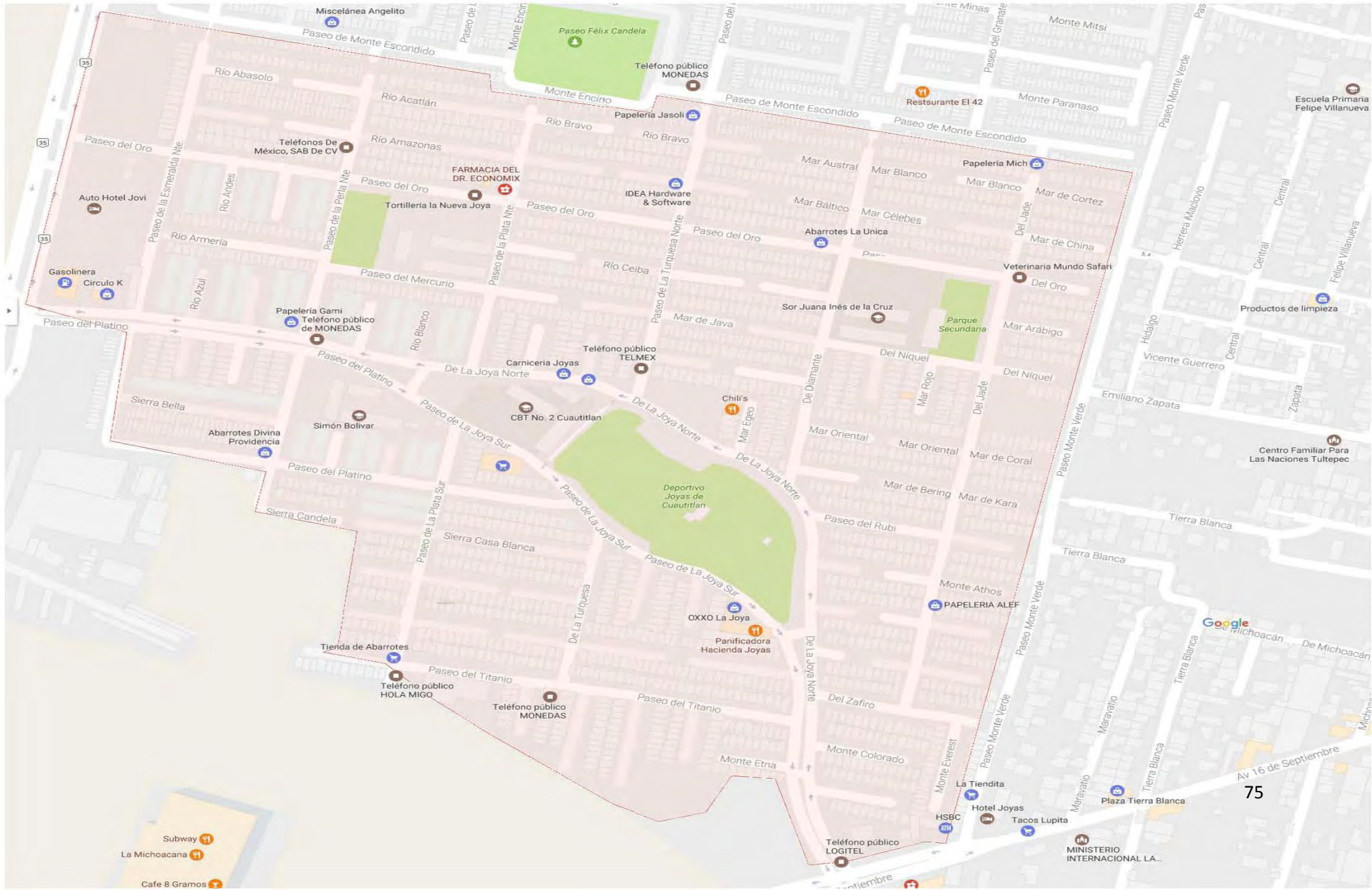
## 4) Cubiertas exteriores.

Es el elemento final del cable que debe protegerle contra los agentes exteriores (químicos, biológicos, atmosféricos, abrasivos, etc.)

Los materiales más comúnmente empleados en las cubiertas de los cables son:

- a) Termoplásticos:
  - Policloruro de vinilo (PVC)
  - Polietileno termoplástico (PE)
- b) Termo fijos:
  - Policloropleno (neopreno) (N)
  - Polietileno clorosulfonado (Hypalón) (I)

# CAPÍTULO 5. PROYECTO.



El fraccionamiento de Joyas de Cuautitlán se encuentra en el municipio de Cuautitlán de Romero Rubio, Estado de México, este fraccionamiento cuenta con una red de distribución aérea de la cual se alimentan 2258 cargas domésticas, 2 escuelas, 6 cargas comerciales y un área deportiva, en este proyecto se llevara a cabo el diseño de una red de distribución subterránea la cual brindara un mejor servicio y seguridad a los habitantes.

Para ejemplificar el procedimiento a seguir para realizar los cálculos, se tomaron seis lotes que cuentan con diferentes tipos de cargas debido a que el resto de los cálculos se realizan de la misma manera.

## 5.1 CALCULO DE CORRIENTES

### Casa habitacional

1	Refrigerador	350 w
1	Lavadora	520 w
1	Plancha	1000 w
2	T.V	200 w
1	Horno de microondas	800 w
1	Computadora de escritorio	200 w
1	DVD	100 w
10	Focos de 23 w	230 w
	Varios	<u>200 w</u>
		3600 w

### Escuelas

25000 w c/u

Oxxo y Gasolinera	30 Kw
Super city	30 Kw
Panadería y Oxxo	30 Kw
Aurrera express	20 Kw

### Carga por casa

$$Carga\ real = \frac{3600 \times 0.4}{1.25} = 1.152\ Kw\ por\ casa$$

-Para las casas

$$I_{serv} = \frac{1152}{\sqrt{3}(220)0.85} = 3.55A$$

-Para el alumbrado

$$I_{alum} = \frac{150}{(220)0.9} = 0.76A$$

-Para las escuelas

$$I_{esc} = \frac{25000}{\sqrt{3}(220)0.9} = 72.89 A$$

-Para el comercio (Panadería y Oxxo, Súper city, Oxxo y Gasolinera)

$$I_{comercio} = \frac{30000}{\sqrt{3}(220)0.85} = 92.6A$$

-Para el comercio (Aurrera express)

$$I_{comercio} = \frac{20000}{\sqrt{3}(220)0.85} = 61.74A$$

Lote	Cargas			Transformador			Total de Transformadores
	Domesticas	Alumbrado	Comerciales y Escuelas	45 KVA	75 KVA	112.5 KVA	
1	15	11	0	0	1	0	1
2	103	12	0	0	0	1	1
3	94	12	0	0	0	1	1
4	98	12	0	0	1	1	2
5	100	12	1	2	0	1	3
6	96	14	0	0	0	2	2
7	56	6	0	0	2	0	2
8	0	4	2	1	0	0	1
9	120	28	0	0	0	1	1
10	1	7	0	0	0	1	1
11	77	17	0	1	1	0	2
12	145	30	0	0	0	2	2
13	169	25	0	0	0	2	2
14	0	16	1	0	1	0	1

15	41	7	0	0	1	0	1
16	147	26	0	0	1	1	2
17	56	12	0	2	0	0	2
18	96	19	0	0	2	0	2
19	87	18	0	0	2	0	2
20	92	21	1	1	2	0	3
21	0	30	1	0	1	0	1
22	101	21	0	0	0	1	1
23	36	11	1	0	2	0	2
24	17	5	1	1	0	0	1
25	20	0	0	0	0	0	0
26	35	11	0	0	1	0	1
27	34	7	0	0	0	1	1
28	148	26	0	0	0	2	2
29	118	27	2	1	1	1	3
30	53	10	0	2	0	0	2
31	50	8	0	0	0	1	1
32	12	0	0	0	0	0	0

**Lote 3 y 4**

Al realizar los cálculos de las cargas totales en estos dos lotes, se tomó la decisión de que compartieran transformadores, debido a su cercanía. Estos dos lotes se alimentan con tres transformadores.



Lote 3

- Servicios

$$94 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 108.28 \text{ Kw}$$

- Alumbrado

$$12 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 1.8 \text{ Kw}$$

$$108.28 \text{ Kw} + 1.8 \text{ Kw} = 110.08 \text{ Kw}$$

$$KVA'S \rightarrow \frac{110.08}{0.85} = 129.51 \text{ KVA}$$

Lote 4

- Servicios

$$98 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 112.89 \text{ Kw}$$

- Alumbrado

$$12 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 1.8 \text{ Kw}$$

$$112.89 \text{ Kw} + 1.8 \text{ Kw} = 114.68 \text{ Kw}$$

$$KVA'S \rightarrow \frac{114.68}{0.85} = 134.93 \text{ KVA}$$

- CALCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

Es el cálculo que nos permite conocer la capacidad en términos de porcentaje a la cual el transformador está trabajando. Es recomendable dejarlo operando a un porcentaje no mayor a 90% tomando en cuenta algún posible aumento en la demanda de las cargas.

1° transformador 112.5 KVA

$$73 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 84.09 \text{ Kw}$$

$$KVA'S \rightarrow \frac{84.09}{0.85} = 98.92 \text{ KVA}$$

$$Fu = \frac{98.92 \text{ KVA}}{112.5 \text{ KVA}} \times 100 = 87.92\%$$

2° transformador 112.5 KVA

$$73 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 84.09 \text{ Kw}$$



$$KVA'S \rightarrow \frac{84.09}{0.85} = 98.92 KVA$$

$$Fu = \frac{98.92 KVA}{112.5 KVA} \times 100 = 87.92\%$$

3° transformador 75 KVA

$$46 \text{ casas} \times 1.152 Kw = 52.99 Kw$$

$$24 \text{ lamparas} \times 150 w = 3.6 Kw$$

$$52.99 Kw + 3.6 Kw = 56.59 Kw$$

$$KVA'S \rightarrow \frac{56.59}{0.85} = 66.57 KVA$$

$$Fu = \frac{66.57 KVA}{75 KVA} \times 100 = 88.76\%$$

En los lotes 3 y 4 utilizamos tres transformadores (dos de 112.5 y uno de 75 KVA) en los cuales su factor de utilización no rebasa el 90%.

#### - CALCULO DEL CENTRO DE CARGA

Este cálculo sirve para definir la ubicación del transformador.

Ventajas:

- ✓ Reduce costos por utilizar conductores de calibre delgado.
- ✓ Reduce caídas de tensión y porcentaje de regulación.

Y se calcula de la siguiente manera:

$$C. C. = \frac{\sum(I \times \ell)}{\sum(I)}$$

		Numero de Cargas								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distancia en metros	x	45.83	68.75	45.83	68.75	166.66	85.2	187.5	187.5	177.08
	y	25	53.57	53.57	85.2	53.57	85.2	25	53.57	4.2

Para el 1° transformador con capacidad de 112.5 KVA

$$24 \text{ casas} \times 3.55A = 85.2 A$$

$$24 \text{ casas} \times 3.55A = 85.2 A$$

$$25 \text{ casas} \times 3.55A = 88.75 A$$

$$L_x = \frac{(85.2A)(45.83m) + (88.75A)(68.75m) + (85.2A)(45.83m)}{85.2A(2) + 88.75A}$$

$$L_x = \mathbf{53.63m}$$

$$L_y = \frac{(85.2A)(25m) + (88.75A)(53.57m) + (85.2A)(53.57m)}{85.2A(2) + 88.75A}$$

$$L_y = \mathbf{44.17m}$$

Para el 2° transformador con capacidad de 112.5 KVA

$$24 \text{ casas} \times 3.55A = 85.2A$$

$$24 \text{ casas} \times 3.55A = 85.2A$$

$$25 \text{ casas} \times 3.55A = 88.75A$$

$$L_x = \frac{(85.2A)(68.75m) + (88.75A)(166.66m) + (85.2A)(166.66m)}{85.2A(2) + 88.75A}$$

$$L_x = \mathbf{134.47m}$$

$$L_y = \frac{(85.2A)(25m) + (88.75A)(53.57m) + (85.2A)(25m)}{85.2A(2) + 88.75A}$$

$$L_y = \mathbf{34.78m}$$

Para el 3° transformador con capacidad de 75 KVA

$$23 \text{ casas} \times 3.55A = 81.65 A$$

$$23 \text{ casas} \times 3.55A = 81.65 A$$

$$24 \text{ lamparas} \times 0.76A = 18.24 A$$

$$L_x = \frac{(81.65A)(187.5m) + (81.65A)(187.5m) + (18.24A)(177.08m)}{81.65A(2) + 18.24A}$$

$$L_x = 186.45m$$

$$L_y = \frac{(81.65A)(25m) + (81.65A)(53.57m) + (18.24A)(4.2m)}{81.65A(2) + 18.24A}$$

$$L_y = 35.75m$$

- ANÁLISIS DE CAÍDA DE TENSIÓN.

El cálculo y análisis de la caída de tensión se realiza para cada circuito tomando en cuenta que se utilizara el tipo de conductor BTC y BTA, que es el conductor para redes de distribución subterráneas. Este cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$e = I * Z * d$$

Dónde:

$e$  = caída de tensión

$I$  = Corriente para cada carga [Amperes]

$Z$  = Resistencia del conductor por kilometro [ $\frac{\Omega}{Km}$ ]

$d$  = distancia de la carga [Km]

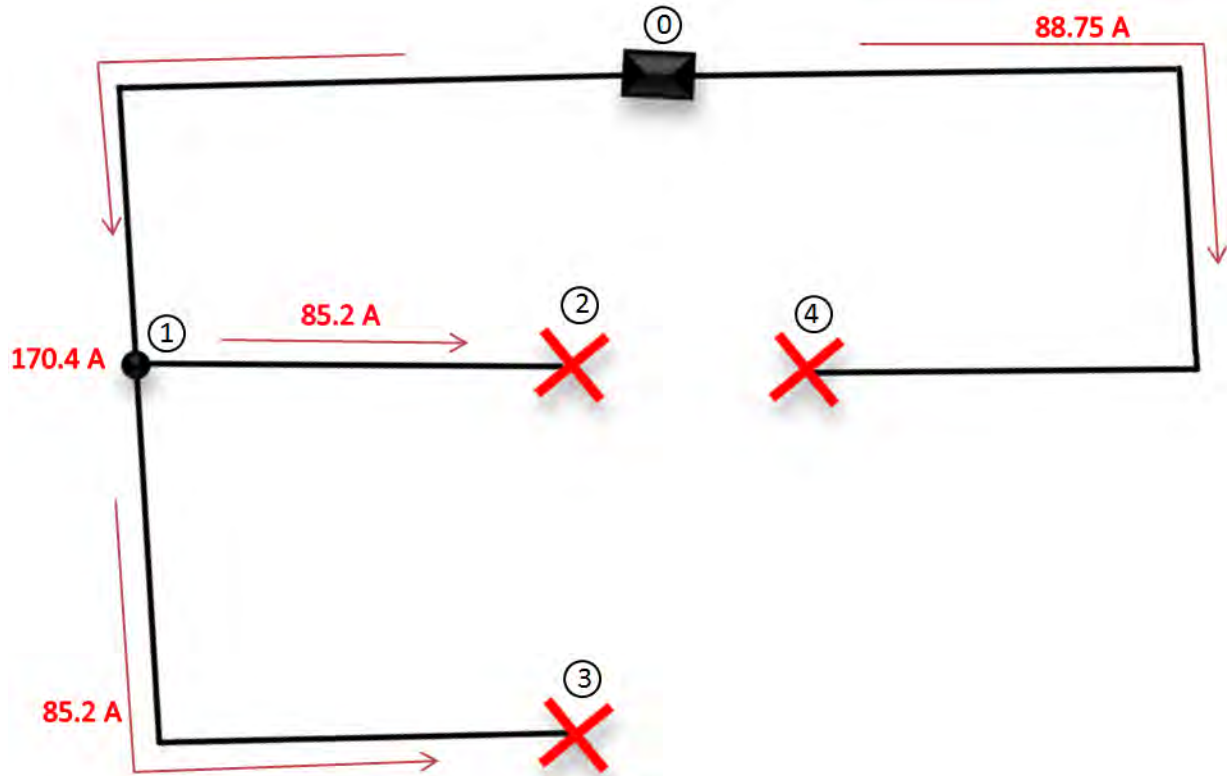
En las siguientes tablas se observan calibres, resistencia y amperajes para los diferentes tipos de cable que utilizaremos para el análisis de caída de tensión.

<b>Cable BTC (Baja tensión Cobre)</b>		
<b>1 x 15</b>	1.394 $\Omega$ / Km.	110 Amperes
<b>1 x 35</b>	0.5796 $\Omega$ / Km.	170 Amperes
<b>1 x 70</b>	0.312 $\Omega$ / Km.	270 Amperes
<b>1 x 150</b>	0.163 $\Omega$ / Km.	420 Amperes

<b>Cable BTA (Baja tensión Aluminio)</b>		
<b>AWG - mm<sup>2</sup></b>	<b><math>\Omega</math> / Km.</b>	<b>Amperes</b>
<b>4 - 21</b>	1.744	75
<b>2 - 33</b>	1.096	100
<b>1/0 - 53</b>	0.68	135
<b>2/0 - 67</b>	0.546	150
<b>3/0 - 85</b>	0.433	175
<b>4/0 - 107</b>	0.344	205

### Análisis de caída de tensión para el 1° transformador

En la imagen se muestra un diagrama unifilar para el primer transformador, así como la dirección de las corrientes para cada una de sus cargas.



$$e_{0-1} = 170.4 A \times 0.163 \times 0.069 = 1.91$$

$$e_{1-2} = 85.2 A \times 0.312 \times 0.0458 = 1.21$$

$$e_{1-3} = 85.2 A \times 0.163 \times 0.0782 = 1.08$$

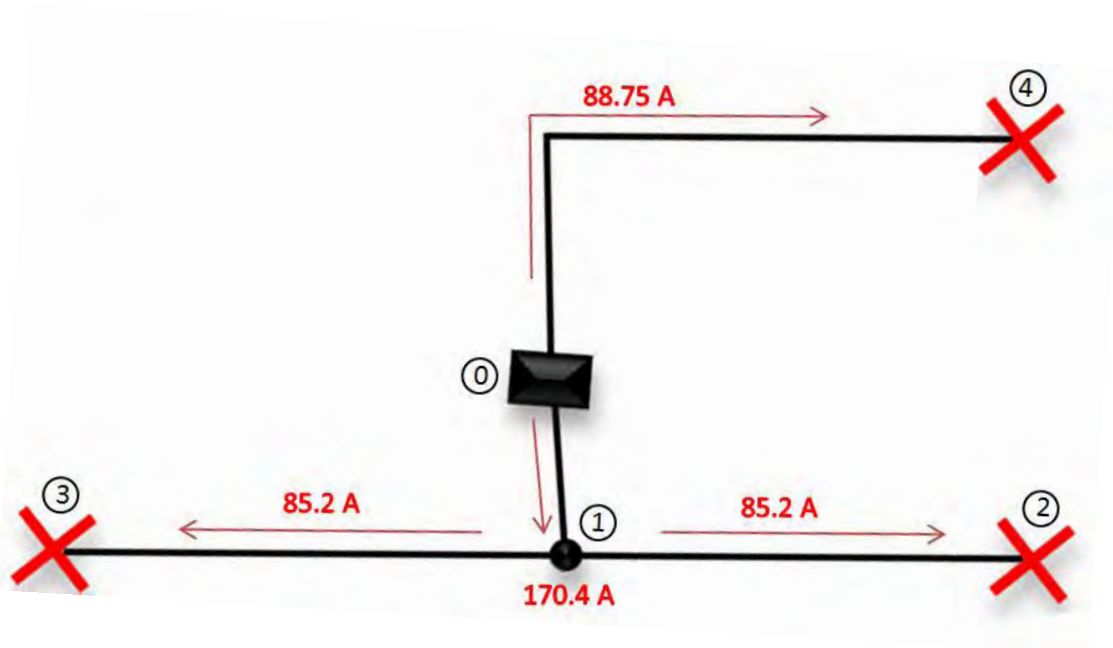
$$e_{0-4} = 88.75 A \times 0.163 \times 0.1276 = 1.84$$

$$1.91 + 1.21 + 1.08 + 1.84 = 6.04$$

$$\% Reg = \frac{127 - 120.96}{127} \times 100 = 4.75\%$$

Este cálculo nos arroja un porcentaje de regulación del 4.75% el cual se encuentra dentro del porcentaje permitido por norma que establece un  $\pm 5\%$  en la variación de tensión.

## Análisis de caída de tensión para el 2° transformador



$$e_{0-1} = 170.4 \text{ A} \times 0.344 \times 0.0142 = 0.83$$

$$e_{1-2} = 85.2 \text{ A} \times 0.433 \times 0.0479 = 1.76$$

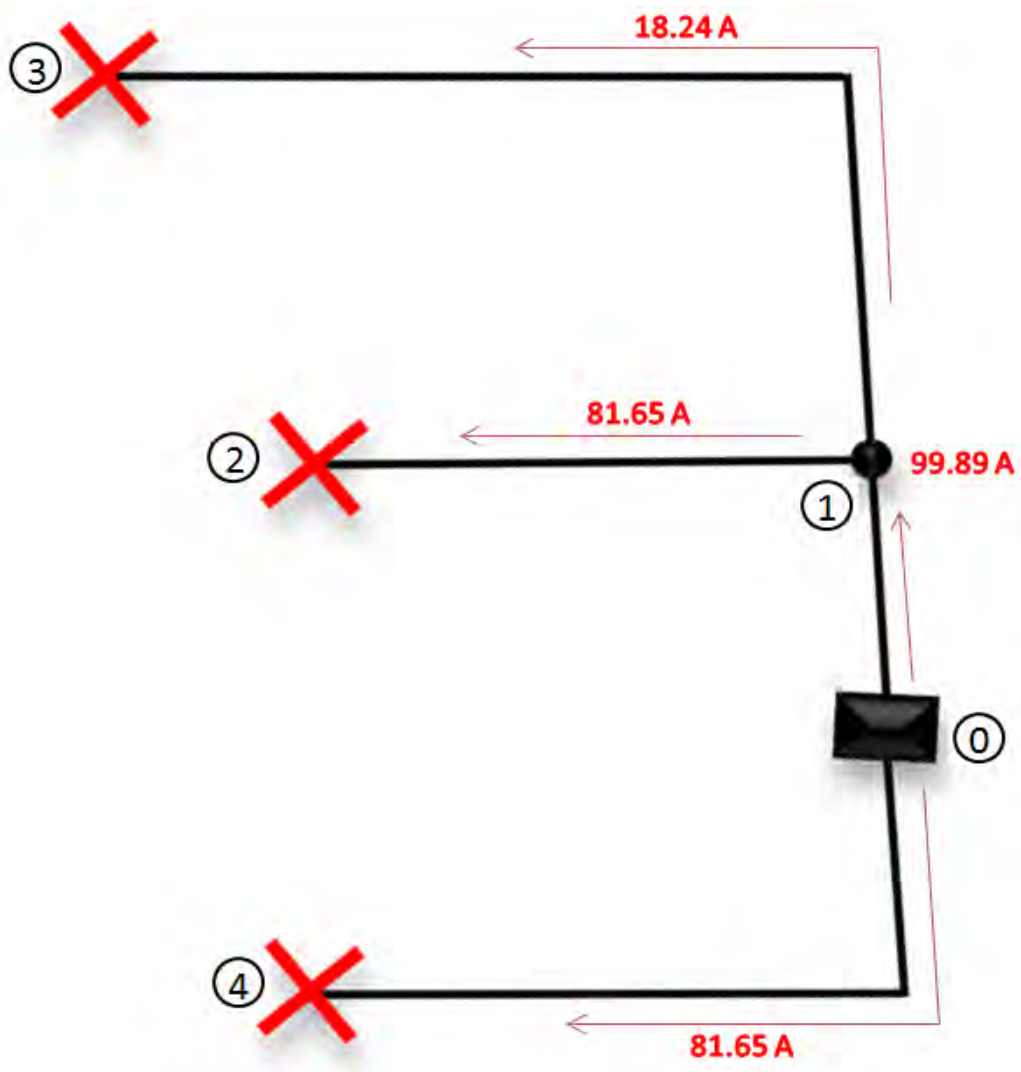
$$e_{1-3} = 85.2 \text{ A} \times 0.344 \times 0.0541 = 1.58$$

$$e_{0-4} = 88.75 \text{ A} \times 0.344 \times 0.066 = 1.84$$

$$0.83 + 1.76 + 1.58 + 2.01 = 6.18$$

$$\% Reg = \frac{127 - 120.82}{127} \times 100 = 4.86\%$$

Análisis de caída de tensión para el 3° transformador



$$e_{0-1} = 99.89 \text{ A} \times 0.68 \times 0.016 = 1.08$$

$$e_{1-2} = 81.65 \text{ A} \times 0.68 \times 0.0479 = 2.65$$

$$e_{1-3} = 18.24 \text{ A} \times 1.096 \times 0.0657 = 1.31$$

$$e_{0-4} = 81.65 \text{ A} \times 0.163 \times 0.0642 = 0.85$$

$$1.08 + 2.65 + 1.31 + 0.85 = 5.89$$

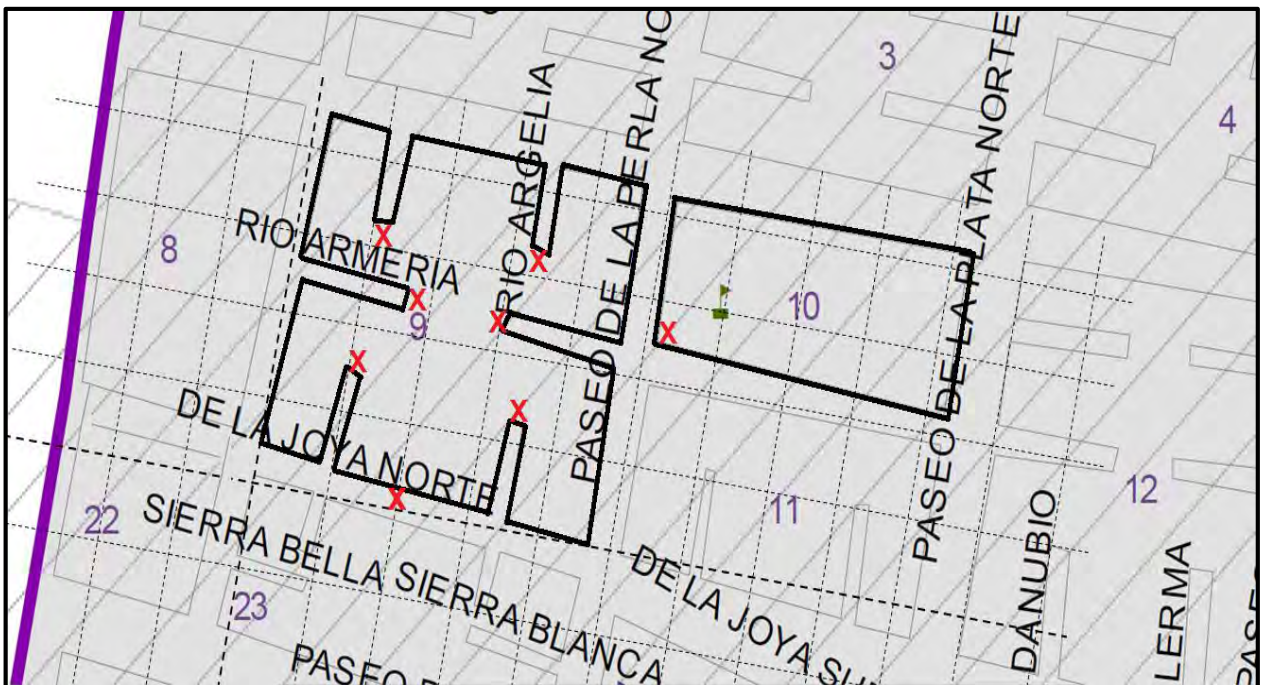
$$\% \text{ Reg} = \frac{127 - 121.11}{127} \times 100 = 4.63\%$$

### Para el Lote 3 y 4



En esta imagen se muestra la ubicación de los transformadores según los cálculos del centro de carga (circulo en color claro) y la ubicación más conveniente para el suministro de energía (circulo en color obscuro).

### LOTE 9 y 10



Lote 9

- Servicios

$$120 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 138.24 \text{ Kw}$$

- Alumbrado

$$28 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 4.2 \text{ Kw}$$

$$138.24 \text{ Kw} + 4.20 \text{ Kw} = 142.44 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{142.44}{0.85} = 167.57 \text{ KVA}$$

Lote 10

-Escuela

$$25 \text{ Kw}$$

- Alumbrado

$$7 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 1.05 \text{ Kw}$$

$$25.0 \text{ Kw} + 1.05 \text{ Kw} = 26.05 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{26.05}{0.85} = 30.64 \text{ KVA}$$

- CALCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

1° transformador 112.5 KVA

$$74 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 85.24 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{85.24}{0.85} = 100.29 \text{ KVA}$$

$$Fu = \frac{100.29 \text{ KVA}}{112.5 \text{ KVA}} \times 100 = 89.14 \%$$

2° transformador 112.5 KVA

$$46 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 52.92 \text{ Kw}$$

- Alumbrado

$$35 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 5.25 \text{ Kw}$$

-Escuela 25 Kw



$$52.92 + 5.25 \text{ Kw} + 25 \text{ Kw} = 83.24 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{83.24}{0.85} = 97.93 \text{ KVA}$$

$$Fu = \frac{97.93 \text{ KVA}}{112.5 \text{ KVA}} \times 100 = 87.05 \%$$

- CALCULO DEL CENTRO DE CARGA

		Cargas							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Distancia en metros	x	29.17	43.75	27.08	85.41	75	87.5	135.41	50
	y	37.50	57.14	75	76.78	57.14	32.14	62.50	3.57

1° transformador 112.5 KVA

$$25 \text{ casas} \times 3.55 \text{ A} = 88.75 \text{ A}$$

$$24 \text{ casas} \times 3.55 \text{ A} = 85.20 \text{ A}$$

$$25 \text{ casas} \times 3.55 \text{ A} = 88.75 \text{ A}$$

$$L_x = \frac{(88.75 \text{ A} \times 29.17 \text{ m}) + (85.20 \text{ A} \times 43.75 \text{ m}) + (88.75 \text{ A} \times 27.08 \text{ m})}{88.75 \text{ A} + 85.20 \text{ A} + 88.75 \text{ A}}$$

$$L_x = 33.19 \text{ m.}$$

$$L_y = \frac{(88.75 \text{ A} \times 37.5 \text{ m}) + (85.20 \text{ A} \times 57.14 \text{ m}) + (88.75 \text{ A} \times 75 \text{ m})}{88.75 \text{ A} + 85.20 \text{ A} + 88.75 \text{ A}}$$

$$L_y = 56.53 \text{ m.}$$

2° transformador 112.5 KVA

$$15 \text{ casas} \times 3.55 \text{ A} = 53.25 \text{ A}$$

$$16 \text{ casas} \times 3.55 \text{ A} = 56.80 \text{ A}$$

$$15 \text{ casas} \times 3.55 \text{ A} = 53.25 \text{ A}$$

$$I_{\text{escuela}} = 77.18 \text{ A}$$

$$30 \text{ lamparas} \times 0.76 \text{ A} = 22.80 \text{ A}$$

$$L_x = \frac{[(53.25 A \times 85.41m) + (56.80 A \times 75m) + (53.25 A \times 87.5m)] + (77.18 A \times 135.41m) + (22.80 A \times 50m)}{53.25 A + 56.80 A + 53.25 A + 77.18 A + 22.80 A}$$

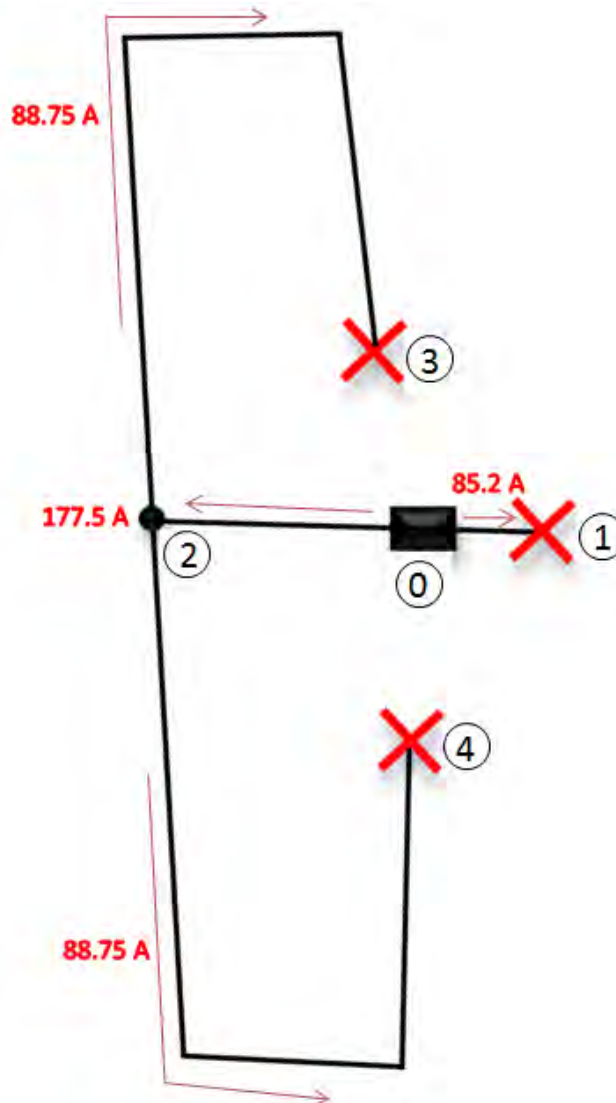
$$L_x = 95.17 \text{ m.}$$

$$L_y = \frac{[(53.25 A \times 76.78m) + (56.80 A \times 57.14m) + (53.25 A \times 32.14m)] + (77.18 A \times 62.5m) + (22.80 A \times 3.57m)}{53.25 A + 56.80 A + 53.25 A + 77.18 A + 22.80 A}$$

$$L_y = 52.98 \text{ mts.}$$

### - ANÁLISIS DE CAÍDA DE TENSIÓN

Análisis de caída de tensión para el 1° transformador



$$e_{0-1} = 85.2 \text{ A} \times 1.394 \times 0.0096 = 1.14$$

$$e_{0-2} = 177.5 \text{ A} \times 0.344 \times 0.0288 = 1.75$$

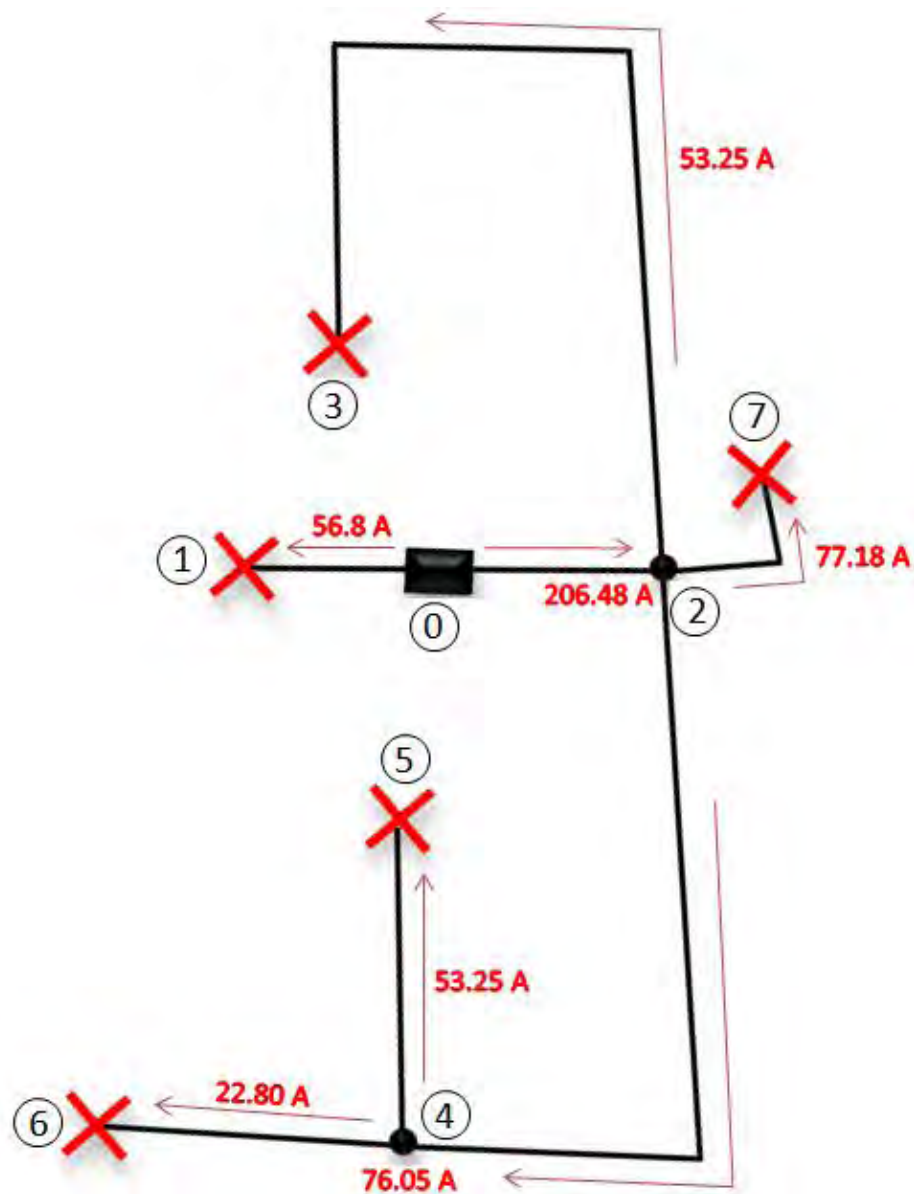
$$e_{2-3} = 88.75 \text{ A} \times 0.163 \times 0.1019 = 1.47$$

$$e_{2-4} = 88.75 \text{ A} \times 0.163 \times 0.1115 = 1.61$$

$$1.14 + 1.75 + 1.47 + 1.61 = 5.97$$

$$\% \text{ Reg} = \frac{127 - 121.03}{127} \times 100 = 4.70 \%$$

Análisis de caída de tensión para el 2° transformador



$$e_{0-1} = 56.80 A \times 0.68 \times 0.0192 = 0.74$$

$$e_{0-2} = 206.48 A \times 0.163 \times 0.025 = 0.84$$

$$e_{2-3} = 53.25 A \times 0.163 \times 0.1211 = 1.05$$

$$e_{2-4} = 76.05 A \times 0.163 \times 0.0923 = 1.12$$

$$e_{4-5} = 53.25 A \times 0.433 \times 0.0326 = 0.75$$

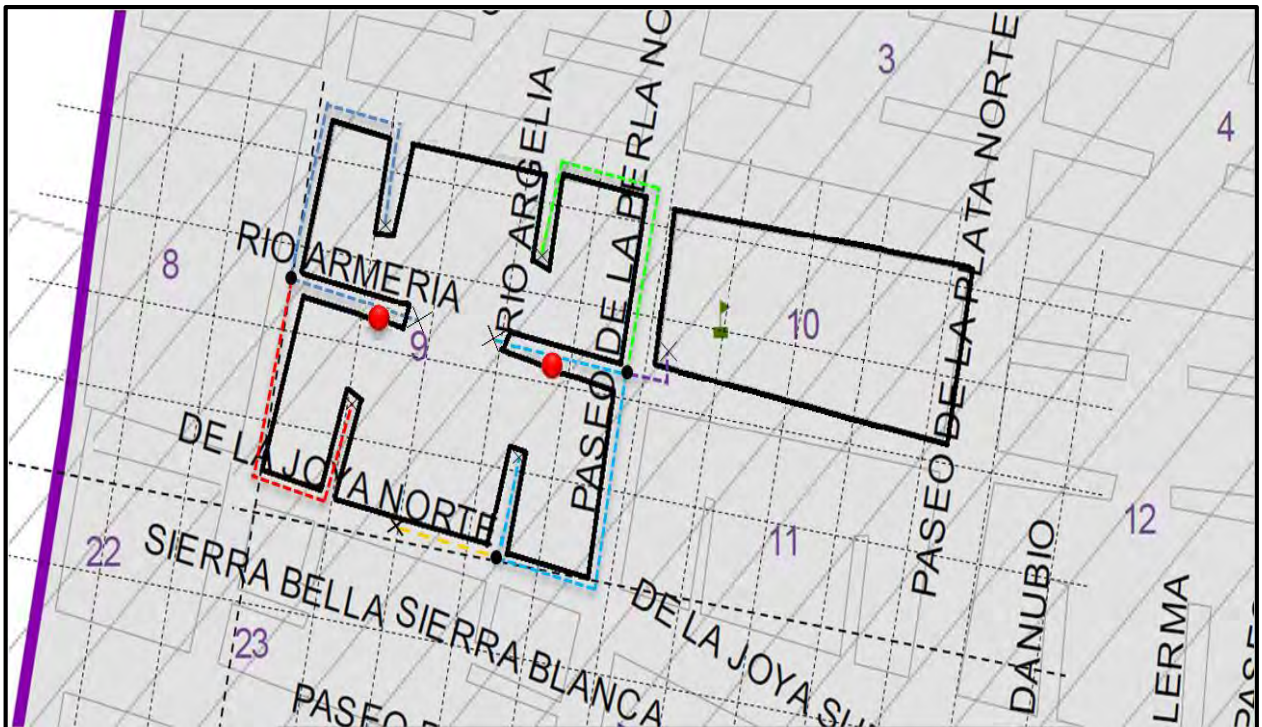
$$e_{4-6} = 22.80 A \times 1.096 \times 0.0346 = 0.86$$

$$e_{2-7} = 77.18 \times 0.433 \times 0.023 = 0.76$$

$$0.74 + 0.84 + 1.05 + 1.12 + 0.75 + 0.86 + 0.76 = 6.12$$

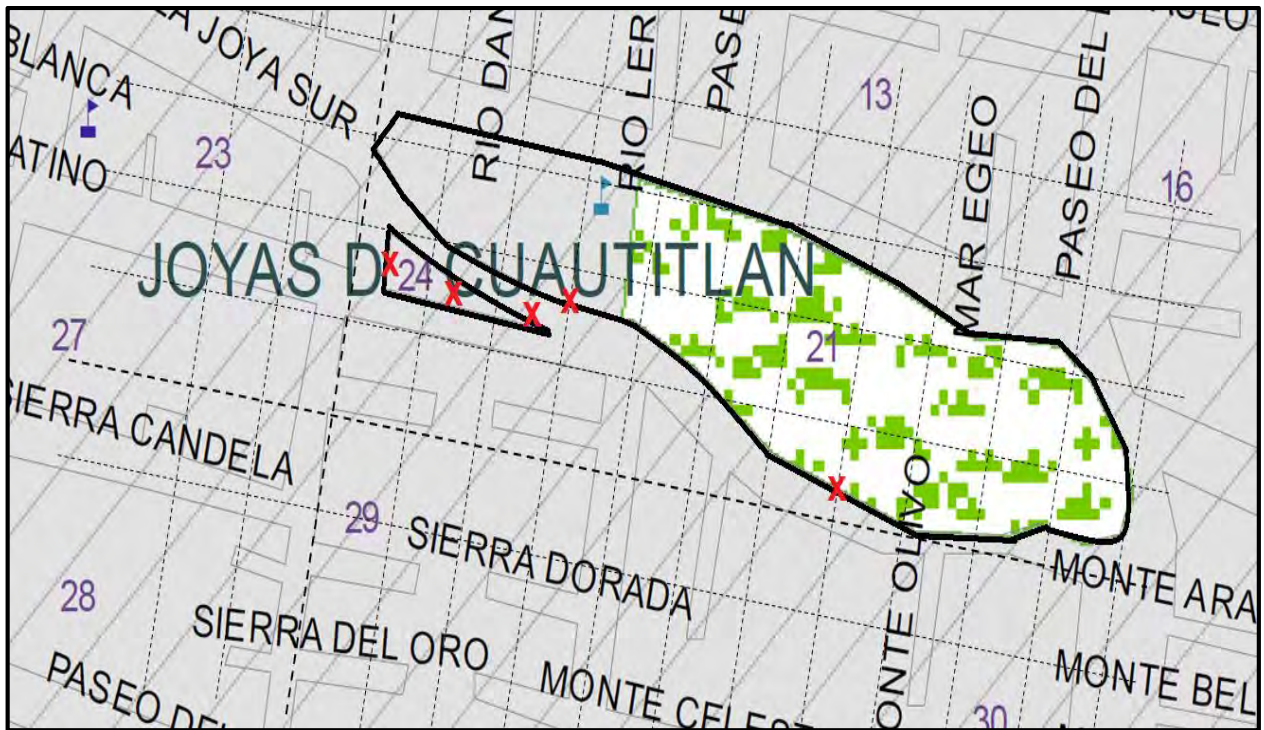
$$\% Reg = \frac{127 - 120.88}{127} \times 100 = 4.81\%$$

Para el lote 9 y 10



En esta imagen se muestra la ubicación de los transformadores según los cálculos del centro de carga (circulo en color obscuro).

## LOTE 21 Y 24



Lote 21

- Alumbrado

$$30 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 4.5 \text{ Kw}$$

-Escuela 25 Kw

$$4.5 \text{ Kw} + 25 \text{ Kw} = 29.5 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{29.5}{0.9} = 32.77 \text{ KVA}$$

Lote 24

- Servicios

$$17 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 19.58 \text{ Kw}$$

- Alumbrado

$$5 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 0.75 \text{ Kw}$$

-Comercio

*Bodega aurrera 20 Kw este comercio contara con su subestación de 45 KVA*

$$19.58 \text{ Kw} + 0.75 \text{ Kw} = 20.33 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{20.33}{0.85} = 23.91 \text{ KVA}$$

- CALCULO DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

1° transformador 75 KVA

$$17 \text{ casas} \times 1.152 \text{ Kw} = 19.584 \text{ Kw}$$

$$\text{Del Lote 28 se pasaron 3 casas} \times 1.152 = 3.546$$

$$35 \text{ lamparas} \times 150 \text{ w} = 5.25 \text{ Kw}$$

$$\text{Escuela} = 25 \text{ Kw}$$

$$19.584 \text{ Kw} + 3.546 \text{ Kw} + 5.25 \text{ Kw} + 25 \text{ Kw} = 53.38 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{53.38}{0.85} = 62.8 \text{ KVA}$$

$$Fu = \frac{62.8 \text{ KVA}}{75 \text{ KVA}} \times 100 = 83.73\%$$

2° transformador 45 KVA

$$\text{Bodega aurrera} = 20 \text{ Kw}$$

$$20 \text{ Kw}$$

$$\text{KVA'S} \rightarrow \frac{20}{0.85} = 23.52 \text{ KVA}$$

$$Fu = \frac{23.52 \text{ KVA}}{45 \text{ KVA}} \times 100 = 52.28\%$$

- CALCULO DEL CENTRO DE CARGA

		Cargas		
		1	2	3
Distancia en metros	x	12.5	175	75
	y	35.71	7.14	33.92

1° transformador 45 KVA

$$I_{escuela} = 72.89A$$

$$35 \text{ lamparas} \times 0.76A = 26.6A$$

$$20 \text{ casas} \times 3.55A = 71A$$

$$L_x = \frac{(71 A)(12.5m) + (26.6 A)(175m) + (72.89 A)(75m)}{71 A + 26.6 A + 72.89 A}$$

$$L_x = 64.57m$$

$$L_y = \frac{(71 A)(35.71m) + (26.6 A)(7.14m) + (72.89 A)(33.92m)}{71 A + 26.6 A + 72.89 A}$$

$$L_y = 30.48m$$

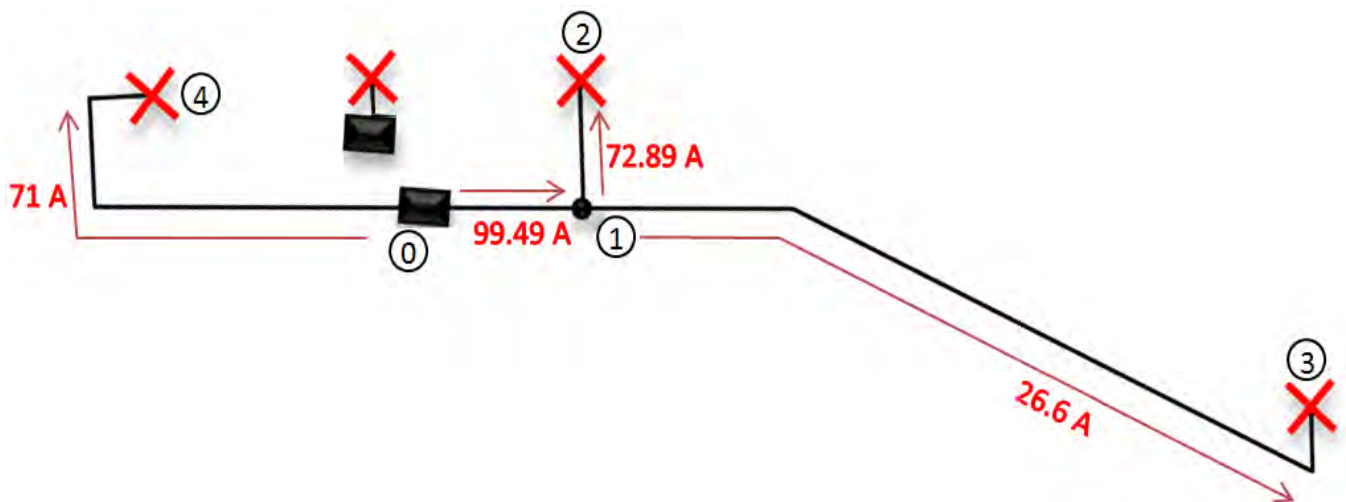
2° transformador 45 KVA

$$I_{comercio} = 61.74A$$

Para este transformador no se realizó cálculo del centro de carga debido a que quedara en un costado del comercio

### - ANÁLISIS DE CAÍDA DE TENSIÓN

Análisis de caída de tensión para el 1° transformador



$$e_{0-1} = 99.49 A \times 0.433 \times 0.020 = 0.86$$

$$e_{1-2} = 72.89 A \times 1.096 \times 0.0142 = 1.13$$

$$e_{1-3} = 26.6 A \times 0.5796 \times 0.105 = 1.61$$

$$e_{0-4} = 71 A \times 0.546 \times 0.0669 = 2.59$$

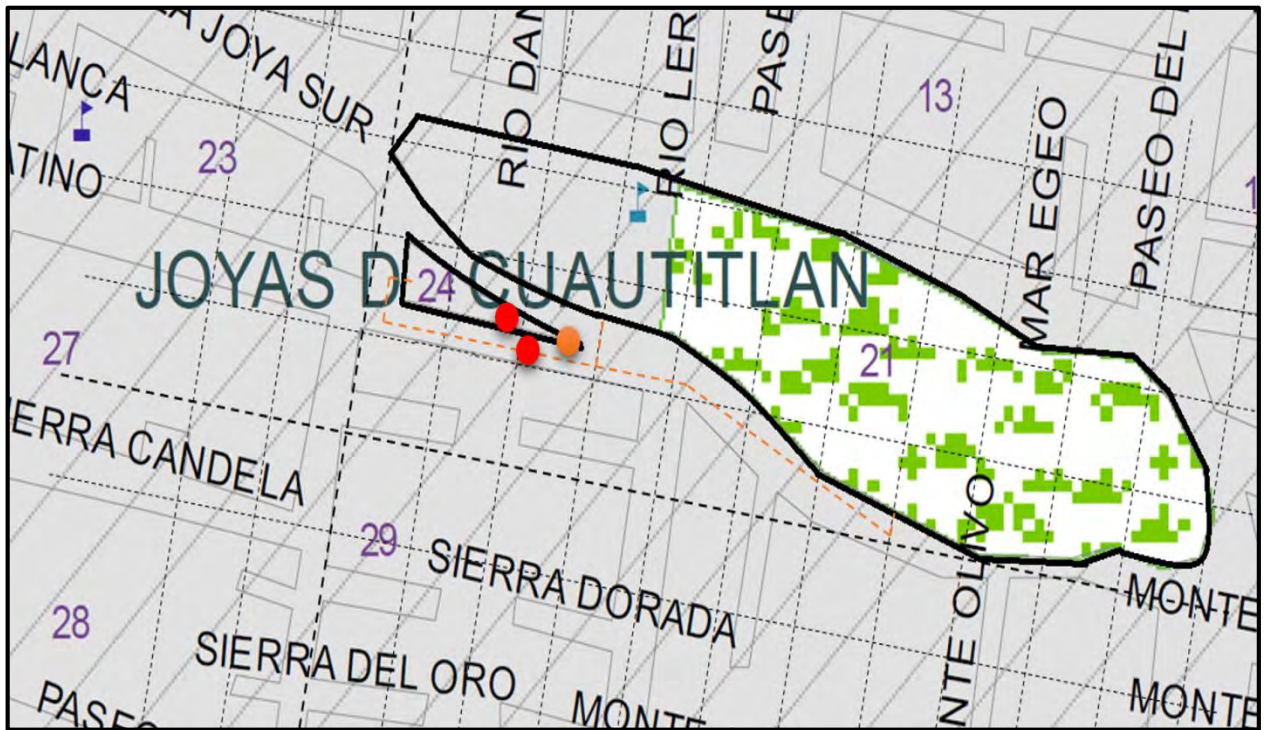
$$0.82 + 1.13 + 1.61 + 2.59 = 6.19$$

$$\% Reg = \frac{127 - 120.81}{127} \times 100 = 4.87\%$$

Análisis de caída de tensión para el 2° transformador

Para el segundo transformador no se requirió el análisis de caída de tensión puesto que se encuentra muy cercano al comercio que alimenta.

**Para el lote 21 y 24**



En esta imagen se muestra la ubicación de los transformadores según los cálculos del centro de carga (circulo en color claro) y la ubicación más conveniente para el suministro de energía (circulo en color oscuro).



## CONCLUSIONES:

Del estudio realizado en este proyecto de tesis se comprobaron las ventajas con las que cuenta una red eléctrica subterránea con respecto a una instalación eléctrica aérea, con lo cual se determinó que una red de distribución subterránea es más rentable teniendo como única desventaja que su costo monetario es mayor, esto puede compensarse ya que no necesita mantenimiento a un corto plazo, ofrece una mayor seguridad en cuanto a continuidad de servicio y cuenta con un porcentaje muy bajo de fallas en el sistema debido a que no se encuentra expuesto.

Su elaboración nos sirvió para ejemplificar de manera detallada, los pasos a seguir para calcular la capacidad de los transformadores, las características que deben poseer cada uno de los conductores y la tensión más adecuada para alimentar los distintos tipos de cargas.

## Bibliografía

- Líneas de transmisión y redes de distribución de energía eléctrica Vol. 1 y Vol 2.  
Gilberto Henríquez Harper  
Editorial: LIMUSA
- Redes Eléctricas  
Skilling, Hugh Hildreth  
Editorial: LIMUSA 1977
- Redes Eléctricas  
Silva Bijit, Leopoldo  
Editorial: Pearson 2006
- Redes Eléctricas  
Viqueira, Jacinto  
Editorial: Representaciones y Servicios de Ingeniería 1986
- Sistemas de transmisión y distribución de potencia eléctrica  
Henriquez Harper, Gilberto  
Editorial: LIMUSA 2005
- Calculo De Líneas y Redes Eléctricas  
Ramón M. Mujal Rosas  
Editorial: Universitat Politècnica de Catalunya 2002
- Electric Power Distribution Reliability (Second Edition)  
Richard E. Brown  
Editorial: CRC Press Taylor & Francis Group
- Líneas Eléctricas  
García Trasancos, jose  
Editorial: Paraninfo 1999
- Redes aéreas de distribución  
Jesús Trashorras Montecelos  
Editorial: Creaciones Copyright 2009

- Sobretensiones eléctricas en baja tensión  
Jesús Trashorras Montecelos  
Editorial: Creaciones Copyright 2009
- Líneas eléctricas y transporte de energía eléctrica  
Fayos Alvares, Antonio  
Editorial: Ilustraciones.
- Sistemas eléctricos de potencia  
William Stevenson, Jr  
Editorial: McGraw-Hill, 1979
- Desarrollo de instalaciones eléctricas de distribución.  
Jesús Trashorras Montecelos  
Editorial: Paraninfo 2005.