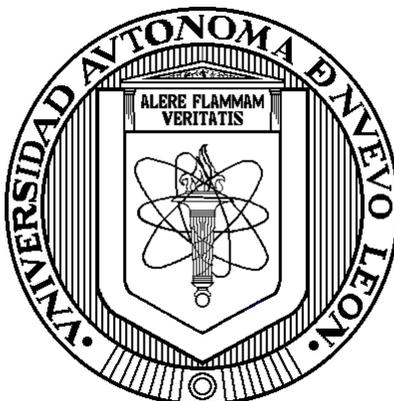


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**ESQUEMAS DE PROTECCIÓN EN REDES
DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA**

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON
ESPECIALIDAD EN POTENCIA

PRESENTA

ING. JESÚS GILDARDO TREVIÑO CHÁVEZ

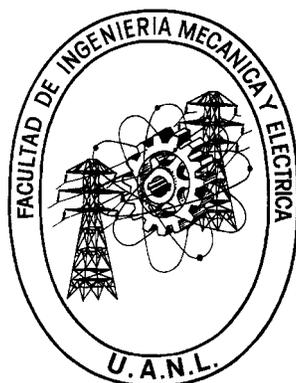
SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L.

NOVIEMBRE, 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**ESQUEMAS DE PROTECCIÓN EN REDES
DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA**

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON
ESPECIALIDAD EN POTENCIA

PRESENTA

ING. JESÚS GILDARDO TREVIÑO CHÁVEZ

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L.

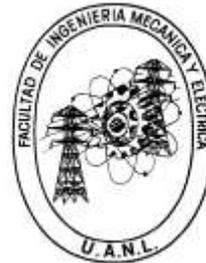
NOVIEMBRE, 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**ESQUEMAS DE PROTECCIÓN EN REDES
DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA**



TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON
ESPECIALIDAD EN POTENCIA

ING. JESÚS GILDARDO TREVIÑO CHÁVEZ

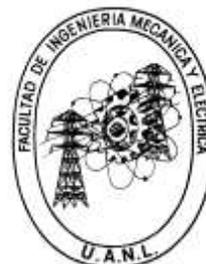
SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L.
NOVIEMBRE, 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**ESQUEMAS DE PROTECCIÓN EN REDES
DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA**



TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA CON
ESPECIALIDAD EN POTENCIA

ING. JESÚS GILDARDO TREVIÑO CHÁVEZ

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, N. L.
NOVIEMBRE, 2007

DEDICATORIA

A mi esposa Patricia:

“Por creer en mi y estar siempre a mi lado”

A mis hijas Verónica Patricia y Valeria Ivette:

*“Por su comprensión y entendimiento durante
las horas dedicadas a este trabajo”*

A mis Padres Manuel y Maria Luisa:

“Por su esfuerzo y sacrificio para forjar mi educación”

AGRADECIMIENTOS

Al personal directivo de la CFE División Golfo Norte, por el apoyo brindado en estos últimos años para el logro de esta meta, el cuál ha incentivando mi desarrollo profesional y superación personal.

Al Dr. Salvador Acha Daza por su empeño, dedicación, asesoría, consejos y motivación durante la etapa de estudio.

Al Dr. Ernesto Vázquez Martínez, compañero de estudios y asesor de esta tesis, al Dr. Fernando Betancourt Ramírez y Dr. Arturo Conde Enríquez coasesores de esta tesis, por sus valiosas aportaciones, tiempo, consejos y comentarios para la realización de esta disertación.

A mis compañeros y amigos Ingenieros, quienes compartieron conmigo sus conocimientos, ideas, puntos de vista y diferencias, las cuáles han contribuido de manera importante en este trabajo.

ESQUEMAS DE PROTECCIÓN EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA

Jesús Gildardo Treviño Chávez, Ing.

Profesor Asesor: Ernesto Vázquez Martínez, Ph. D.

RESUMEN

Con el crecimiento de las redes de distribución eléctrica en las grandes ciudades, se ha incrementado considerablemente la construcción de nuevas líneas de distribución subterráneas con la utilización de cable aislado en áreas residenciales, comerciales e industriales, con una mayor confiabilidad así como una construcción más estética al estar las instalaciones en forma subterránea.

Por esta razón, es importante conocer y analizar los esquemas de protección de estas redes de distribución subterráneas, así como diseñar metodologías para la adecuada selección de los equipos y accesorios que nos ayuden a proteger adecuadamente estas redes, ya que debido a la naturaleza de su construcción, pueden representar un costo mayor en la misma, y el cuál se recupera al disminuir casi en su totalidad el índice de fallas.

Este trabajo tiene como finalidad presentar un panorama completo de los esquemas de protección para redes de distribución subterránea, incluyendo las diferentes topologías que se tienen y los diferentes equipos de protección. Se realiza la investigación sobre los antecedentes de protección de redes subterráneas, así como los efectos provocados por la aplicación inadecuada de equipos de protección.

Como parte fundamental en la protección de las Redes de Distribución Subterráneas, se analizan las diferentes topologías y configuraciones, con sus características generales y los diferentes tipos de sistemas y otros aspectos que son importantes para determinar su protección de acuerdo a cada tipo de red.

Una vez que se han conocido las topologías y configuraciones, existen otros aspectos de suma importancia como lo es conocer los diferentes equipos y accesorios que se pueden utilizar para la protección de redes, se exponen sus características generales y su aplicación específica. Cabe considerar, que la investigación se limita a los tipos de esquemas presentados en este trabajo, pudiendo existir diferentes alternativas en otras áreas.

Para el estudio de las Redes de Distribución Subterránea, se presentan diferentes esquemas para la protección de las Redes de Distribución Subterráneas considerando los diferentes componentes de estas, y se realiza el análisis de cada tipo de red, sus ventajas y desventajas y los comentarios en la utilización de cada uno de ellos y los más comúnmente utilizados, pero esta no debe ser limitante para la utilización de equipos con nuevas tecnologías que se presenten en el mercado.

Se plantea una metodología para la selección del equipo y las reglas para la selección de estos, contribuyendo al conocimiento de los esquemas de protección de redes de Distribución Subterránea, para ayudar a mejorar el diseño de nuevas instalaciones como lo son fraccionamientos residenciales, comerciales e industriales; contribuyendo en la mejor operación y mantenimiento de las mismas.

El trabajo de investigación tiene como contribución principal el conocer los diferentes los Esquemas de Protección para las Redes de Distribución Subterránea y ayudar al Ingeniero de Planeación y al personal técnico en la selección adecuada de los equipos de protección, y en consecuencia mejorar la planeación, el diseño y la operación de las redes de distribución subterráneas de la Zona Metropolitana Monterrey de la CFE.

ÍNDICE

ESQUEMAS DE PROTECCIÓN EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA

1.-	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Antecedentes de la Red de Distribución Subterránea (RDS)	1
1.3	Efectos provocados por la aplicación inadecuada de equipos de protección	2
1.4	Objetivo de la Tesis	4
1.5	Estructura de la Tesis	5
2.-	Las Redes de Distribución Subterránea	8
2.1	Características de Redes de Distribución Subterráneas (RDS)	8
2.2	Características generales	9
2.3	Aplicación de las RDS	10
2.4	Configuraciones	11
2.5	Tipos de sistemas aplicables en instalaciones subterráneas	14
2.6	Conclusiones	19
3.-	Dispositivos de Protección en Redes de Distribución Subterránea (RDS)	20
3.1	Introducción	20
3.2	Protección de la Red	21
3.3	Equipos de Protección	24
3.4	Accesorios de Protección	35

3.5	Resumen	41
4.-	Esquemas y Selección de Equipo de Protección	44
4.1	Introducción	44
4.2	Dispositivos de protección contra fallas permanentes y transitorias	44
4.3	Características de la topología de las RDS	45
4.4	Reglas para la Selección de Equipo de Protección	49
4.5	Ejemplo de una red	55
4.6	Conclusiones del capítulo	59
5.-	Conclusiones y Recomendaciones	61
	Referencias	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Tipos de configuraciones, (a) radial, (b) anillo, (c) malla.	12
3.1	Relevador de protección microprocesado	27
3.2	Restaurador a) hidráulico monofásico, b) trifásico microprocesado	29
3.3	Seccionalizador monofásico electrónico	31
3.4	Seccionador en SF ₆ tipo poste	32
3.5	Seccionador en SF ₆ tipo pedestal	33
3.6	Seccionador en SF ₆ tipo sumergible	33
3.7	Diagrama de un seccionador de transferencia automática	34
3.8	Contenedor tipo codo Portafusible MT-200-OCC	37
3.9	Contenedor tipo "Canister" para fusible limitador de corriente	39
3.10	Fusible LC de rango completo	40
3.11	Fusible de vacío	41
4.1	Distribución de la potencia entre dos subestaciones de distribución.	48
4.2	Alimentadores con una estructura troncal y ramales que se derivan a lo largo del propio alimentador.	49
4.3	Sistema de protección de un sistema aéreo – subterráneo	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
2.1	Configuración de cargas alimentadas	15
3.1	Tipos de cable protegidos por lo limitadores de corriente	23
4.1	Capacidad de corto circuito de la bobina serie	56
4.2	Guía para aplicación y ajustes de protecciones	58

CAPITULO I

Introducción

1.1 Motivación

En los últimos años, se ha incrementado considerablemente la cultura de construcción de redes de distribución subterráneas, con la utilización de cable de potencia, tanto en áreas residenciales como en áreas comerciales e industriales, en las ciudades principales de nuestro país.

La construcción de alimentadores subterráneos es utilizada en áreas urbanas y suburbanas por razones de estética y confiabilidad. En áreas urbanas pueden existir diferentes razones para construir instalaciones subterráneas, como la falta de espacio para las instalaciones aéreas por la alta densidad de carga que se tiene. En las áreas residenciales suburbanas es deseable el uso de instalaciones subterráneas por estética y por confiabilidad. La mayoría de las fallas de líneas aéreas son originadas por problemas del clima (rayos, tormentas, huracanes) o por árboles en contacto con las líneas. Las instalaciones subterráneas reducen significativamente la incidencia de este tipo de fallas [1].

1.2 Antecedentes de protección de la Red de Distribución Subterránea (RDS)

Las instalaciones subterráneas usan cables que generalmente consisten de conductor, aislamiento, conductor neutro y una cubierta para protección del cable durante su instalación y evitar penetración de humedad en su

etapa de servicio. Los cables son fabricados en forma trifásica y monofásica en diferentes calibres y niveles de tensión.

Las primeras redes de distribución subterráneas, se derivaban de líneas de distribución aéreas, en las cuáles se utilizaban equipos de protección como cuchillas fusibles en las transiciones ó restauradores. Un ejemplo de ello, fue la construcción de las primeras redes subterráneas al sur de la Ciudad de Monterrey, se instalaron equipos aéreos (transformadores y cortacircuitos fusibles) en bóvedas especiales, que fueron diseñadas para alojar estos equipos previo a la adquisición de equipos tipo pedestal y sumergibles, y sus accesorios.

Los equipos como restauradores o seccionalizadores, en especial los de última generación, han tenido gran avance en su diseño y operación ya que cuentan con dispositivos de protección electrónica y protocolos en comunicaciones y control con tecnología de punta, dejando atrás aquellos equipos de gran volumen de aceite y controles electromecánicos ó hidráulicos.

1.3 Efectos provocados por la aplicación inadecuada de equipos de Protección

Cuando se presenta una falla en el sistema de distribución, la función del equipo eléctrico de protección es interrumpir el servicio para librar la falla. El equipo de protección es diseñado para proteger esta condición y aislar la parte fallada, aún cuando esto implica suspender el servicio a los usuarios, que en algunas compañías eléctricas del mundo son más comúnmente denominados como clientes.

Restauradores, seccionalizadores, seccionadores con fusibles ó protección electrónica, codos con fusibles y fusibles limitadores de corriente son utilizados para detectar condiciones anormales e interrumpir el flujo de potencia por la presencia de una falla o una condición no satisfactoria para el sistema de distribución; y por otro lado, los apartarrayos protegen a los equipos, cables y accesorios de las sobretensiones en la red de distribución.

Al no contar con alguno de estos dispositivos de protección, la red de distribución y el equipo asociado, corre el riesgo de daños parciales o permanentes que pueden ser leves o severos. El sobrecalentamiento, envejecimiento prematuro de aislamiento, falso contacto en conexiones entre conductores, cortocircuito en devanados, por mencionar algunos, se pueden presentar si no se tiene un equipo ó accesorio de protección opere ó dispare antes de que se pueda dañar el conductor primario, los accesorios de media tensión ó el equipo de transformación.

Las redes de distribución subterráneas tienen sus propias causas de falla y en general las reparaciones requieren de más tiempo que las instalaciones aéreas. Una vez encontrado el punto de falla, normalmente se requiere sacar el cable para su reparación siendo un proceso más caro, incrementándose el tiempo de restablecimiento del servicio, mismo que a su vez, requiere conocimientos y habilidades particulares del personal técnico.

La protección origina ciertas limitaciones en equipos y en topología, alimentadores de media tensión muy largos presentan problemas de una protección adecuada. Definir un buen esquema de protección es complejo, contiene elementos electrónicos, depende su funcionamiento de una calibración adecuada y de un arreglo especial para que realicen su propia función adecuadamente. El costo de los accesorios y equipo de protección, tiene un costo significativo como para decidir a favor de uno u otro plan [1].

1.4 Objetivo de la tesis

Aunque las redes de media tensión se empezaron a construir a principios de este siglo y a lo largo del tiempo han atendido a distintos criterios de construcción, el aspecto operativo poco ha sido considerado, obedeciendo fundamentalmente a la carga presentada en un área geográfica, lo que ha causado configuraciones desordenadas altas pérdidas, tiempos de interrupción prolongados , así como un mayor grado de dificultad en la coordinación de protecciones o en la protección misma de los circuitos y equipos.

La protección de los circuitos de media tensión se ha venido desarrollando bajo un esquema independiente de la configuración de la red, en donde las protecciones se adaptan a dicha configuración, la cual a medida que crece y se interconecta, origina que las protecciones mismas lleguen a limitar la operación correcta.

El objetivo de este trabajo, es presentar los diferentes “Esquemas de Protección para las Redes de Distribución Subterránea”, con la finalidad de contribuir a ayudar a los Ingenieros de Planeación en la proyección y diseño, así como en la operación de las redes subterráneas de la ciudad de Monterrey, presentando una metodología de la selección de los equipos de protección y consideraciones para su ubicación.

En los últimos años, las Compañías Eléctricas de México y del Mundo han invertido tiempo y recursos para capacitar a los Ingenieros de Planeación en el diseño y estudio de las redes de distribución, con la finalidad de desarrollar mejor los proyectos de redes, con una operación económica y bajas pérdidas de energía.

En los años 2005 y 2007, la Comisión Federal de Electricidad ha realizado Congresos de Redes de Distribución Subterránea con la finalidad de dar a conocer a los Desarrolladores y Contratistas de la Construcción, la actualización y nuevas especificaciones de materiales y equipos, nuevas tecnologías, así como las últimas innovaciones en accesorios y equipos para las redes subterráneas.

1.5 Estructura de la Tesis

En el capítulo II se presenta las características de las Redes de Distribución subterránea (RDS), las diferentes configuraciones que se utilizan en estos mismos. Se mencionan los tipos de sistemas aplicables así como los diferentes esquemas en instalaciones subterráneas, siendo estos la

distribución residencial para los diferentes niveles socioeconómicos, distribución comercial que en los nuevos fraccionamientos se desarrolla de manera conjunta y la distribución industrial.

Los aspectos importantes a considerar en la protección de las RDS son mencionados a detalle en el capítulo III, en donde se han incluido los diferentes equipos de protección como son relevadores, restauradores, seccionalizadores, seccionadores tipo poste, pedestal y sumergible, así como los diferentes accesorios utilizados en las RDS como codos fusibles, ó accesorios asociados a los equipos (transformadores) como son los fusibles limitadores de corriente ó los fusibles de rango parcial.

Después de que se ha dado a conocer los diferentes accesorios y equipos, se dictan las reglas para la selección de los equipos de protección de acuerdo a las diferentes topologías que se presentan en las RDS, siendo este el contenido principal del capítulo IV.

De igual forma, se presenta los criterios que considera el autor para las ubicaciones críticas de equipos así como los ajustes de protección dictar las reglas para la selección y ubicación adecuada de los equipos de protección para las redes de distribución subterráneas.

Como conclusión, el capítulo V presenta una recopilación de información sobre las características de las Redes de Distribución Subterránea, sus diferentes topologías, los sistemas aplicables de acuerdo a cada tipo de desarrollo, ya sea, residencial, comercial ó industrial. Los esquemas de

protección para las redes subterráneas, identificando los diferentes equipos de protección disponibles así como los accesorios, presentándose las características mas importantes de cada uno.

Finalmente se incluyen recomendaciones para la realización de trabajos futuros en los esquemas de protección de redes de distribución subterráneas.

CAPITULO II

Las Redes de Distribución Subterráneas

2.1 Características de Redes de Distribución Subterráneas (RDS)

En la distribución de la energía eléctrica, una parte importante la constituyen las Redes de Distribución Subterránea (RDS), ya que proporciona una alta confiabilidad en el servicio, en donde la mayor parte de estas instalaciones son casi invisibles para la sociedad, siendo este un impacto mínimo en la contaminación visual. Un aspecto muy importante es que el mantenimiento a los equipos y accesorios es mínimo, impactando considerablemente en la reducción de costos por este concepto a las Compañías Eléctricas.

Forma una de las partes más complejas del sistema de distribución de energía eléctrica en su instalación, conexión y de protección de los conductores y del equipo son los sistemas subterráneos. Es por esta razón que hay diseños especiales para los dispositivos usados en sistemas de distribución subterránea [1]. En los últimos años, se ha incrementado significativamente la construcción de redes subterráneas, contribuyendo a dar una mayor plusvalía a los desarrollos con este tipo de instalación, como los son áreas residenciales, comerciales, centros históricos, con un reducido impacto visual, reduciendo también las interrupciones temporales por causas de la flora y la fauna del lugar, y al efecto causado por la contaminación salina ó industrial.

En este capítulo se describen las características de las redes de distribución subterráneas con énfasis en los aspectos que deben ser considerados para su diseño.

2.2 Características generales

Existen tipos específicos de equipos que cumplen los requerimientos particulares de servicio, y todos tienen varios objetivos en común. Los objetivos de diseño son descritos en esta sección [2], y se describen los más relevantes:

Confiabilidad: Las redes subterráneas sirven típicamente a áreas de alta densidad de carga. Como resultado, una falla sin controlar en un área podría afectar el servicio a varios clientes. La necesidad de confiabilidad se vuelve obvia en esta situación.

Instalación: La instalación de redes subterráneas significa realizar actividades en espacios confinados, tales como bocas de acceso y bóvedas de transformadores. Los dispositivos creados para ser usados en redes de distribución deben ser simples de instalar con requerimientos mínimos de espacio.

Economía: El costo de la inversión inicial puede ser alto, sin embargo, este puede recuperarse debido al bajo índice de fallas y alta confiabilidad de los sistemas subterráneos. El tiempo de recuperación de la inversión puede variar de 3 a 10 años en promedio, siendo un factor determinante el costo mínimo de mantenimiento de una RDS comparado con una red aérea.

Versatilidad: Debido a que las redes de distribución cambian y se expanden continuamente, los dispositivos usados en las redes subterráneas

deben permitir una fácil adaptación de la red para necesidades actuales y futuras.

Seguridad: La seguridad en el diseño de RDS incluye el suministro de tolerancias de diseño, hacer la instalación fácil y libre de errores y permitir su operación bajo condiciones no ideales.

2.3 Aplicación de las RDS

Las redes de distribución subterráneas son aplicables en los siguientes escenarios:

- A) Desarrollos residenciales de nivel alto, medio e interés social.
- B) Áreas comerciales importantes que requieran alta confiabilidad.
- C) Área de ciudades o poblaciones consideradas como centros históricos o centros turísticos.
- D) Poblaciones ubicadas en áreas de alta contaminación salina, industriales y/ó expuestas a ciclones.
- E) Desarrollos urbanísticos de topografía irregular.
- F) Zonas arboladas o consideradas como reservas ecológicas.
- G) Lugares de concentración masiva como mercados, centrales de autobuses, aeropuertos, estadios, centros religiosos importantes.
- H) Avenidas y calles con alto tráfico vehicular.
- I) Plazas cívicas.

Los cables subterráneos, las conexiones y el equipo están sujetos a condiciones de humedad continuas o esporádicas. Por lo tanto, es necesario que todos los componentes del sistema subterráneo sean completamente herméticos, y a la vez que sean capaces de mantener sus propiedades mecánicas, eléctricas y dieléctricas por largo tiempo. Cuando no es un problema la humedad, tal como en una bóveda al nivel del suelo, las propiedades herméticas no son necesarias. Sin embargo, se debe tener en consideración la hermeticidad si hay una alta probabilidad de inundaciones o de condiciones de elevada humedad.

2.4 Configuraciones

Fundamentalmente se tienen 3 formas diferentes de topologías, que las diferentes compañías eléctricas utilizan, cada una de ellas presenta variaciones en su diseño. En la Fig. 2.1 se indican los sistemas radial, anillo y malla que difieren en como los alimentadores de distribución están conectados a la subestación.

Radial

El sistema radial es análogo a una rueda con rayos emanando desde el centro. La potencia principal se envía a un punto central, y desde allí se divide en circuitos con ramificaciones en serie para suministrar servicios a clientes individuales. También se puede decir que es la configuración en la que una sola línea partiendo de una sola fuente alimenta determinada carga, ver Fig. 2.1a.

Anillo Cerrado

El sistema tiene una trayectoria cerrada, es decir, que el flujo de la potencia retorna a la fuente de alimentación ó punto de inicio. Las líneas alimentadoras parten de una o varias fuentes de alimentación siguiendo una misma trayectoria. Opera en forma cerrada para alimentar una determinada carga, ver Fig. 2.1b.

Red ó malla

El sistema tipo red se parece a una rejilla en paralelo y, dada su facilidad de lectura se ha convertido en el estándar para los sistemas de distribución subterráneos donde existe una densidad elevada de carga, ver Fig. 2.1c.

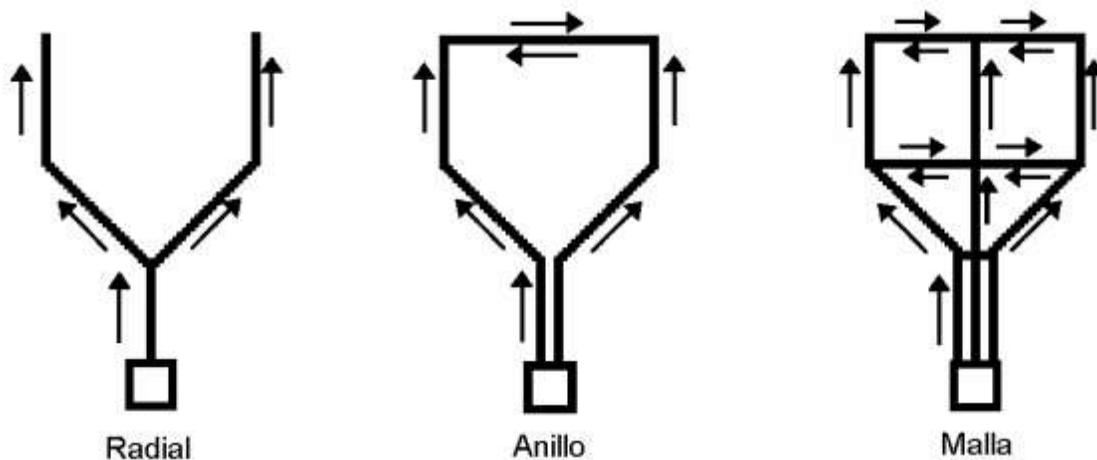


Fig. 2.1. Tipos de configuraciones, (a) radial, (b) anillo, (c) malla.

La mayoría de los sistemas de distribución son diseñados como sistemas radiales, este se caracteriza por tener una sola trayectoria directa entre los

usuarios y la subestación. La potencia fluye desde la subestación hacia el usuario por una trayectoria que se desea sea la más corta, a fin de reducir la caída de tensión y reducir las pérdidas de energía. Cuando se presentan interrupciones en el suministro de la potencia, el usuario sufre por falta de energía. Este tipo de diseño es el más ampliamente usado por los sistemas de distribución, en Estados Unidos llega hasta un 99%. La razón por la cual se tiene un porcentaje tan alto es debido a que es mucho más económico, más simple de planear, diseñar y operar. En general la red secundaria también se diseña y opera en forma radial.

En México, la configuración en anillo es la más común, pero no se tienen datos específicos de los porcentajes de utilización de la configuración radial con respecto a la configuración en anillo y configuración en malla. Es importante mencionar, que para los nuevos diseños de redes, se ha adoptado la configuración radial, ya que se ha demostrado estadísticamente que el índice de fallas en redes de distribución subterránea es relativamente bajo con respecto al costo de inversión de redes en anillo, claro esta, con ciertas limitaciones.

Los arreglos mostrados no son restrictivos ya que las diferentes fuentes también se pueden conectar de distintos puntos del sistema, lo que permite la posibilidad de tener múltiples arreglos. En todo caso se debe considerar en el diseño las condiciones de sobrecarga que tendrá el circuito durante las condiciones de emergencia que pudieran presentarse. Se debe consultar con el Centro de Control Operativo de la Compañía Eléctrica, según la magnitud de sobrecarga esperada en condiciones de emergencia.

2.5 Tipos de sistemas aplicables en instalaciones subterráneas

Sistemas de distribución de 200 A y 600 A

Es aquel en el cual la corriente continua en condiciones normales o de emergencia no rebasa los 200 A y 600 A. Se utiliza en anillos que se deriven de circuitos troncales de media tensión (tensiones de 13.2 a 34.5 kV), aéreos o subterráneos, la configuración siempre será en anillo operación radial con una ó mas fuentes de alimentación. En condiciones normales de operación, el anillo estará abierto aproximadamente al centro de la carga o en el punto dispuesto por el Centro de Control Operativo. Con el objeto de tener mayor flexibilidad, se tendrá un medio de seccionalización en todos los transformadores y derivaciones del anillo.

Para el diseño de RDS, se recomienda considerar como referencia los lineamientos que se indican en las Normas de Distribución – Construcción Redes Subterráneas de la CFE [3], y Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE 2005 - Instalaciones Eléctricas [4], siendo las siguientes las más importantes:

1. El diseño es en base a la tensión suministrada en el área y un sistema de neutro corrido multiterrizado.
2. Los circuitos aéreos que alimentan el proyecto subterráneo, debe ser 3F - 4H.
3. Los circuitos alimentadores subterráneos deben ser de acuerdo a la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Configuración de cargas alimentadas.

Cargas alimentadas	Configuración
Residencial	1F – 2H
Comercial	3F – 4H
Turística	3F- 4H

4. La caída de tensión máxima en los circuitos de media tensión no debe exceder del 1 % en condiciones normales de operación.
5. El cable del neutro debe ser de cobre desnudo semiduro o de acero recocido con bajo contenido de carbono, recubierto de cobre.
6. El calibre del neutro debe determinarse de acuerdo al cálculo de las corrientes de falla y como mínimo debe ser de sección transversal de 33.6 mm² (2 AWG). En caso de que la corriente de corto circuito en el bus de la subestación exceda los 12 kA simétricos, debe seleccionarse el calibre adecuado con base a dicha corriente.
7. El conductor de neutro corrido debe ser multiaterrizado para garantizar en los sitios en donde se instalen accesorios y equipos una resistencia a tierra inferior a 10 Ω en época de estiaje y menor a 5 Ω en época de lluvia.
8. El neutro corrido debe quedar alojado en el mismo ducto de una de las fases ó podrá quedar directamente enterrado.
9. El nivel de aislamiento de los cables debe ser del 100 %.
10. La sección transversal del cable DS debe determinarse de acuerdo al diseño del proyecto, el calibre mínimo del cable DS es 1/0 AWG y debe cumplir con la especificación NRF-024-CFE.

11. Deben emplearse conductores de aluminio y en casos especiales que se requiere, se podrán utilizar conductores de cobre.
12. Se debe de considerar en la elaboración del proyecto, si el cable es para uso en ambientes secos para uso en ambientes húmedos, según lo indica la especificación NRF-024-CFE y de acuerdo a las características del lugar de instalación.
13. Tratándose de salidas subterráneas de circuitos de media tensión, desde Subestaciones de Distribución hacia la transición subterráneo – aéreo, es recomendable la utilización de cable diseñado con 133 % de su nivel de aislamiento, a fin de soportar las fallas transitorias ocasionadas por la red aérea, evitando con esto, el deterioro prematuro del aislamiento del cable.

2.5.1 Distribución Residencial

Se deben de utilizar sistemas monofásicos y preferentemente cuando la carga residencial sea alta, se analizará la conveniencia de utilizar un sistema trifásico. Se pueden utilizar los siguientes tipos de configuración:

A) Anillo de operación radial

B) Radial con las siguientes restricciones y/o recomendaciones:

1. Se podrá conectar como máximo 2 transformadores monofásicos en un sistema radial.

2. Derivar como máximo dos veces este tipo de arreglo radial de un anillo de 200 A ó 600 A de un sistema totalmente subterráneo.
3. Se recomienda no fraccionar desarrollos completos en etapas con este tipo de arreglo, en sistemas totalmente subterráneos.
4. De un sistema aéreo existente se podrán derivar tantos sistemas radiales (ver punto 1) como lo permitan las condiciones operativas del circuito de distribución.
5. Instalar indicadores de falla tanto en la derivación como en el circuito alimentador.

Cuando los circuitos alimentadores aéreos existentes que se utilicen para alimentar las nuevas redes subterráneas sean 3F-3H se selecciona una de las siguientes alternativas, en base a la evaluación económica respectiva:

- A) Instalar el neutro corrido desde la subestación alimentadora hasta la nueva red subterránea. Este cuarto hilo se utiliza como neutro común para los circuitos subterráneos en media y baja tensión, debiendo de realizarse los cálculos necesarios para el calibre del conductor, de acuerdo a las características particulares de la red de distribución. La conexión intencional de un sistema a una tierra física provee un punto de referencia de voltaje cero.
- B) Diseñar la puesta a tierra del sistema flotante, en el cuál no existe una conexión intencional entre los conductores de fase y tierra. Sin embargo, en todos los sistemas existe una conexión capacitiva entre los conductores del sistema y las superficies adyacentes que se

encuentran a tierra. Consecuentemente, un sistema flotante es puesto a tierra por la capacitancia distribuida del sistema.

2.5.2 Distribución Comercial y Turística

En estos casos, es recomendable utilizar los sistemas 3F-4H y su configuración es en Anillo de Operación Radial.

Cuando los circuitos alimentadores aéreos existentes que se utilicen para alimentar las nuevas redes subterráneas sean 3F-3H se optará por una de las siguientes alternativas mencionadas en los sistemas de Distribución Residencial.

En algunos casos específicos, la Distribución Comercial y Turística requiere una Alta Confiabilidad, por lo que se recomienda que la configuración de la alimentación sea selectiva mediante dos alimentadores que partan de una misma ó diferentes Subestaciones de Distribución. En este caso cada alimentador se diseña de acuerdo a las cargas de operación y de emergencia, la conexión a la carga se realiza mediante un equipo seccionador con transferencia automática. Esta Alta Confiabilidad se aplica en hoteles de gran turismo, centros de convenciones, centros de negocios y algunos hospitales.

2.5.3 Distribución Industrial

En este se utilizan los sistemas 3F-4H y su configuración es en Anillo Operación Radial con sistemas de accesorios de 600 A. Cuando los circuitos alimentadores aéreos existentes que se utilicen para alimentar las

nuevas redes subterráneas sean 3F-3H se utilizará por una de las alternativas descritas anteriormente en la Distribución Residencial, como lo es la instalación de neutro corrido ó sistema de tierra flotante.

En los nuevos desarrollos industriales, de acuerdo al diseño de la red y de la demanda individual de cada uno de los servicios suministrados, se puede incluir como equipo de protección el uso de seccionadores tipo pedestal ó sumergible.

Como una alternativa para mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, y dada la naturaleza del tipo de servicio que se alimenta (procesos informáticos ó procesos industriales con equipos automatizados), existe una opción muy confiable para el respaldo de energía eléctrica, con la alimentación alternativa de dos circuitos diferentes de distribución, a través de un equipo de transferencia automática, el cual realiza la transferencia de la alimentación en forma automática, mismo que se describe más ampliamente en el capítulo III.

2.6 Conclusiones

Con los conceptos que se han mencionado, se presenta un panorama más completo de las características de las RDS, y sus aplicaciones en las diferentes áreas, así como sus ventajas de su utilización. Con la descripción de sus configuraciones, se puede crear un criterio para la aplicación más adecuada de los sistemas de distribución de 200 A y 600 A, de acuerdo a las necesidades y características de cada proyecto ó desarrollo en particular.

CAPITULO III

Dispositivos de Protección en Redes de Distribución Subterránea (RDS)

3.1 Introducción

La Distribución Subterránea de Energía Eléctrica se ha desarrollado cada vez con mayor intensidad, tanto en la evolución de los materiales utilizados, como en las técnicas y sistemas empleados en la construcción.

Como cualquier sistema eléctrico, las Redes Subterráneas están expuestas a la ocurrencia de fallas, cuyas consecuencias pueden crear interrupciones y daños en las instalaciones cuando la protección no esta debidamente calculada y diseñada.

Otro de los puntos que se mencionan, es que se incluyen algunos aspectos importantes de la coordinación de protecciones, en una forma breve dando un panorama general y describiendo los puntos que se consideran más importantes.

La protección contra sobrecorriente de un sistema de Distribución Subterráneo debe servir para los siguientes propósitos:

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

El procedimiento para lograr la coordinación de protecciones en Sistemas de Distribución Subterránea es básicamente el mismo que el empleado en una red aérea, variando sólo los parámetros eléctricos del circuito y en parte la filosofía de operación.

Los puntos principales a considerar para una adecuada protección de la red subterránea, se pueden reducir a los siguientes aspectos:

- a) En una red subterránea las fallas deben de considerarse siempre como fallas permanentes, por lo que no deben utilizarse recierre.
- b) Es importante considerar en los tiempos de operación de las protecciones, la capacidad térmica de los conductores para evitar envejecimiento prematuro. Se deben tomar las curvas de sobrecarga de corta duración de los conductores, en función del aislamiento.
- c) Para evitar pruebas repetitivas que envejezcan el aislamiento se deben utilizar indicadores de falla a lo largo del circuito.

3.2 Protección de la Red

Debido al limitado acceso de los cables subterráneos, las fallas en sistemas subterráneos son una amenaza a la seguridad del sistema y a la confiabilidad a largo plazo si no se protege apropiadamente. Por lo tanto, el propósito principal de los dispositivos de protección de la red es la de proteger al elemento más débil en el sistema, el aislamiento del cable.

Los dispositivos de protección de la red, conocidos comúnmente como

limitadores, interrumpen las corrientes de falla pero permiten que ocurran situaciones temporales de sobrecarga. Los dos tipos de fallas que son despejados por los limitadores son las fallas sostenidas (fallas por el contacto sólido de los conductores lo que ocasionan el flujo de altas corrientes) y fallas por arcos (contacto intermitente lo que ocasiona un "quemado lento" del aislamiento del conductor). En estos tipos de fallas se esperan condiciones temporales de sobrecarga en redes y las características tiempo-corriente del limitador se diseñan adecuadamente para evitar que operen inadecuadamente.

El criterio más importante en la coordinación de protección es la selectividad de los equipos, que se obtiene a través de una correcta coordinación entre cada pareja o grupo de equipos de dispositivos de protección. Esto significa que la ubicación de los equipos de protección es crítica, de la cual se describe más ampliamente en el capítulo 4.3.1.

Se recomienda seguir la metodología de diseño de protección del sistema aéreo para coordinar los limitadores con otros dispositivos de protección de circuitos, incluyendo a los relés (relevadores), fusibles e interruptores. Como se menciona en el párrafo anterior, las ubicaciones apropiadas deben ser seleccionadas para la protección de la red, para localizar las fallas y para prevenir apagones innecesarios.

Las principales causas de fallas en RDS son:

1. Degradación en el aislamiento debido a humedad o calentamiento.
2. Daños físicos del aislamiento.

3. Esfuerzos eléctricos de sobretensión a que se somete el aislamiento, provocado por sobretensiones transitorias.
4. El carecer de neutro corrido, provoca durante las fallas, sobrecorrientes en la pantalla metálica que degradan prematuramente el aislamiento del conductor.
5. Daños a los cables por trabajos de construcción con maquinaria pesada.

Cada una de las causas de falla expuestas, en términos generales representa interrupciones o daños en estos sistemas y por lo tanto deben de ser vigilados para evitar incurrir en ellas.

Los limitadores protegen a diversos tipos de aislamientos de cobre. La Tabla 3.1 brinda un listado de los tipos de cable protegidos por los limitadores.

Tabla 3.1. Tipos de cable protegidos por los limitadores de corriente.

Aislamiento	Envoltura
Compuesto de caucho basado en minerales ó polímero	Envoltura de plomo
Compuesto de caucho basado en minerales ó polímero	Trenza cubierta sin plomo
Compuesto de caucho basado en minerales ó polímero	Neopreno sin plomo
Aislamiento de papel	Envoltura de plomo
Cambray barnizado	Envoltura de plomo

3.3 Equipos de Protección

En esta parte, se presentan los diferentes equipos de protección, así como sus características generales, los principios básicos de operación e información complementarias de cada uno de ellos.

3.3.1 Relevadores

Los relevadores de protección son dispositivos que identifican condiciones anormales de la operación del sistema. Estos son ajustados para operar bajo condiciones de falla, abriendo o cerrando contactos propios o de sus auxiliares, para desconectar automáticamente los interruptores asociados al equipo fallado. Los relevadores proporcionan una indicación de su operación mediante banderas ó señales luminosas.

En nuestro país la mayoría de los tableros de protección, control y medición construidos hasta 1980, se encuentran operando relevadores de sobrecorriente del tipo electromecánico (monofásicos). Con el avance de la tecnología se ha incrementado la producción de relevadores de estado sólido o microprocesado, lográndose una reducción considerable en el espacio empleado en los tableros, incrementando también sus funciones.

Por sus características de construcción los relevadores de sobrecorriente se pueden clasificar como:

- Relevadores electromecánicos.
- Relevadores estáticos.
- Relevadores digitales ó microprocesados.

Por sus características de tiempo de operación pueden ser:

- Tiempo definido.
- Tiempo inverso.
- Tiempo muy inverso.
- Tiempo extremadamente inverso.

Por sus características de rango de corriente y forma de conexión, pueden ser:

- Relevadores de corriente de fase.
- Relevadores de corriente de neutro.
- Relevadores trifásicos.

La similitud en las características de tiempo – corriente de los relevadores electromecánicos y microprocesador, hace posible coordinar los tiempos de operación entre los relevadores electromecánicos y microprocesados ó viceversa. Los relevadores auxiliares se utilizan para disparar o bloquear el cierre de algún(os) interruptor(es) y otras funciones de control y alarma.

Relevador de Sobrecorriente Instantáneo (50)

Es un relevador con “respuesta instantánea” para un valor pre-determinado de corriente. Su tiempo de respuesta ú operación es menor a 3 ciclos (0.05 segundos).

Relevador de sobre corriente de tiempo (51)

Es un relevador con “respuesta retardada” la cual se ajusta a una curva característica de tiempo-corriente definida ó inversa que funciona cuando la corriente en el circuito excede de un valor determinado.

Se conoce como tiempo inverso a la característica de tiempo-corriente en que a mayor corriente, menor es el tiempo de “respuesta” del relevador; y consecuentemente a menor corriente, mayor será el tiempo de operación del relevador. Es decir, existe una relación de inversidad entre el comportamiento de ambos parámetros.

Relevador de sobrecorriente electromecánico

Por su principio de funcionamiento se clasifican en:

- Atracción electromagnética.
- Inducción electromagnética.

El **relevador de atracción electromagnética** se utiliza básicamente en la construcción de relevadores de sobrecorriente instantáneos. Generalmente es un electroimán cuya bobina es alimentada por un transformador de corriente. El émbolo construido de material ferromagnético, es atraído por el flujo en el entrehierro ó mantenido en reposo (restricción) por la acción de un resorte ó gravedad.

El **relevador de sobrecorriente de inducción electromagnética** es un motor de inducción de fase auxiliar con contactos. La fuerza actuante se desarrolla en un elemento móvil, que es un disco de material no magnético conductor de corriente, por la interacción de los flujos electromagnéticos

con la corriente parásita (de eddy) que se inducen en el rotor por estos flujos.

Relevador de sobrecorriente estático

Están basados en la alta confiabilidad del transistor planar de silicio, dando como inicio al desarrollo de los circuitos integrados, compuertas digitales y circuitos lógicos; le siguieron circuitos digitales y memorias y microprocesadores. Con estos componentes se mejoraron las características de velocidad, sensibilidad, inmunidad a vibraciones, reducción de sus dimensiones y libre de mantenimiento.

Relevador de sobrecorriente digital

Con la aplicación de microprocesadores se han desarrollado relevadores que además de cumplir con las funciones de protección, efectúan otras adicionales como son; medición, registro de eventos, localización de fallas y oscilografía. Estos relevadores son trifásicos y en un solo módulo están contenidas las unidades de fase y neutro reduciendo considerablemente sus dimensiones en los tableros de control, medición y protección, tal como se muestra en la Fig. 3.1 [5].



Fig. 3.1 Relevador de protección microprocesado

3.3.2 Restaurador

El restaurador es un equipo electromecánico, hidráulico ó electrónico, habilitado para sensibilizar e interrumpir en determinado tiempo, sobrecorrientes de cortocircuito debidas a la eventualidad de una falla, así como efectuar recierres automáticos re-energizando el circuito. Después de una secuencia de operación de disparo-recierre y en caso de persistir la falla, nuevamente abrirá, recerrando por segunda ocasión. Esta secuencia de operación podrá llevarse a cabo, dependiendo del ajuste, hasta tres veces antes de la apertura y bloqueo final.

La secuencia de operación realiza dos importantes funciones:

- Prueba la línea para determinar si la condición de falla ha desaparecido.
- Discrimina las fallas temporales de las permanentes.

Los restauradores automáticos de distribución pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Por el número de fases: Trifásicos y Monofásicos.
- Por el medio de interrupción: Aceite, vacío y SF₆.
- Por el medio aislante: Aceite y SF₆.
- Por el tipo de control: Mecánico, hidráulico, electrónico y microprocesado.

Existen varios tipos de restauradores que combinan los diferentes medios de aislamiento, medios de interrupción de corriente y funciones de control, como se muestra en la Fig. 3.2.

En el diseño constructivo de un restaurador automático monofásico, ver Fig. 3.2 a) ó trifásico, sus contactos de interrupción están contenidos en un tanque con aceite como medio de aislamiento y se asemeja a un pequeño interruptor en aceite. Los modelos de más reciente desarrollo son los restauradores microprocesados, ver Fig. 3.2 b). Utilizan interruptores al vacío recubiertos por una cubierta de policarbonato dentro de un recipiente metálico, como el aluminio recubierto con pulverizador, que proporciona un sistema de aislamiento hermético y sólido; puede ser conectado directamente a la línea sobre postes, crucetas, plataformas ó instalado en una estructura en la subestación [6].

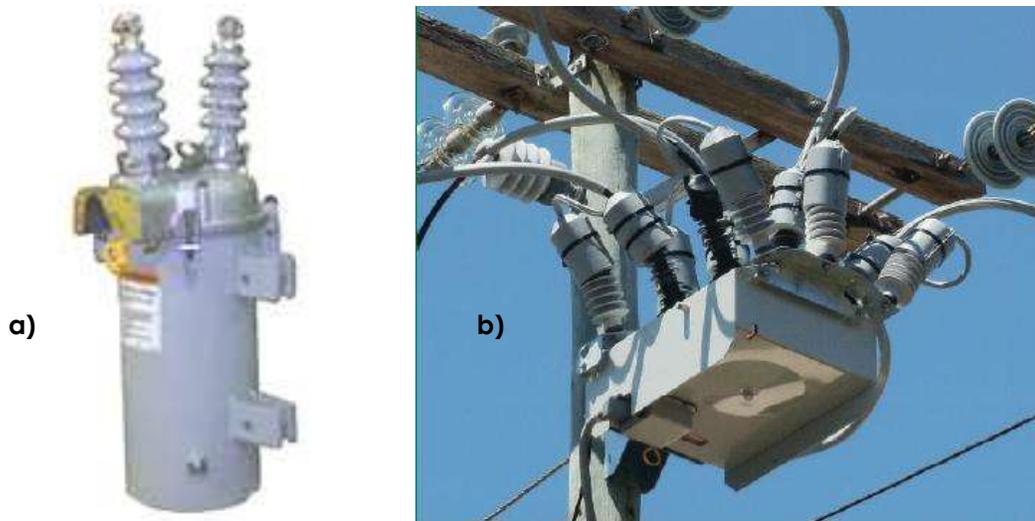


Fig. 3.2 Restaurador a) hidráulico monofásico, b) trifásico microprocesado

3.3.3 Seccionalizador

Este equipo no se considera como un dispositivo de protección en estricto rigor, pero dadas sus muy especiales características operativas lo hacen una excelente alternativa para resolver varios problemas que con referencia a la selectividad de un sistema de protecciones,

frecuentemente llegan a presentarse durante el desarrollo de un estudio de coordinación de protecciones. Al carecer de una característica de operación tiempo-corriente, como el resto de los dispositivos de protección, el seccionalizador simplifica un estudio de coordinación de protecciones, ofreciendo amplias posibilidades de aplicación con reducidas limitaciones.

Los seccionalizador automático, es un dispositivo de características similares a las del restaurador, es decir, a través de un control hidráulico y bobinas de serie ó electrónico sensibles a las corrientes de falla, secciona bajo las condiciones pre-establecidas en tramo de línea fallado. Generalmente son utilizados en serie con restauradores ó interruptores del circuito con recierre, para proveer puntos de seccionalización automática.

Los seccionalizadores pueden ser:

- Por la forma de control: Tipo bobina serie (hidráulicos ó secos) y electrónicos [7] (ver Fig. 3.3).
- Por las fases: Monofásicos y Trifásicos.

El principio de operación de un seccionalizador se puede decir que “opera” cuando se han completado un número de “conteos” pre-establecidos. Para que un “conteo” sea realizado, es necesario cumplir con dos condiciones:

1. Circulación previa de una sobrecorriente igual ó mayor a la corriente mínima de operación o conteo.
2. Que dicha corriente haya sido interrumpida.



<i>Nro</i>	<i>Descripción</i>
1	Base de montaje tipo cortacircuito
2	Tubo Seccionizador Electrónico
3	Tarjeta de control
4	Transformadores de corriente
5	Tapa de encapsulamiento de componentes electrónicos
6	Sistema electromecánico

Fig. 3.3 Seccionizador monofásico electrónico

En la selección e instalación de los seccionadores automáticos de línea, deben considerarse los siguientes factores:

- Tensión del sistema
- Corriente de carga
- Corriente mínima de operación
- Número de conteos
- Facilidad de acceso y de maniobras

3.3.4 Seccionador tipo Poste

Su utilización es principalmente en las transiciones de los sistemas aéreo – subterráneo. Esos equipos cuentan con una protección de sobrecorriente y su apertura es trifásica, y se recomienda su utilización en cargas superiores a los 500 kVA en sistemas de 13.2 kV y 850 kVA en 23 kV, con una

corriente nominal de 630 A y 32 kA pico. Estos equipos son muy compactos, ya que utilizan como medio de aislamiento vacío ó gas hexafluoruro de azufre (SF_6) y pueden ser operados a control remoto, sistema SCADA ó transferencia automática. En la Fig. 3.4 se muestra un equipo seccionador montado en un poste [8].



Interruptores Aéreos

Rotatorios tipo (Puffer)

Ruptura de carga hasta 27kV,
630A, 32kA pico. 500 operaciones
de ruptura de carga y 2000 opera-
ciones mecánicas.

Fig. 3.4 Seccionador en SF_6 tipo poste

3.3.5 Seccionadores tipo Pedestal y tipo Sumergible [9].

Los Interruptores con medio de aislamiento el gas hexafluoruro de azufre (SF_6) tipo pedestal, ver Fig. 3.5 y tipo bóveda, ver Fig. 3.6 como sus nombres lo indican, se pueden utilizar en exteriores e interiores. En general pueden ser de acero inoxidable grado 304, metalizados, incluyen: construcción sumergible, de frente muerto, gabinetes desmontables, resistentes a la manipulación inexperta, para aplicaciones exteriores, diseños con acceso frontal, control remoto, SCADA y de transferencia automática, fácil conversión de control manual a automático en el campo, flexibilidad de boquillas, incluyendo las de tipo perno ó boquilla reemplazables en el campo. Existen algunos diseños de estos equipos con botellas de vacío para la extinción del arco eléctrico y del tipo arco rotatorio encapsulado

con gas SF₆. Se dispone de protección mediante fusible limitador de corriente.



Fig. 3.5 Seccionador en SF₆ tipo pedestal

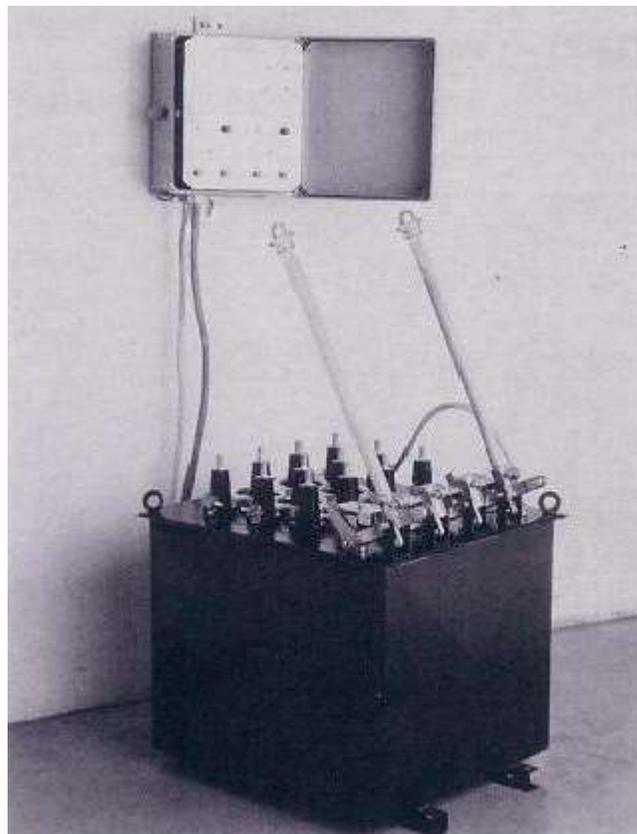


Fig. 3.6 Seccionador en SF₆ tipo sumergible

3.4 Accesorios de Protección de Sobrecorrientes

Una parte fundamental de las RDS son los accesorios de protección de sobrecorrientes. Estos componentes tienen entre sus principales aplicaciones, tienen la protección de transformadores, instalaciones subterráneas, protección de sistemas de cogeneración, derivación por reactor sin costosas pérdidas operativas, protección de sistemas de barras de enlace, y mejoras en sistemas. Se destaca entre sus ventajas su menor tamaño, su manejo más versátil, su operación es a través de equipo asociado y también tiene un menor costo comparado con los equipos mencionados en el punto anterior.

3.4.1 Fusibles limitadores de corriente de rango parcial y fusibles de expulsión

El **fusible limitador de corriente**, tiene la característica de soportar alta corriente continua, para sistemas de 2.8 hasta 38kV con corriente continua de hasta 5000A y 120kA simétricos de interrupción.

Estos fusibles son básicamente de no expulsión, limitan la energía disponible cuando ocurre un cortocircuito, esto permite que se reduzcan considerablemente los daños en el equipo protegido. Hay tres tipos básicos disponibles:

1. De respaldo o rango parcial, el cual debe ser usado en conjunto con uno de expulsión ó algún otro dispositivo de protección y solamente es capaz de interrumpir corrientes superiores a un nivel especificado típicamente 500 amperes.

2. De propósito general, el cual está diseñado para interrumpir todas las corrientes de falla. Para una corriente de bajo valor, el tiempo de operación es mayor y para corrientes de falla opera en un tiempo muy rápido del orden de un cuarto de ciclo.
3. De rango completo, el cual interrumpe cualquier corriente que en forma continua se presente arriba de la corriente nominal.

El **fusible de expulsión** tiene su principio de operación basado en que cuando circula una sobrecorriente capaz de fundir el elemento metálico, este se empieza a fundir en nódulos que provocan un valor grande de tensión de arco, el calor generado por el arco vaporiza el metal a una presión muy elevada dentro del aceite, condición bajo la cual el arco eléctrico cambia sus propiedades a una fibra dieléctrica, incrementando la presión del tubo del fusible donde se da una condición adiabática para la extinción del arco.

Sus aplicaciones incluyen:

- Protección de transformadores.
- Protección de sistemas de cogeneración.
- Derivación por reactor sin costosas pérdidas operativas.
- Protección de sistemas de barras de enlace.
- Mejoras en sistemas.

3.4.2 Fusibles en hexafluoruro de azufre SF₆

Con el descubrimiento de sus propiedades dieléctricas, así como por ser un medio eficaz en la extinción del arco eléctrico, el hexafluoruro de azufre (SF₆) ha sido ampliamente utilizado en la manufactura del equipo eléctrico,

del que su operación tiene como función principal la de extinguir el arco originado por las sobrecorrientes de carga y de cortocircuito.

La Fig. 3.5 muestra las formas comunes de los conectores de Media Tensión del tipo codo fusible para 15 kV, mismos que se utilizan en diversos calibres comúnmente utilizados en las RDS como los son 1/0 AWG y hasta calibre 250 kCM; el fusible limitador de corriente tiene capacidad de 5, 8, 12, 18, 30 y 45 A, de acuerdo con la especificación ANSI 386. Estos se utilizan en las derivaciones de servicios de media tensión para demandas de hasta 500 kVA en 13.2 kV y 850 kVA en 23 kV.

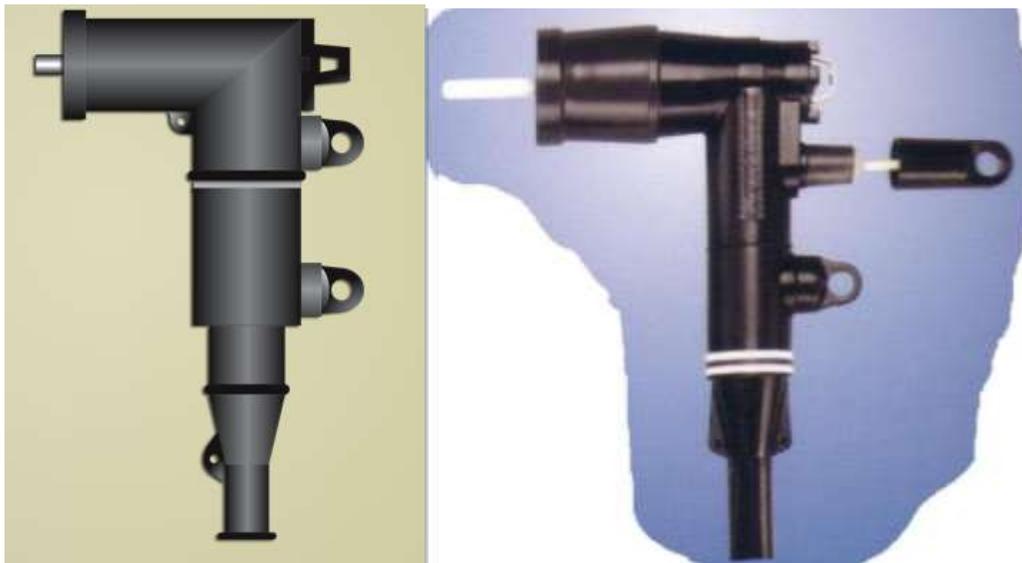


Figura 3.8 Contenedor tipo codo Portafusible MT-200-OCC

3.4.3 Contenedor Premoldeado de Fusible LC

Estos accesorios son compactos y ligeros, con fusibles premoldeados, libres de mantenimiento, sellado y son sumergibles. Su diseño es de frente muerto utilizando aislamiento premoldeado. Se utilizan en los equipos tipos pedestal, sumergibles o tipo bóveda. Se colocan directamente en las

boquillas de los equipos. Existen varias terminales o boquillas para aplicaciones con accesorios de 200 A y 600 A.

Características de diseño del fusible limitador de corriente

El fusible proporciona los beneficios de limitar la corriente de protección librando fallas que ocurren en menos de un medio ciclo limitando con eso, el permitir a través de la falla actual y reduciendo las tensiones dramáticamente en el equipo. El fusible limitador de corriente de rango completo proporciona protección por la carga excesiva y falla en el equipo de distribución de la fuente de protección actual en un solo cuerpo del fusible. Algunos fusibles desde su diseño cuentan con un sensor de daño que tiene como función principal el reducir significativamente el riesgo de falla del fusible debiendo estar el fusible debe estar sujeto a un elemento de la fuente de corriente.

La Fig. 3.9 nos muestra los diseños de los nuevos contenedores de los fusibles limitadores de corriente instalador en botellas de vacío encapsuladas tipo "Canister" [10].

3.4.4 Fusible Limitador de Corriente de rango completo

El fusible limitador de corriente de rango completo proporciona protección de sobrecarga y cortocircuito con un solo fusible. Los fusibles limitadores de corriente pueden ser instalados en botellas de vacío encapsuladas tipo "canister" para la protección del transformador de distribución, de frente vivo o frente muerto, así como los equipos de seccionamiento con frente muerto o sumergibles.

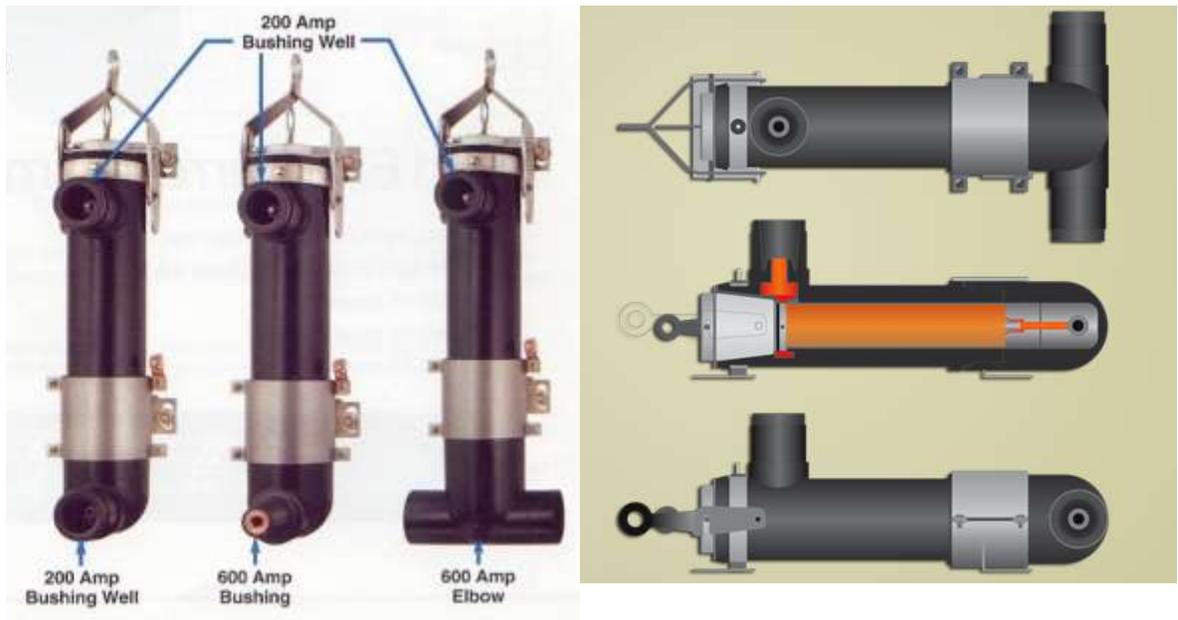


Figura 3.9 Contenedor tipo "Canister" para fusible limitador de corriente

Pueden ser montados en forma externa o acoplados al equipo (al vacío ó sumergibles en aceite) como los mostrados en la Fig. 3.10. En sus características de diseño podemos mencionar su alta capacidad interruptiva de la corriente de falla, con rangos hasta 50,000 A simétricos.

3.4.5 Fusibles de vacío

Estos fusibles son llamados así porque el elemento fusible está encerrado en una cámara al vacío, como se muestra en la Fig. 3.11 cuenta con una cámara de arqueo, un escudo o pantalla y un aislamiento cerámico.



Fig. 3.10 Fusible LC de rango completo

Para bajas corrientes de falla estos fusibles necesitan algunos ciclos para lograr el quemado del elemento fusible. Para altas corrientes el elemento instantáneamente se vaporiza y forma un arco eléctrico mantenido por el plasma, la diferencia de presión comparada con el vacío acelera la vaporización del metal y la extinción del arco.

Los iniciadores del arco controlan la trayectoria de éste, de tal forma que es sostenido en duración hasta que la corriente para por su valor cero y entonces la interrupción se completa.

Estos fusibles pueden operar en interiores y bajo aceite dado que no son del tipo de expulsión, la máxima corriente de interrupción es 12, 000 amperes.



Fig. 3.11 Fusible de vacío

Estos fusibles pueden operar en interiores y bajo aceite dado que no son del tipo de expulsión, la máxima corriente de interrupción es 12, 000 amperes.

3.3 Resumen

Se puede concluir, que en este siglo, se han venido desarrollando una serie de criterios para la coordinación entre diversos equipos de protección contra sobrecorriente.

Los criterios establecen las reglas para definir la coordinación adecuada entre dichos dispositivos.

Es importante puntualizar que las prácticas y políticas empleadas en cuanto a la protección de sobrecorriente en sistemas de distribución, tienen a variar substancialmente entre las compañías eléctricas.

La mayoría de las prácticas están basadas en muchos años de experiencia y son el resultado de análisis realizados por expertos en la materia durante el pasado.

Por lo tanto, se mencionan algunos de los criterios y filosofías de la protección de sobrecorriente, comúnmente aplicado en México por las Compañías Eléctricas, con el convencimiento de que guardando aspectos comunes con los utilizados en otras partes del mundo, han satisfecho los requerimientos particulares de los sistemas.

El argumento más comúnmente utilizado por las empresas eléctricas en el sentido de la no estandarización de esas prácticas con otras compañías o el porque existe cierta oposición a la revisión de otros criterios distintos, siempre ha sido “nuestros sistemas son diferentes”, y en efecto todos los sistemas son diferentes aun los existentes dentro de una misma empresa.

Así entonces, se mencionan en función de las diferentes combinaciones posibles entre pares de dispositivos, para los siguientes criterios de coordinación de protecciones de sobrecorriente para aplicación en sistemas de distribución:

- Relevador – Relevador
- Relevador – Restaurador
- Relevador – Fusible
- Relevador – Seccionalizador
- Relevador – Seccionalizador – Fusible
- Restaurador – Restaurador
- Restaurador – Fusible

- Restaurador – Seccionalizador
- Restaurador – Seccionalizador – Fusible
- Fusible - Relevador
- Fusible – Restaurador
- Fusible – Fusible
- Seccionalizador – Seccionalizador

En diferentes libros y manuales se da una descripción mas detallada de cada unos de estos criterios [11], [12], en donde solo se seleccionaron los que el autor considero mas importantes.

CAPITULO IV

Esquemas y Selección de Equipo de Protección

4.1 Introducción

La finalidad de proteger un sistema de distribución contra corto circuitos, es minimizar los efectos de las fallas sobre los elementos del sistema, desconectando selectivamente la parte fallada con la rapidez adecuada.

Con los conceptos y descripción de los equipos y accesorios que se han mencionado en los capítulos anteriores, se dispone de algunos elementos necesarios para la selección de equipos de protección para las RDS.

Estos aspectos contribuyen para la adecuada selección de los dispositivos y sus ajustes, con el objeto de distinguir entre condiciones normales y anormales de falla (corrientes mínima de falla y máxima de carga principalmente) logrando para cada dispositivo una operación en el tiempo preciso y permitiendo realizar selectivamente las funciones de protección primaria y de respaldo.

4.2 Dispositivos de protección contra fallas permanentes y transitorias

Como parte primordial de los sistemas de distribución se tienen los detectores de fallas, que son aquellos que por sus características de operación, requieren ser reemplazados o restablecidos para re-energizar un elemento del sistema que se ha visto sometido a una falla.

4.2.1 Dispositivos de protección contra fallas permanentes

Este tipo de dispositivos reaccionan desconectando del sistema la porción dañada independiente de que la falla haya sido de naturaleza transitoria ó permanente. Es decir, su operación implica una interrupción considerable en el suministro de energía eléctrica, cuya duración dependerá de la localización y reparación de la falla así como del reemplazo o restablecimiento del dispositivo de protección operado (en caso de fallas de naturaleza permanente), o de simplemente la revisión y prueba de la porción fallada así como el reemplazo o restablecimiento del dispositivo de protección operado en caso de fallas de naturaleza transitoria.

Los equipos típicos para esta aplicación son básicamente fusibles, seccionalizadores y seccionadores aéreos ó subterráneos.

4.2.2 Dispositivos de protección contra fallas transitorias

Son aquellos que por sus características de operación, disponen de la función de auto-restablecimiento o recierre automático y no requiere ser reemplazados o restablecidos para re-energizar un elemento del sistema que se ha visto sometido a una falla de naturaleza transitoria.

Este tipo de dispositivos reaccionan desconectando momentáneamente del sistema la porción dañada e independientemente de que la falla haya sido de naturaleza transitoria o permanente re-energizan el elemento protegido. Dependiendo del ajuste seleccionado, puede disponerse de varios ciclos de conexión – desconexión.

Su operación implica una interrupción momentánea (en caso de fallas de naturaleza transitoria) en el suministro de energía eléctrica cuya duración dependerá del tiempo de recierre. Si la falla es de naturaleza permanente el dispositivo al completar su secuencia de operación ajustada, abre y queda bloqueado, dejando aislado del sistema el elemento fallado hasta en tanto se proceda a la reparación de la falla.

Los equipos típicos para esta aplicación son básicamente restauradores e interruptores con relevadores de protección y recierre automático.

El fusible de triple disparo es un dispositivo de protección contra fallas transitorias, pero no se le considera completamente como tal, ya que no posee la función de reposición automática. Este dispositivo no es utilizado en la protección de RDS.

4.3 Características de la topología de las RDS

Exactamente como y donde la transición de un circuito trifásico a un monofásico debe hacerse en un sistema de distribución subterráneo, así como determinar los diferentes puntos para la bifurcación o cambios de trayectorias, ubicaciones de equipos de seccionamiento ó protección y ramales, dependerá grandemente de la situación específica, de los estándares de diseño, de las condiciones particulares y aún de las preferencias del personal de planeación. Generalmente las Compañías Eléctricas suministran un servicio trifásico a cargas grandes de empresas o desarrollos de vivienda. Dentro del área por alimentar se pueden usar fases individuales para distribuir la energía. Sin embargo en lugares donde las

cargas individuales son pequeñas, como en la mayoría de áreas residenciales, se les puede suministrar el servicio con una sola fase.

4.3.1 Alimentadores

Estos circuitos son los encargados de transportar la potencia de la subestación en forma confiable y económica a lo largo del circuito. En el mundo encontramos una tensión para circuitos de media tensión desde 1.1 hasta 66 kV. El más común en México es 13.2 kV, pero existen también 23 kV hasta 34.5 KV.

Un alimentador de media tensión es un pequeño sistema de transmisión en su propia trayectoria, distribuyendo de 2 a 10 MVA, dependiendo del calibre del conductor y del nivel de tensión. Normalmente de una subestación tiene de 4 a 12 alimentadores que tienen una configuración de ramas principales y ramas menores a medida que nos alejamos de la subestación. En conjunto los alimentadores forman un sistema con una configuración determinada como se muestra en la figura 4.1. La potencia se distribuye de las subestaciones de distribución a través de los circuitos de media tensión, en la forma como se indica en la figura de dos subestaciones. Los desconectores abiertos hacen que el sistema eléctricamente opere en forma radial, aun cuando físicamente se tiene una malla. Las dos subestaciones tienen cada una cuatro alimentadores.

4.3.2 Bifurcaciones (derivaciones)

Para cubrir el área de servicio de un alimentador y llegar suficientemente cerca de todos los clientes, se usa una topología en donde aparecen nuevas rutas que se denominan bifurcaciones (derivaciones) que se

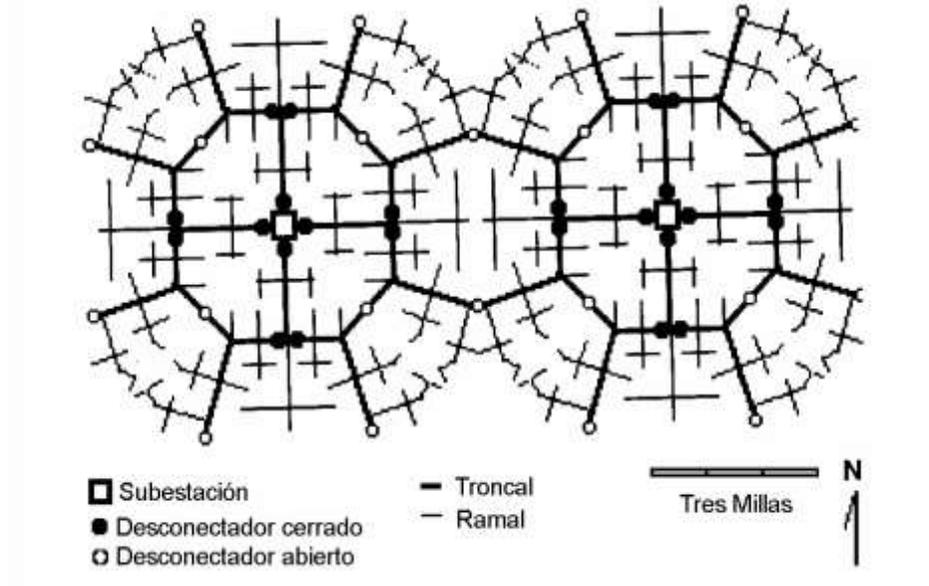


Figura 4.1 Distribución de la potencia entre dos subestaciones de distribución.

originan al dividirse en diferentes ocasiones las rutas originales, esto se ejemplifica en la figura 4.2. Se observa en la figura como el alimentador consiste de una sola trayectoria que se origina en la subestación, de este se derivan ramas y ramales que gradualmente dividen el flujo de potencia en más rutas pero de menor capacidad, para entregar la potencia que se mueve de la subestación a los usuarios.

4.3.3 Punto intermedio (protección ó seccionamiento)

A lo largo de la trayectoria del circuito troncal, es conveniente ubicar en uno ó hasta tres puntos intermedios, equipos de protección ó seccionamiento con la finalidad de proteger el circuito de alguna falla que

se pueda presentar, con la flexibilidad de reducir la afectación de carga con la operación de estos equipos. Hay diferentes criterios que utilizan las Compañías Eléctricas, siendo el Ingeniero de Planeación quién determina

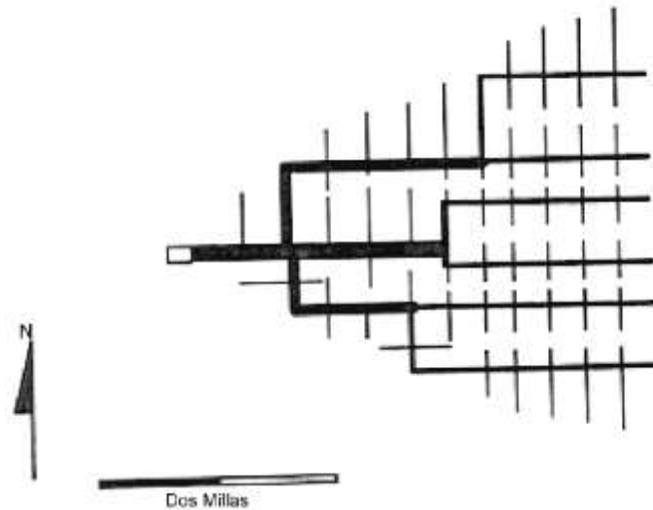


Figura 4.2 Alimentadores con una estructura troncal y ramales que se derivan a lo largo del propio alimentador. El ancho de las líneas es una medida de las mismas.

si el equipo será de protección ó seccionamiento de carga, de acuerdo a la configuración específica del circuito considerando que estos equipos tienen características diferentes, como se menciona en el Capítulo 3.3

4.3.4 Ramales

Segmentos de líneas de media tensión que se conectan a la troncal, cada ramal suministra potencia a un grupo pequeño de usuarios.

Normalmente de estos ramales no se derivan a su vez otros ramales, siendo muchos de ellos de una o dos fases, los ramales trifásicos son utilizados solamente cuando relativamente se requiere suministrar mayor cantidad de potencia o por requerirse servicio trifásico. Normalmente para balancear la carga en los alimentadores, la conexión de los diferentes ramales se va alternando en las diferentes fases.

Típicamente un ramal subterráneo se usa para suministrar desde 180 kVA en forma radial, pero se puede suministrar hasta 2 MVA, en configuración radial y operación en anillo, es como comúnmente se utiliza en las RDS.

4.4 Metodología para la ubicación de equipos en una RDS

En este punto es importante mencionar, que se ha realizado una recopilación de información de los equipos de protección disponibles en el mercado, sin embargo, no es limitante para otras opciones de equipos con nuevas tecnologías.

Sobre el particular, no se pretende fijar ó establecer de manera unilateral la aplicación de estas reglas, pero se ha determinado citar y poner a consideración de acuerdo al orden de importancia que se determine en cada Compañía Eléctrica, las reglas en la selección de equipo de protección de las RDS:

Regla 1:

Determinar el tipo de topología de la red subterránea a proteger. Se debe definir la utilización de red monofásica ó trifásica, considerando como punto importante, los tipos de carga a alimentar, ya sea carga residencial que se puede alimentar con una red monofásica; carga comercial que en la mayoría de los casos es alimentada con redes trifásicas, considerando también que la alimentación se deriva de una red de alimentación ya sea aérea ó subterránea.

Regla 2:

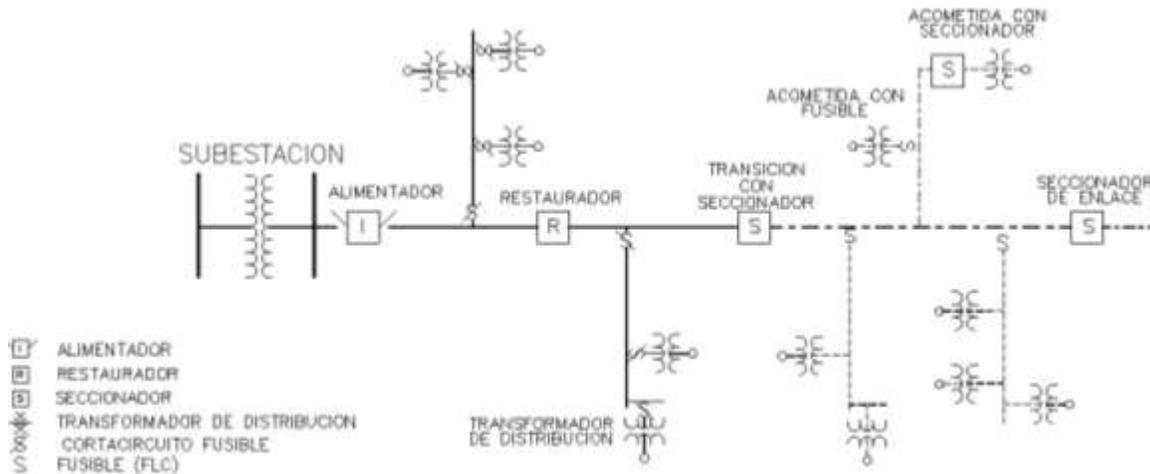
Seleccionar los accesorios ó equipos que se pueden utilizar, a fin de determinar las diferentes opciones disponibles, de acuerdo a la capacidad interruptiva y de la carga a alimentar, como se menciona en el Cap. 3.3. La utilización adecuada de los accesorios y equipos nos proporcionaran una protección a los equipos de transformación, así como de sobrecorriente si se presentan fallas en la RDS.

Regla 3:

Determinar el grado de confiabilidad requerido de acuerdo al tipo de servicio que se suministra. En las áreas residenciales es común la protección de la red mediante dispositivos como codos fusibles, ó equipos restauradores ó seccionadores. En el caso de áreas comerciales ó industriales es benéfico considerar como alternativa el uso de equipos remotos ó de transferencia automática, a fin de proporcionar un respaldo en la alimentación con la alternativa de suministrar el servicio de la misma ó hasta de diferentes subestaciones.

4.4.1 Ubicaciones críticas

Uno de los principales aspectos que se debe considerar en el diseño de circuitos de distribución y su equipo asociado, es la ubicación de los



equipos de protección. La Fig. 4.3 muestra un ejemplo de ubicaciones de los diferentes equipos de protección con los que puede contar una RDS [12].

Fig. 4.3 Sistema de protección en un circuito aéreo - subterráneo

El análisis que realiza el Ingeniero de Planeación en el diseño de la red considera los siguientes puntos:

- a) Instalación de equipos de protección en un punto tal que divida al mismo en dos partes con aproximadamente la misma cantidad de usuarios, los mas uniformemente distribuidos.
- b) Instalación de equipo de seccionamiento para enlace con otros alimentadores de distribución, de la misma o de una subestación diferente.

- c) Instalación de equipos de protección de acuerdo a la importancia y tipos de usuarios en las porciones subdivididas y de acuerdo a los criterios establecidos en el inciso a).
- d) En los ramales con longitudes mayores al 50 % de la longitud de la línea troncal, pueden instalarse dispositivos de protección como seccionadores, siempre y cuando estén derivados de la troncal.
- e) En ramales que se deriven de otros ramales, los cuales alimentan cargas menores pueden ser protegidos con accesorios como los codos fusibles.
- f) Los servicios individuales, ya sea monofásicos ó trifásicos se protegen con codos fusibles.
- g) La instalación de equipos de operación automática ó remota cuando se requiera rápida atención para la transferencia de bloques de carga, ya sea por operación de la red ó por falla.

Los criterios que se han mencionado, son un ejemplo de la forma en que se puede integrar la topología del circuito y los criterios de protección y que puede mejorar en forma significativa la operación y continuidad de una red de media tensión.

4.4.2 Criterios de selección de equipo

En los últimos años se han venido desarrollando una serie de criterios para la selección de los diversos equipos de protección contra sobrecorriente en los sistemas de distribución.

Dichos criterios son producto del análisis de las características particulares de operación de cada uno de los equipos ó dispositivos de protección y

como deben inter-actuar esas características entre dos ó mas equipos adyacentes.

Es importante puntualizar que los criterios señalados establecen y recomiendan rangos ó márgenes de aplicación; mismos que en función de la experiencia acumulada, el conocimiento particular del sistema materia del estudio y las posibilidades de los equipos de protección, pueden ser modificados y funcionar adecuadamente para una aplicación dada.

Es importante puntualizar que las prácticas y políticas empleadas en cuanto a la selección del equipo en sistemas de protección, tienen a variar sustancialmente entre las Compañías Eléctricas.

4.4.3 Ajustes (sobrecorriente)

Como parte de la experiencia que aportan el personal técnico de la Comisión Federal de Electricidad, se incluye información complementaria relacionada con algunas recomendaciones para la aplicación y ajuste de los diversos dispositivos de protección que intervienen en un sistema de distribución subterránea.

Cabe mencionar, que en el criterios de las protecciones, las Compañías Eléctricas plantean diferentes soluciones sin llegar a denominarlas "definitivas", ya que son basadas en plataformas teórico prácticas y siempre buscar el implementar, experimentar, optimizar y actualizar con las aportaciones personales de sus Ingenieros especialistas.

La instalación y aplicación de estos equipos se basa en cada uno de los siguientes criterios:

Interruptor con relevador de sobrecorriente

- Como interruptor de banco en transformadores de 10/12.5 MVA ó mayores en el lado de alta tensión.
- En alimentadores de circuitos urbanos de distribución. El ajuste de relevadores de fase de los circuitos de distribución debe ser limitado por los factores siguientes y no por la carga:
 1. Capacidad del conductor
 2. Capacidad de la Subestación
 3. Capacidad de Interruptores, cuchillas monopolares y de operación en grupo, equipos seccionadores.
- En circuitos con mas de 150 A de carga.
- En toda subestación normalizada.

Restaurador

- Como protección de banco en los transformadores de 34.5/13.8 kV, en el lado de alta tensión.
- En las subestaciones rurales como protección de los alimentadores para los circuitos de distribución.
- En ramales con carga mayor a 50 A en áreas rurales.
- Para proteger poblaciones importantes de áreas rurales.
- Para proteger servicios importantes (industriales).
- Al seleccionar un restaurador con bobina serie se debe tomar en cuenta el nivel de corto circuito que soporta el equipo como la

bobina. Las bobinas serie de los restauradores tienen limitaciones en el nivel de corto circuito. Las bocinas serie de los restauradores solo soportan los niveles de corto circuito de la tabla 4.1.

Seccionalizador

- En ramales con cargas de más de 50 A.
- En ramales con longitudes mayores a 5 km y menores a 15 km
- En coordinaciones especiales por tipo de terreno ó áreas conflictivas.
- Considerar la curva de daño de las bobinas de los seccionalizadores para evitar que se dañen por ser instalados en un punto donde el nivel de corto circuito sea mayor que el de diseño del equipo.

Tabla 4.1 Capacidad de corto circuito de la bobina serie

TIPO RESTAURADOR	I nominal BOBINA							
	25	35	50	70	100	140	185	225
3H	600	1400	1250					
6H	1000	2100	2000	3000				
R	1500	2100	3000	4000	4000	4000	4000	4000
RV	1500	2100	3000	4200	6000	6000	6000	6000
RX	1500	3500	3000	4200	6000	6000	6000	6000
KF	2500	3500	5000	6000	6000	6000	6000	6000
W			3000	4200	6000	8400	9600	10000

Seccionador

- En ramales con cargas de más de 30 A.
- Con cargas de más de 50 A.
- Como protección de servicios especiales, comerciales ó desarrollos habitacionales, con cargas mayores a 500 kVA en 13.2 kV y 800 kVA en 34.5 kV.

Fusibles (Codos fusibles, fusibles limitadores de corriente)

- En ramales con uno a varios bancos.
- En ramales con cargas menores de 30 A.
- Como protección de servicios residenciales y comerciales con cargas menores a 500 kVA.

Se ha incluido la Tabla 4.2 "Guía para aplicación y ajuste de protecciones en circuitos de Distribución" de la Comisión Federal de Electricidad como información complementaria.

4.5 Ejemplos de una red

La Fig. 4.3 presenta un diagrama simplificado de un circuito aéreo subterráneo con los equipos de protección como lo son: interruptor de circuito (alimentador), restaurador y cortacircuitos fusibles en lo que respecta al sistema aéreo, y por otra parte, seccionadores (para maniobras de seccionamiento, alimentación de servicios importantes, y enlaces con otros circuitos), así como fusibles (FLC).

La aplicación de cada uno de los diferentes elementos quedará sujeta al análisis de las características especiales de cada unos de las topologías del circuito, así como la carga misma, de acuerdo a las diferentes aplicaciones que se ha mencionado en la sección anterior.

En este circuito, se ha considerado la utilización de un interruptor en el alimentador de la subestación, un equipo restaurador en la primera

sección del circuito, considerando por decir así una tercera parte del circuito ó de los clientes a los que alimenta, con derivaciones ó ramales a otros sectores, protegidos con cortacircuitos fusibles y los bancos de transformación de la red, a su vez, son protegidos por cortacircuitos fusibles en cada banco.

En la transición, ubicada en el ejemplo en el segundo tercio del circuito inicia la red subterránea, se ubica un equipo seccionador en donde destaca la característica que a partir de este equipo, las fallas que se

Tabla 4.2 Guía de aplicación y ajustes de protecciones

GUIA PARA APLICACIÓN Y AJUSTE DE PROTECCIONES EN CIRCUITOS DE DISTRIBUCION

DISPOSITIVO	UBICACION	APLICACIÓN	CONSIDERACIONES DE AJUSTE					CURVAS DE OPERACIÓN	SECUENCIA DE OPERACIÓN
			CORRIENTE	TIEMPO	RECIERRE				
INTERRUPCION DE POTENCIA CON RELEVADORES DE PROTECCION	EN LAS SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION	GENERAL	<p>UNIDAD DE TIEMPO DE FASE</p> <ul style="list-style-type: none"> * MAYOR QUE LA MAXIMA CORRIENTE DE CARGA DEL ALIMENTADOR (NORMALMENTE EL DOBLE Y NUNCA MENOR DEL 150 %) * MENOR QUE LA CAPACIDAD MAXIMA CONTINUA DE CONDUCCION DEL ALIMENTADOR TRONCAL * SUFICIENTE PARA LLEVAR LA CARGA DE LOS DOS CIRCUITOS MAS CARGADOS DE LA SE. * SELECCIONAR LA MAXIMA RTC POSIBLE PARA DISMINUIR PROBABILIDAD DE SATURACION EN TCs Y EFECTOS TERMICOS EN RELAVADORES * NO EMPLEAR AJUSTES MAYORES A TAP 5 	<ul style="list-style-type: none"> * NO EMPLEAR PALANCAS MENORES A 1 PARA EVITAR OPERACION POR VIBRACION (EN RELAVADORES ELECTROMECANICOS) 	<ul style="list-style-type: none"> * 2 O 3 OPERACIONES PARA CIRCUITOS RURALES * 1 O 2 OPERACIONES PARA CIRCUITOS URBANOS * OPERACIONES DEMORADAS EN TODOS LOS CASOS * NO EMPLEAR RECIERRAS INSTANTANEOS SALVO EN APLICACIONES ESPECIFICAS QUE ASI LO REQUIERAN * USAR TIEMPOS ALTOS DE RECIERRE PARA COORDINACION CON PROTECCION DE RESPALDO A BASE DE RELAVADORES CON REPOSICION LENTA * NO UTILIZAR ALTA VELOCIDAD PARA COORDINAR CON SECCIONALIZADOR 	<ul style="list-style-type: none"> * EXTREMADAMENTE INVERSA PARA CIRCUITOS CON FUSIBLES PRINCIPALMENTE RURALES * MUY INVERSA PARA CIRCUITOS CON RESTAURADORES BASICAMENTE URBANOS Y SUBURBANOS * MEDIA INVERSA PARA PROTECCIONES DE FALLAS A TIERRA 	<ul style="list-style-type: none"> * BLOQUEO DE LA UNIDAD INSTANTANEA PARA COORDINACION CON FUSIBLES DE RAMALES DE CIERTA IMPORTANCIA (NORMALMENTE EN CIRCUITOS RURALES DE SUBESTACIONES CON NIVELES BAJOS DE CORTO CIRCUITO * OPERACION SIN BLOQUEO DE LA UNIDAD INSTANTANEA PARA CIRCUITOS URBANOS DE SUBESTACIONES CON ALTOS NIVELES DE FALLA 		
			<p>UNIDAD DE TIEMPO DE NEUTRO</p> <ul style="list-style-type: none"> * DEL 20 AL 30% DEL AJUSTE DE LA PROTECCION DE FASE UNIDADES INSTANTANEAS * MAYOR QUE LAS CORRIENTES DE MAGNETIZACION Y CARGA FINAL DEL ALIMENTADOR * PARA OPERAR CON NIVELES DE FALLA A UN 80% DE LA DISTANCIA DEL MAS PROXIMO DISPOSITIVO AUTOMATICO DE PROTECCION 	<ul style="list-style-type: none"> * CONSIDERAR CURVAS DE DAÑO DE CONDUCTORES 	<ul style="list-style-type: none"> * NO UTILIZAR ALTA VELOCIDAD PARA COORDINAR CON SECCIONALIZADOR 	<ul style="list-style-type: none"> * EXTREMADAMENTE INVERSA PARA COORDINACIONES CON FUSIBLES 	<ul style="list-style-type: none"> * UNA SOLA OPERACION Y BLOQUEO EN CASO DE FALLA 		
		CIRCUITOS SUBTERRANEOS	<p>UNIDAD DE TIEMPO DE NEUTRO</p> <ul style="list-style-type: none"> * CONSIDERAR EL TIEMPO DE LA CORRIENTE DE 3a ARMONICA CON RETORNO COMO MEDIO POR EL NEUTRO. PARA CIRCUITOS CON TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION DE CINCO PIERNAS CONEXION ESTRELLA ESTRELLA MAYORES A 500 KVA UNIDADES INSTANTANEAS * AJUSTES ALTOS Y EN OCASIONES BLOQUEO MOMENTANEO PARA EVITAR OPERACIONES DEBIDO A CORRIENTES DE MAGNETIZACION Y EFECTO CAPACTIVO 	<ul style="list-style-type: none"> * CONSIDERAR CURVAS DE SEGURIDAD DE CABLES 	<ul style="list-style-type: none"> * NO UTILIZAR ESTE DISPOSITIVO 	<ul style="list-style-type: none"> * EXTREMADAMENTE INVERSA PARA COORDINACIONES CON FUSIBLES 	<ul style="list-style-type: none"> * UNA SOLA OPERACION Y BLOQUEO EN CASO DE FALLA 		

CONSIDERACIONES DE AJUSTE							
DISPOSITIVO	UBICACION	APLICACION	CORRIENTE	TIEMPO	RECIERRE	CURVAS DE OPERACION	SECUENCIA DE OPERACION
RESTAURADOR AUTOMATICO	<ul style="list-style-type: none"> * AL INICIO DEL ALIMENTADOR * A LO LARGO DEL CIRCUITO EN SITIOS ESTRATEGICOS EN EL ORIGEN DE RAMALES DE SUFICIENTE LONGITUD COMO PARA REPRESENTAR EXPOSICION A FALLAS EN FORMA CONSIDERABLE * LUGARES DE FACIL ACCESO * CONSIDERACION ESPECIAL A SITIOS MUY EXPUESTOS AL EFECTO DE RAYOS, CERCANOS A ARBOLES O A OTROS ELEMENTOS PELIGROSOS PARA LA LINEA 	GENERAL	<p>BOBINA SERIE EN FASES</p> <ul style="list-style-type: none"> * CAPACIDAD NOMINAL DE UN 30 A UN 40 % MAYOR QUE LA CORRIENTE MAXIMA DE CARGA EN EL PUNTO DE INSTALACION DISPARO A TIERRA * APROXIMADAMENTE UN 35 % DE LA CORRIENTE DE DISPARO DE FASE 	<ul style="list-style-type: none"> * POSIBILIDAD DE SELECCIONAR ENTE VARIAS CURVAS LENTAS DEPENDIENDO DE LA NECESIDAD PARTICULAR DE COORDINACION 	<ul style="list-style-type: none"> * EL MAYOR TIEMPO POSIBLE PARA UNIDADES HIDRAULICAS (ALREDEDOR DE 2 SEGUNDOS) * PARA APLICACIONES ESPECIFICAS, EL RECIERRE DEMORADO ELECTRONICO PROPORCIONA MAYORES VENTAJAS EN LA COORDINACION 	<ul style="list-style-type: none"> * MUY INVERSA POR DISEÑO PROPIO PARA BOBINAS SERIE * 1 RAPIDA, 3 LENTAS PARA COORDINACION CON ARREGLO SECCIONALIZADOR - FUSIBLE - DESPEJANDO UN 80 % DE FALLAS TRANSITORIAS * OTRAS COMBINACIONES DE SECUENCIAS PUEDEN CONSIDERARSE PARA APLICACIONES ESPECIFICAS 	<ul style="list-style-type: none"> * 2 RAPIDAS, 2 LENTAS PARA COORDINACION CON FUSIBLES, DESEJANDO HASTA UN 90 % DE FALLAS TRANSITORIAS * 1 RAPIDA, 3 LENTAS PARA COORDINACION CON SECCIONALIZADOR - FUSIBLE - DESPEJANDO UN 80 % DE FALLAS TRANSITORIAS * OTRAS COMBINACIONES DE SECUENCIAS PUEDEN CONSIDERARSE PARA APLICACIONES ESPECIFICAS
SECCIONALIZADOR	<ul style="list-style-type: none"> * AL INICIO DE RAMALES O SUBRAMALES, Y SIEMPRE DELANTE DE DISPOSITIVOS AUTOMATICOS DE PROTECCION 	<ul style="list-style-type: none"> * EN APLICACIONES DONDE SE DIFICULTA LA COORDINACION CON FUSIBLES * CUANDO SE TIENEN LIMITACIONES POR CAPACIDAD INTERRUPTIVA PARA INSTALAR UN RESTAURADOR EN UN RAMAL 	<ul style="list-style-type: none"> * MENOR O IGUAL QUE LA CAPACIDAD NOMINAL DEL RESTAURADOR (HIDRAULICO) CON EL QUE SE ESTE COORDINADO * MENOR QUE EL 80 % QUE LA MINIMA CORRIENTE DE FALLA DE SUPERVISION DEL DISPOSITIVO DE RESPALDO CON EL CUAL ESTA COORDINADO 	<ul style="list-style-type: none"> * VERIFICAR QUE LA CURVA DE DAÑO DEL EQUIPO QUEDE POR ARRIBA DEL EQUIPO DE PROTECCION CON EL CUAL ESTE COORDINADO, PARA UNA FALLA EN SU LUGAR DE INSTALACION 	<ul style="list-style-type: none"> * EVITAR EL USO DE RECIERRES DE ALTA VELOCIDAD (MENORES E 30 CICLOS) EN LOS DISPOSITIVOS AUTOMATICOS DE RESPALDO CON LOS CUALES ESTE COORDINADO 	<ul style="list-style-type: none"> * CORRIENTE MINIMA DE CONTEO DEL 160 % DE LA CORRIENTE DE LA CORRIENTE NOMINAL DE LA BOBINA * EL NUMERO MAXIMO DE CONTROS DEBE SER UNO MENOS QUE EL NUMERO DE OPERACIONES DE DISPARO AJUSTADO PARA EL DISPOSITIVO CON EL CUAL ESTE COORDINADO 	<ul style="list-style-type: none"> * UN CONTEO, PARA REDES SUBTERRANEAS * DOS CONTEOS, ELIMINANDO HASTA UN 90 % DE FALLAS TRANSITORIAS * TRES CONTEOS, ELIMINANDO HASTA UN 95 % DE FALLAS TRANSITORIAS
CORTACIRCUITO FUSIBLE	<ul style="list-style-type: none"> * AL INICIO DE RAMALES Y SUBRAMALES DE RALATIVA POCA IMPORTANCIA * EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION 	<ul style="list-style-type: none"> * PARA PROTECCION CONTRA INTERRUPTIONES POR FALLAS PERMANENTES EN CIERTAS PORCIONES DEL SISTEMA * PARA PROTECCION TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION, RAMALES DE POCA LONGITUD Y CARGA, Y EN ACOMETIDAS DE SERVICIOS. 	<ul style="list-style-type: none"> * CAPACIDAD MINIMA DE UN 100 % DE LA CORRIENTE MAXIMA DE CARGA PARA LOS TIPOS N, Y DE 70 % DE LA CORRIENTE MAXIMA DE CARGA PARA LOS TIPOS K Y T 	<ul style="list-style-type: none"> * MAXIMO TIEMPO DE FUSION DE 1 SEGUNDO PARA LA MAXIMA FALLA EN SU ZONA DE PROTECCION 	<ul style="list-style-type: none"> * MAYOR NUMERO DE OPERACIONES RAPIDAS EN EL DISPOSITIVO DE RESPALDO, SEGUN LA IMPORTANCIA DEL RAMAL PROTEGIDO, CON TIEMPOS SUFICIENTES DE RECIERRE PARA PERMITIR LA RECUPERACION O ENFRIAMIENTO DEL FUSIBLE 	<ul style="list-style-type: none"> * TIEMPO RAPIDO, PARA PROTECCION DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION, RAMALES DE POCA IMPORTANCIA Y CORTACIRCUITOS DE TRIPLE DISPARO * TIEMPO LENTO, PARA APLICACION DE COORDINACION CON RESTAURADORES E INTERRUPTORES 	<ul style="list-style-type: none"> * DE ACUERDO A LA IMPORTANCIA DEL RAMAL Y CONSIDERANDO LAS CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE RESPALDO

presentan en la red subterránea son del tipo permanente, por lo que aplica la utilización de equipos sin restablecimiento automático (recierre). Como se ha mencionado también, si las características del servicio así lo requieren, se utiliza un equipo seccionador en la acometida del cliente, ó se protege la acometida a través de codos fusibles (fusibles limitadores de corriente) y los transformadores de distribución con los fusibles imitadores de corriente de rango parcial y completo.

4.6 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se ha presentado, las características importantes que se deben tomar en cuenta al considerar los elementos de una red, cuyas características de han descrito a detalle en capítulos anteriores.

La importancia de los detectores de falla, a fin de identificar cuáles equipos libran fallas transitorias y permanentes, y su área de aplicación en la red subterránea según se hizo su descripción.

Se determinaron las características de la topología como punto medular en el diseño de las redes de distribución subterránea, sin llegar a realizar los análisis necesarios para el diseño de estas últimas.

La metodología y los criterios de selección de equipos presentada servirá como guía para los Ingenieros de Planeación en el diseño de nuevos circuitos y redes, considerando los elementos de protección de acuerdo a las características específicas de cada uno de ellos.

El circuito mostrado servirá como ejemplo básico en la ubicación de cada uno de los elementos mencionados en el capítulo.

CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones

Como principales conclusiones en este trabajo de tesis son destacar la importancia que tienen las redes de distribución subterránea, mismas que presentan una alta confiabilidad en el servicio por tener un índice de fallas muy reducido comparado contra la red aérea, y la utilización adecuada de los equipos y accesorios de protección para las redes de distribución subterráneas, según los diferentes esquemas de protección que se plantean en este trabajo para su mejor aplicación.

Las principales aportaciones de este trabajo son:

- Conocer las características generales de las Redes de Distribución subterráneas (RDS).
- Identificar las áreas de aplicación de las diferentes configuraciones de las RDS.
- Aplicación de los tipos de sistemas para instalaciones subterráneas como son: residencial, comercial y turística.
- El propósito de los dispositivos de protección de las RDS.
- La importancia de la Protección de la red de distribución.
- Las características principales de los equipos y accesorios de protección.
- Conocer los esquemas y selección de equipos de protección.
- Aplicación de dispositivos contra fallas transitorias y permanentes.
- Las características principales de las RDS.
- Metodología de ubicación de equipos de protección.

Las recomendaciones para la realización de trabajos futuros son:

- Algoritmos para la coordinación de protecciones de equipos de distribución subterráneos.
- Automatización de redes de distribución subterráneas.
- Análisis de corto circuito en redes de distribución subterránea
- Detección de fallas den redes de distribución subterránea
- Estudios del envejecimiento de las redes de distribución subterráneas

Finalmente, es importante destacar que las Compañías Eléctricas tienen altas expectativas en el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a equipos de protección con el fin de contribuir en el mejoramiento de la calidad y confiabilidad del servicio proporcionado a sus clientes a nivel de las mejores empresas del mundo.

REFERENCIAS

[1] H. Lee Willis, "*Power Distribution Planning Reference Book*", Marcel Dekker, Inc., New York, 1997

[2] <http://www.megawatt.com.pe/articulos/conector/con13disub.htm>
Megawatt S.A.C. Material traducido de FCI Electrical, 3ª. Edición revisada, escrito por: G. Di Troia - Miembro de la IEEE de FCI Electrical USA; Kenneth Woo - FCI Electrical USA; Gaylord Zahlman - FCI Electrical USA (Marzo 2007)

[3] CFE Normas de Distribución – Construcción Líneas Subterráneas 2005 – Comisión Federal de Electricidad / Subdirección de Distribución

[4] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE 2005 - Instalaciones Eléctricas
<http://www.sener.gob.mx/>

[5] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. – Pullman, WA
<http://www.selinc.com/sel-351s.htm> (Abril 2007)

[6] NOJA Power Products – Queensland, Australia

<http://www.nojapower.com.au/SP/product/recloser.htm>

[7] CELSA S. A. Protecciones, Medellín, Col.

<http://www.celsa.com.com/> (Marzo 2007)

[8] G&W Electric Company, Blue Island, Il.

<http://www.gwelec.com/pdfs/Spanishpg.pdf> (Marzo 2007)

[9] Canada Power Products Company

<http://www.canpowerprod.com/home.html> (Marzo 2007)

[10] Thomas & Betts Corporation

http://www.hi-techfuses.com/fx_fuses.htm

[11] Turan Gönen, *“Electric Power Distribution System Engineering”*, Mc Graw Hill, Inc., New York, 1986

[12] Procedimiento para coordinación de protecciones de sobrecorriente en sistemas de distribución / GOM-1520 / Subdirección de distribución / Comisión Federal de Electricidad - 31 marzo 1997