

23
2e.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

ILUMINACION E INSTALACIONES
ELECTRICAS. COORDINACION DE
PROTECCIONES EN SISTEMAS DE
DISTRIBUCION AEREA DE ENERGIA
ELECTRICA.

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO
ELECTRICISTA

PRESENTA:
JUAN ROGELIO CASTRO SANCHEZ

ASESOR:
ING. BENJAMIN CONTRERAS SANTACRUZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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
AVENIDA LEON
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Iluminación e instalaciones eléctricas. Coordinación de protecciones en sistemas de distribución aérea de energía eléctrica.

que presenta el pasante: Juan Rogelio Castro Sánchez
con numero de cuenta: 7934244-3 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

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

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 10 de junio de 19 98

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
I	Ing. Jaime Rodriguez Martinez	<i>[Firma]</i>
II	Ing. Pedro Guzmán Tinajero	<i>[Firma]</i>
IV	Ing. Benjamín Contreras Cantacruz	<i>[Firma]</i>

AGRADECIMIENTO

A DIOS:

POR TODO LO QUE ME HA DADO.

A MIS PADRES:

CON MUCHO CARIÑO Y RESPETO.

A MIS HERMANOS:

**POR EL APOYO INCONDICIONAL QUE SIEMPRE
ME HAN BRINDADO.**

A MI FAMILIA:

POR SU APOYO Y COMPRESION.

CONTENIDO

CAPITULO 1: CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA.

1.1 Introducción	01
1.2 Sistemas de energía eléctrica	02
1.2.1 Características de la carga de un sistema eléctrico	02
1.2.2 Fuentes de energía eléctrica	03
1.2.3 Sistemas de transmisión y de distribución	03

CAPITULO 2: SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.

2.1 Definición	05
2.2 Clasificación	05
2.3 Componentes de un sistema de distribución	06
2.3.1 Líneas primarias	06
2.3.2 Transformadores de distribución	07
2.3.3 Líneas secundarias	07
2.3.4 Acometidas y equipo de medición	07
2.4 Elementos que constituyen los sistemas de distribución aérea	08
2.4.1 Conductores	08
2.4.2 Aisladores	08
2.4.3 Postes y herrajes	09

2.4.4 Transformadores de distribución	09
2.4.5 Cuchillas de navaja	09
2.4.6 Interruptores operados en aire	09

CAPITULO 3: GENERALIDADES DE LA PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION.

3.1 Antecedentes	10
3.2 Tipos y causas de fallas	11
3.3 Filosofía de la protección	13

CAPITULO 4: DISPOSITIVOS DE PROTECCION PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION UBICADOS EN LA SUBESTACION.

4.1 Transformadores para instrumento	15
4.1.1 Transformadores de potencial	15
4.1.2 Transformadores de corriente	16
4.2 Relevadores	18
4.2.1 Atracción electromagnética	18
4.2.2 Inducción electromagnética	19
4.2.3 Estado sólido	19
4.2.4 Tiempos de operación de relevadores	21
4.2.5 Relevadores de sobrecorriente	22
4.2.6 Recierre automático en alimentadores aéreos	23

4.3 Interruptores eléctricos de potencia	-----	24
4.3.1 Características	-----	24
4.3.2 Proceso de interrupción	-----	25
4.3.3 Medios de interrupción	-----	26
4.3.4 Mecanismo de operación	-----	27
4.4 Protección de sobrecorriente	-----	28
4.4.1 Esquema de protección en la subestación para sistemas de		
Distribución.	-----	29
4.4.2 Descripción de la operación de un esquema de protección		29

CAPITULO 5: DISPOSITIVOS DE PROTECCION INSTALADOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCION.

5.1 Restaurador	-----	31
5.1.1 Restauradores con control electrónico	-----	32
5.1.2 Criterio de aplicación	-----	34
5.1.3 Características de liberación de falla del restaurador	--	34
5.2 Seccionalizador	-----	35
5.3 Cortacircuitos- fusibles	-----	36
5.3.1 Características de fusión (curvas)	-----	36
5.4 Pararrayos	-----	37
5.4.1 Pararrayos autovalvulares	-----	37

CAPITULO 6: FUNDAMENTOS DE LA COORDINACION DE PROTECCIONES

6.1 Coordinación de protecciones	-----	40
6.2 Coordinación interruptor restaurador	-----	41
6.3 Coordinación restaurador seccionalizador	-----	41
6.4 Coordinación interruptor fusible	-----	41
6.5 Coordinación restaurador fusible	-----	41
6.6 Coordinación fusible-fusible	-----	42
6.7 Ejemplo de aplicación	-----	44

CAPITULO 7: CONCLUSIONES	-----	49
--------------------------	-------	----

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA

1.1 INTRODUCCION

De las formas de energía que tienen un mayor uso en el ámbito internacional, la energía eléctrica es la preferida para proporcionar alumbrado, fuerza, transporte, calefacción, etc. , en las grandes ciudades y en centros importantes de población.

En los países industrializados y aquellos que se encuentran en desarrollo el consumo de energía eléctrica tiende normalmente a incrementarse y de hecho uno de los índices que miden el grado de industrialización de un país es el consumo de KWH por habitante, esto hace que los sistemas eléctricos se encuentren en constante crecimiento. Desde luego que este proceso esté necesariamente vinculado a la disponibilidad energética de cada nación, produciéndose una constante carrera entre la potencia eléctrica instalada por las empresas productoras de electricidad y la potencia que demandan los usuarios, un desequilibrio desfavorable a la potencia producida ocasiona no-solo problemas técnicos, conduce también a problemas de índole social y político por lo que el suministro de energía eléctrica debe ser en la cantidad requerida por los usuarios, así como también debe cumplir con cualidades de calidad.

Dentro de este contexto se presenta la necesidad de suministrar energía eléctrica a los usuarios residenciales, comerciales e industriales a niveles cuantitativos y cualitativos satisfactorios, esto significa que se deben operar los sistemas eléctricos con un programa preciso de producción de la energía eléctrica, así como el transporte y distribución apropiados para mantener el control de los parámetros eléctricos que entran en juego ya sea en condiciones normales o en condiciones de falla.

1.2 SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA

Un sistema de energía eléctrica consiste en una gran diversidad de cargas eléctricas repartidas en una región, en las plantas generadoras para producir la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar esa energía de las plantas generadoras a los puntos de consumo y todo el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se realice con las características de continuidad del servicio, de regulación de la tensión y control de frecuencia requeridas.

1.2.1 CARACTERISTICAS DE LA CARGA DE UN SISTEMA

La carga global de un sistema está constituida por un gran número de cargas individuales de diferentes clases (industrial, comercial y residencial).

En general una carga absorbe potencia real y potencia reactiva; es el caso de un motor de inducción. Naturalmente, las cargas puramente resistivas (lámparas incandescentes, calefactores eléctricos) absorben únicamente potencia real.

La potencia suministrada en cada instante por un sistema es la suma de la potencia absorbida por las cargas más las pérdidas del sistema.

1.2.2 FUENTES DE ENERGIA ELECTRICA

La energía eléctrica suministrada por un sistema eléctrico procede principalmente de alguna de las siguientes fuentes:

Aprovechamiento de caídas de agua.

Combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón).

Fisión nuclear.

Otras fuentes que han tenido una utilización limitada hasta la fecha son la energía geotérmica y la energía producida por las mareas. También se han utilizado para generación de pequeñas cantidades de energía eléctrica en forma intermitente la fuerza del viento y la energía solar.

La localización de plantas generadoras, en el caso de las plantas hidroeléctricas, maremotrices y geotérmicas, está determinada por el lugar donde se dan las condiciones naturales para realizar una conversión económica de la energía eléctrica. En general este tipo de desarrollos queda localizado lejos de los centros de consumo y requiere un sistema de transmisión de alta tensión para el transporte de la energía eléctrica.

En lo que se refiere a las plantas termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles, resulta en general más económico transportar el combustible que la energía eléctrica, de manera que la tendencia en el pasado ha sido instalarlas cerca de los centros de consumo.

En las plantas nucleares el costo del transporte del material de fisión es despreciable, pero el gran tamaño de las unidades y la necesidad de agua de refrigeración hacen que no se instalen cerca de los centros de consumo.

1.2.3 SISTEMAS DE TRANSMISION Y DE DISTRIBUCION

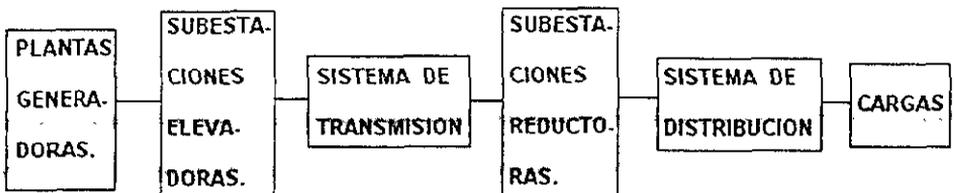
En general las plantas generadoras están alejadas de los centros de consumo y conectados a estos a través de una red de alta tensión.

La tensión se eleva a la salida de los generadores para realizar la transmisión de energía eléctrica en forma económica y se reduce en la proximidad de los centros de consumo para alimentar el sistema de distribución a una tensión adecuada. Esta alimentación puede hacerse directamente desde la red de transmisión, reduciendo la tensión en un solo paso al nivel de distribución o a través de un sistema de subtransmisión utilizando un nivel de tensión intermedio.

La elevación o reducción de la tensión y la interconexión de los distintos elementos del sistema se realiza en las subestaciones, que constituyen los nodos de la red, cuyas ramas están constituidas por las líneas. De acuerdo con la función que realizan las subestaciones pueden clasificarse en:

- Subestaciones elevadoras
- Subestaciones de interconexión
- Subestaciones reductoras o de distribución

Los sistemas de distribución pueden adoptar diversas disposiciones, ya sea que la distribución se haga con líneas aéreas o subterráneas y diferentes arreglos de la topología del sistema; radial, en anillo o en red. Esto depende en gran parte de la densidad de la carga en cierta área determinada y del tipo de carga.



REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

CAPITULO 2

SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

2.1 DEFINICION

Un sistema de distribución eléctrico es el conjunto de elementos encargados de suministrar la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. Siendo la función de la red de distribución el tomar de la fuente la energía eléctrica en bloque y distribuirla a los usuarios a los niveles de tensión normalizados y en las condiciones de seguridad exigidas por los reglamentos.

Aunque los sistemas de distribución han sido siempre parte esencial de cualquier proyecto de generación y venta de energía eléctrica, su diseño fue considerado por muchos años más un arte que una ciencia.

Es poco reciente, sobre todo en los países en desarrollo que se ha hecho palpable la necesidad de la aplicación de una cuidadosa tecnología eléctrica, destacándose la aplicación de computadoras analógicas o digitales a la solución de los problemas cada vez más complejos de la ingeniería de distribución.

2.2 CLASIFICACION

En función de su construcción estos se pueden clasificar en:

Sistemas aéreos.

Sistemas subterráneos.

Sistemas mixtos.

2.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

Líneas primarias.

Transformadores de distribución.

Líneas secundarias.

Acometidas y equipo de medición.

2.3.1 LINEAS PRIMARIAS

Son las encargadas de llevar la energía desde las subestaciones de potencia hasta los transformadores de distribución. Las líneas primarias se dividen en:

Troncal

Ramal

Troncal es el tramo de mayor capacidad del alimentador que transmite la energía desde la subestación de potencia hasta los ramales.

Ramal es la parte del alimentador primario energizado a través de un troncal, en el cual van conectados los transformadores de distribución y servicios particulares suministrados en mediana tensión.

Los alimentadores primarios normalmente se estructuran en forma radial; en un sistema de este tipo la forma geométrica del alimentador semeja a la de un árbol en el que el grueso de la energía se transmite a lo largo de un troncal derivándose a la carga a lo largo de los ramales.

Los troncales de las líneas primarias son trifásicos de tres hilos y los ramales pueden ser trifásicos o monofásicos. Las tensiones entre hilos varían según los sistemas de distribución de tensiones de 2.5 KV A 35 KV. Las tensiones más bajas corresponden a instalaciones antiguas; la tendencia moderna es utilizar tensiones de 15 KV o mayores. En México, la tendencia es a utilizar tensiones de 13.2 y 23 KV en alimentadores primarios.

2.3.2 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Los transformadores de distribución son los equipos encargados de cambiar la tensión primaria a un valor menor de tal manera que el usuario pueda utilizarla sin necesidad de equipos o instalaciones costosas y peligrosas. En sí el transformador de distribución es la liga entre la red primaria y la red secundaria.

La conexión del transformador trifásico con neutro flotante es una necesidad cuando el sistema primario es trifásico tres hilos. Al utilizar transformadores conectados en delta en el lado primario se disminuye el riesgo de introducir corrientes armónicas de orden impar (especialmente de tercer orden) a las líneas primarias y se incrementa el riesgo de tener sobretensiones por fenómenos de ferorrresonancia en el transformador. Por lo que se refiere a las conexiones en el lado secundario normalmente son estrella con neutro aterrizado y cuatro hilos de salida. Esto permite tener dos niveles de tensión para alimentar cargas de fuerza y alumbrado, detectar las corrientes de falla de fase a tierra, equilibrar las tensiones al neutro ante cargas desbalanceadas y como una medida de seguridad al interconectarse con el tanque del transformador.

2.3.3 LINEAS SECUNDARIAS

Las líneas secundarias distribuyen la energía desde los transformadores de distribución hasta las acometidas a los usuarios. Normalmente se utilizan sistemas trifásicos cuatro hilos.

2.3.4 ACOMETIDAS Y EQUIPO DE MEDICION

Las acometidas y el equipo de medición son las partes que ligan al sistema eléctrico de la empresa suministradora con las instalaciones del usuario.

Las acometidas se pueden proporcionar a la tensión primaria o a la tensión secundaria, esto depende de la magnitud de la carga del cliente. La medición se puede hacer igualmente en baja o en alta tensión dependiendo del tipo de acometida.

2.4 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION AEREA

Conductores

Aisladores

Postes y herrajes

Transformadores de distribución

Cuchillas de navaja

Interruptores operados en aire

2.4.1 CONDUCTORES

En los primeros tiempos de la transmisión de potencia eléctrica, los conductores eran generalmente de cobre, pero los conductores de aluminio están reemplazando a los de cobre debido al menor costo y al peso ligero de un conductor de aluminio comparado con uno de la misma resistencia.

Generalmente en las líneas troncales de distribución se utiliza cable de aluminio desnudo (ALD-336 y 556 mcm) figura 2.1. En los ramales se utiliza cable de aluminio con alma de acero (ACSR-1/0 y 2) figura 2.2.

2.4.2 AISLADORES

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 (figura 2.3). Los principales tipos de aisladores que se utilizan son:

Aislador de soporte.

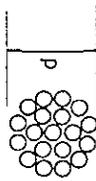
Aislador de tensión.

Aislador de paso.

FIG. 2.1

7 hilos

19 hilos

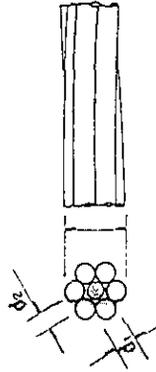


NOMBRE	HILOS	DIAMETRO d m.m.	CORRIENTE NORMAL DE TRABAJO Amp.
CABLE A1d 4	7	5.86	120
CABLE A1d 2	7	7.42	160
CABLE A1d 1/0	7	9.56	220
CABLE A1d 2/0	7	10.50	240
CABLE A1d 3/0	7	11.80	290
CABLE A1d 4/0	7	13.25	330
CABLE A1d 266	19	15.06	420
CABLE A1d 336	19	16.90	470
CABLE A1d 556	19	21.74	580

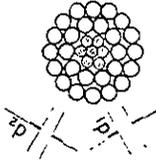
CABLES A1d
(Aluminio Desnudo)

FIG. 2.2

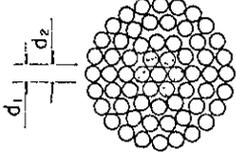
6/1 hilos



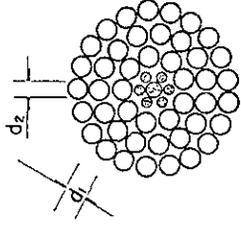
26/7 hilos



54/7 hilos



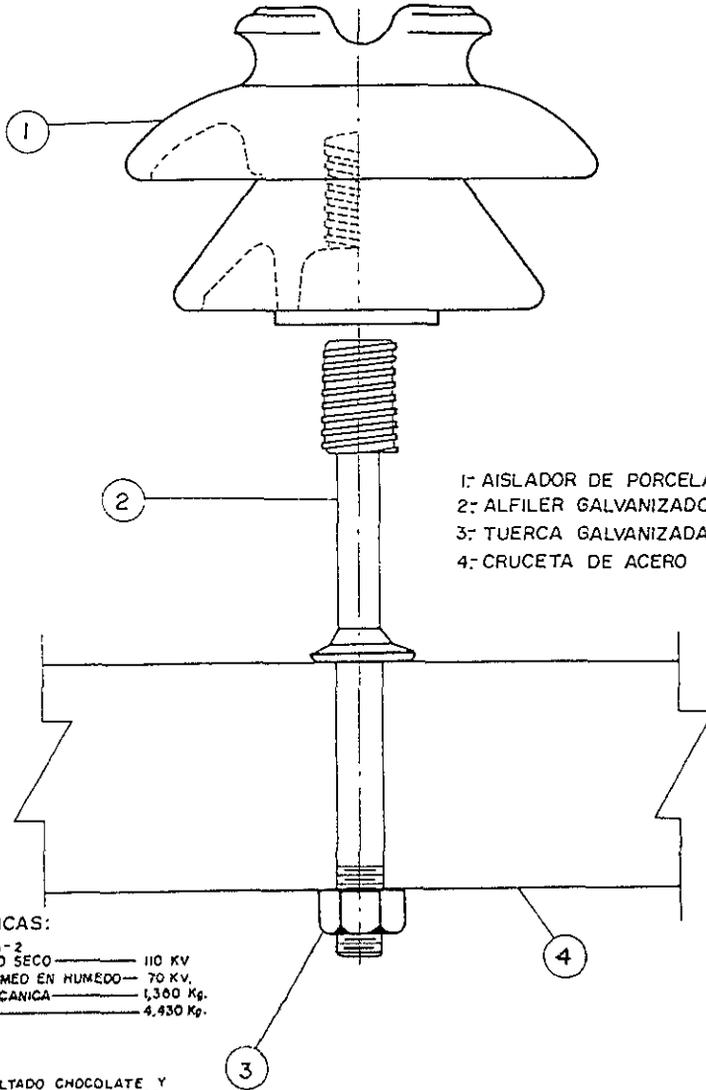
45/7 hilos



CABLES ACSR

NOMBRE	Nº. de HILOS		CORRIENTE NORMAL DE TRABAJO Amp.
	AI	ACERO	
CABLE ACSR 6	6	1	55
CABLE ACSR 6	6	1	73
CABLE ACSR 4	6	1	120
CABLE ACSR 2	6	1	160
CABLE ACSR 170	6	1	220
CABLE ACSR 270	6	1	240
CABLE ACSR 370	6	1	290
CABLE ACSR 470	6	1	310
CABLE ACSR 350	26	7	470
CABLE ACSR 556	26	7	630

FIG. 2.3



- 1- AISLADOR DE PORCELANA
- 2- ALFILER GALVANIZADO
- 3- TUERCA GALVANIZADA
- 4- CRUCETA DE ACERO

CARACTERISTICAS:

CLASE NEMA 30-2	—————	110 KV
VOLTAJE FLAMEO SECO	—————	70 KV.
VOLTAJE DE FLAMEO EN HUMEDO	—————	1,300 Kg.
RESISTENCIA MECANICA	—————	4,930 Kg.
PESO	—————	

MATERIAL:

PORCELANA
ACABADO ESMALTADO CHOCOLATE Y
METALIZADO EN LA PARTE SUPERIOR

USO:

FIJADO A ALFILER SOPORTA Y AISLA
LINEAS DE 23 KV.

AISLADOR DE PÁSO

2.4.3 POSTES Y HERRAJES

La función principal de los postes es la de soportar a los conductores y al equipo instalado en el sistema de distribución como transformadores, interruptores en aire, cuchillas, restauradores, seccionadores, etc. los herrajes se ocupan para fijar al poste lo que soportan.

2.4.4. TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Un transformador es una máquina electromagnética cuya función principal es reducir la tensión al valor de utilización por los clientes. Los transformadores empleados en las redes aéreas son del tipo poste con enfriamiento tipo OA, las capacidades comúnmente utilizadas son de 75 y 112.5 KVA (figura 2.4).

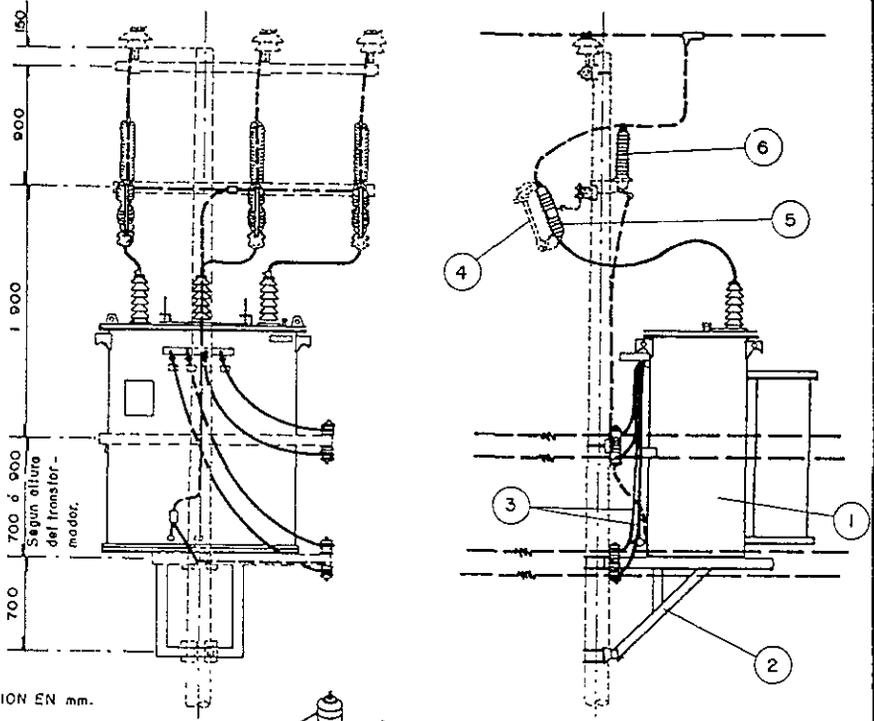
2.4.5 CUCHILLAS DE NAVAJA

Son dispositivos que sirven para abrir o cerrar partes de un circuito eléctrico, para efectuar maniobras de operación o bien para dar mantenimiento. Las cuchillas pueden abrir circuitos bajo la tensión nominal pero nunca cuando esté fluyendo corriente a través de ellas. La cuchilla está formada por una cuchilla o parte móvil y la parte fija, que es una mordaza que recibe y presiona la parte móvil.

2.4.6 INTERRUPTORES OPERADOS EN AIRE

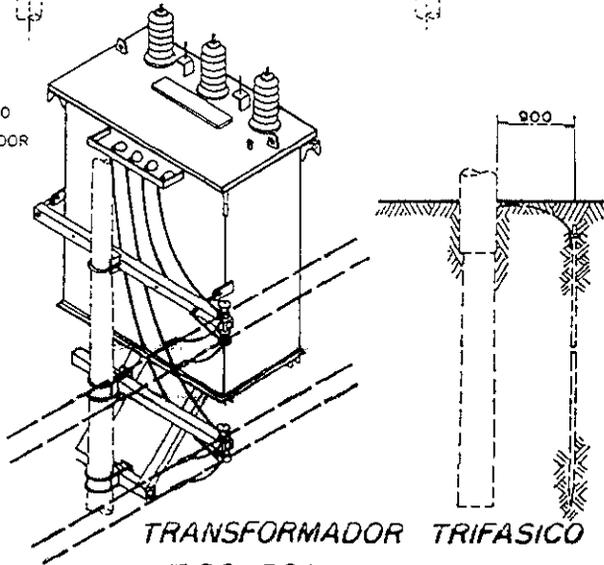
Se usan para conmutar y seccionar corrientes de carga en sistemas de distribución aérea en los circuitos eléctricos de alta tensión, no produciéndose arco externo al efectuar las operaciones de apertura o cierre, ya que éste se confina en el interior de una cámara interruptiva (figura 2.5).

FIG. 2.4



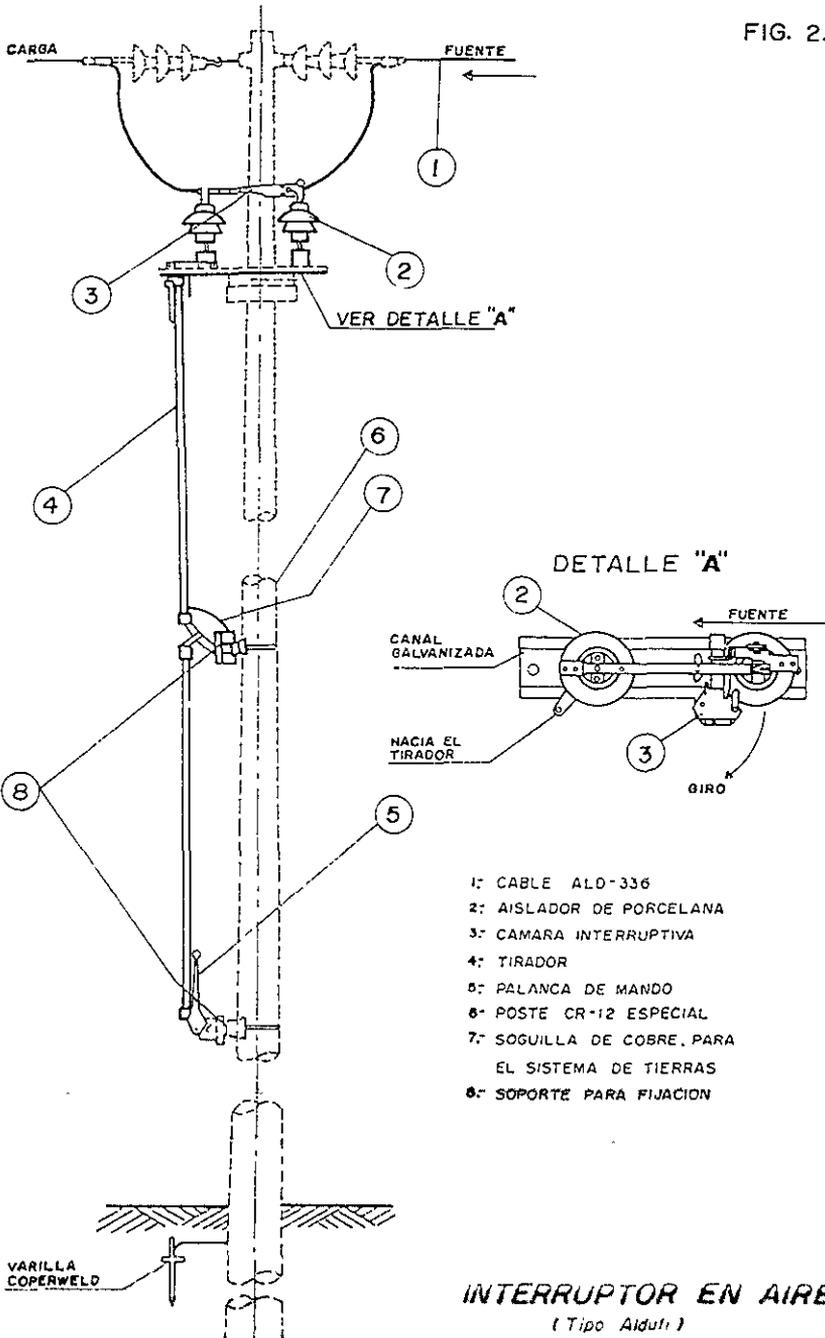
ACOTACION EN mm.

- 1- TRANSFORMADOR TRIFASICO
- 2- PLATAFORMA TRANSFORMADOR
- 3- CABLE GUIA
- 4- FUSIBLE
- 5- CORTA CIRCUITO
- 6- PARARRAYO



TRANSFORMADOR TRIFASICO
TIPO POSTE 23-BT

FIG. 2.5



CAPITULO 3

GENERALIDADES DE LA PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION

3.1 ANTECEDENTES

Durante la operación, las redes de distribución aéreas están sujetas a una serie de eventos que modifican sus características en el sistema (contingencias) y que pueden variar los requerimientos establecidos en cuanto a confiabilidad o seguridad en el suministro de la potencia eléctrica se tengan establecidos. Estas contingencias pueden ser de orígenes diversos, algunos propios de la red y otros ajenos en su totalidad al aspecto técnico del diseño o de la operación.

En el diseño de un sistema eléctrico de distribución se deben considerar básicamente tres aspectos: El primero y que resulta ser el más común es su operación normal, lo que significa que no debe haber interrupción en el servicio y no debe existir cortocircuito o circuitos abiertos en el sistema, el segundo aspecto se refiere a la prevención de fallas, es decir los sistemas deben diseñarse para que técnica y económicamente se obtenga una solución óptima **entre economía y confiabilidad para la prevención de fallas**, el tercer aspecto es la reducción de los efectos de la fallas cuando estas se presentan a pesar de las prevenciones, en este caso de deben considerar los elementos de protección adecuados para minimizar el número de circuitos que salgan de servicio en caso de falla, procurando afectar al menor número de usuarios.

Un detalle aparentemente pequeño pero de gran importancia es el hecho de que la amenaza más grande al suministro de energía la constituye la falla de cortocircuito, pues su incidencia implica un cambio violento en la operación del sistema debido a que la energía que previamente se estuviese entregando a la carga, se ira ahora hacia la falla (figura 3.1).

Esta liberación incontrolada de energía puede ser destructiva, causando fuego y daños estructurales no-solo en el lugar original de la falla, sino también en otros puntos del sistema por los que circule energía hacia la falla. Sin embargo, el aislamiento del daño por los equipos desconectores más cercanos a él, limitará el daño en el punto de falla e impedirá que la misma y sus efectos se propaguen al resto del sistema; y es precisamente el equipo de protección quien tendrá la decisión de iniciar la apertura del equipo desconector primario.

3.2 TIPOS Y CAUSA DE FALLA

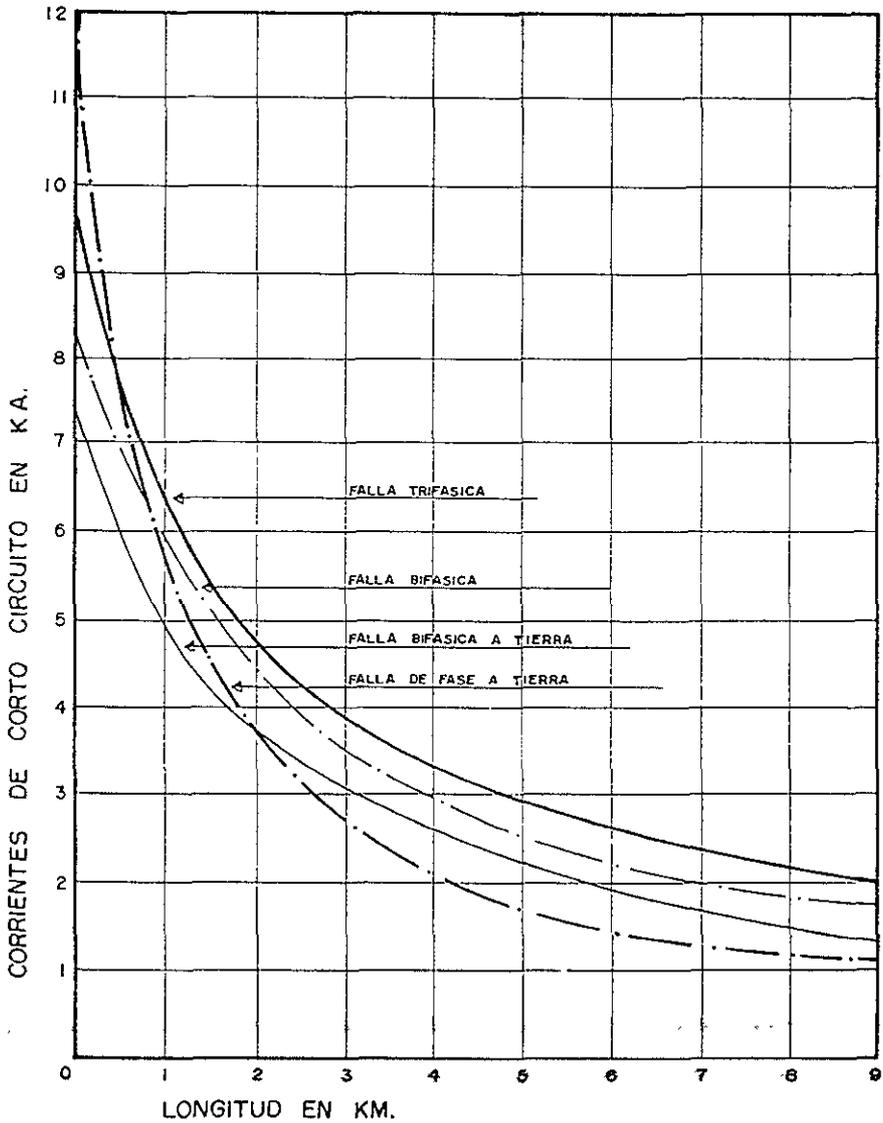
Las fallas en los sistemas de distribución, se pueden clasificar por su duración en dos grandes grupos que son:

Fallas transitorias o instantáneas.

Fallas permanentes.

En el sistema aéreo, las fallas transitorias (consideradas menores a cinco minutos) se presentan en un rango de 80 a 95% y están relacionadas de algún modo con las condiciones climatológicas existentes, pudiendo ser en algunos casos autoeliminadas o ser eliminadas mediante dispositivos de interrupción instantánea (interruptor, equipo de recierre automático, etc.) generalmente en 1, 2 ó 3 intentos y en un tiempo menor a 45 segundos; siendo las causas más comunes las siguientes:

FIG. 3.1



CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

Contacto instantáneo entre conductores desnudos, debido generalmente a la acción de vientos fuertes ó huracanados.

Contacto de objetos extraños sobre las líneas; que pueden ser: ramas de árbol, alambres, anuncios, aves que disminuyan la distancia de aislamiento, etc.

Descargas atmosféricas.

Falsos contactos.

Arqueos por contaminación ambiental.

Sobrecorrientes instantáneas.

Flameo de aisladores.

Se ha demostrado de acuerdo a estadísticas, que en el primer recierre se eliminan hasta el 88% de las fallas, en el segundo hasta un 5% y en el último un 2% adicional. A su vez las fallas permanentes se presentan en un 5% y son aquellas que persisten sin importar con que rapidez se abra el circuito, siendo las más comunes las siguientes:

Contacto sólido entre conductores ó de conductor(es) a tierra (corto circuito) 3 fases, 2 fases, 1 fase.

Vandalismo (daño a equipo).

Fraude.

Degradación de aislamiento.

Falla de equipo.

Sobrecarga permanente.

3.3 FILOSOFIA DE LA PROTECCION

Debido a la diversidad de las causas de falla que afectan a un sistema de distribución, no se puede prescindir de una adecuada protección. De donde la aplicación y la coordinación selectiva de equipos de protección, requiere conocer la magnitud de la sobrecorriente en los puntos donde se aplican, dependiendo del tipo de falla que se presente y la naturaleza de la carga. Por tal motivo la protección contra sobrecorriente presenta aspectos de: confiabilidad, sensibilidad, selectividad y rapidez.

Confiabilidad: un sistema confiable consiste de dos elementos, calidad en funcionamiento y seguridad. El primero indica ciertamente que siempre será correcta la operación en respuesta a las fallas, mientras que la segunda es la habilidad para no emitir falsas operaciones.

Sensibilidad: el equipo de protección debe ser lo suficientemente capaz para detectar las fallas, dependiendo de su ubicación en el sistema.

Selectividad: se obtiene cuando el equipo está coordinado adecuadamente, con el objeto de que solo opere el equipo de protección más cercano a la falla, quedando el inmediato anterior como dispositivo de respaldo.

Rapidez: al desconectar oportunamente el circuito, antes de que la sobrecorriente alcance una magnitud tan elevada que dañe o destruya al equipo.

Con lo anterior, se logra la función de la protección que es:

Aislar las fallas del resto del circuito.

Reducir el número de fallas permanentes.

Incrementar la continuidad del servicio.

Reducir el tiempo para localizar las fallas.

Previene daños al equipo.

Reducir la probabilidad de falla destructiva.

Reducir al máximo las situaciones peligrosas para el público en general.

CAPITULO 4

DISPOSITIVOS DE PROTECCION PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION UBICADOS EN LA SUBESTACION

4.1 TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTO

Son dispositivos electromagnéticos cuya función principal es reducir a escala, las magnitudes de tensión y corriente que se utilizan para la protección y medición de los diferentes circuitos de una subestación, o sistema eléctrico en general.

Los aparatos de medición y protección que se montan sobre los tableros de una subestación no están contruidos para soportar ni grandes tensiones, ni grandes corrientes.

Con el objeto de disminuir el costo y los peligros de las altas tensiones dentro de los tableros de control y protección, se dispone de los aparatos llamados transformadores de corriente y potencial que representan, a escalas muy reducidas, las grandes magnitudes de corriente o de tensión respectivamente. Normalmente estos transformadores se construyen con sus secundarios, para corrientes de 5 amperes o tensiones de 120 volts.

4.1.1 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Son aparatos en que la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición o de protección que se requiere energizar.

Estos transformadores se fabrican para servicio interior o exterior, con aislamiento de resinas sintéticas para tensiones bajas o medias, mientras que para altas tensiones se utilizan aislamientos de papel, aceite y porcelana.

4.1.2 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario del transformador se conecta en serie con el circuito por controlar y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados.

Un transformador de corriente puede tener uno o varios secundarios, embobinados a su vez sobre uno o varios circuitos magnéticos. Si el aparato tiene varios circuitos magnéticos, se comporta como si fueran varios transformadores diferentes. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieren mayor precisión, y los demás se pueden utilizar para protección.

Los transformadores de corriente se pueden fabricar para servicio interior o exterior. Los de servicio interior son más económicos y se fabrican para tensiones de servicio de hasta 25KV, y con aislamiento en resina sintética. Los de servicio exterior y para tensiones medias se fabrican con aislamiento de porcelana y aceite, aunque ya se utilizan aislamientos basándose en resinas que soportan las condiciones climatológicas. Para altas tensiones se continúan utilizando aislamientos a partir de papel y aceite dentro de un recipiente metálico, con boquillas de porcelana.

La tensión de aislamiento de un transformador de corriente debe ser, cuando menos, igual a la tensión más elevada del sistema al que va a estar conectado.

Para el caso de transformadores utilizados en protecciones con relevadores estáticos se requieren núcleos que provoquen menos saturaciones que en el caso de los relevadores de tipo electromagnético, ya que la velocidad de respuesta de las protecciones electrónicas es mayor.

Los transformadores de corriente pueden ser de medición, protección o mixtos.

Transformador de medición. Los transformadores cuya función es medir, requiere reproducir fielmente la magnitud y el ángulo de fase de la corriente. Su precisión debe garantizarse desde una pequeña fracción de corriente nominal del orden del 10%, hasta un exceso de corriente del orden del 20%, del valor nominal.

Transformadores de protección. Los transformadores cuya función es proteger a un circuito, requieren conservar su fidelidad hasta un valor de veinte veces la magnitud de la corriente nominal.

En el caso de los relevadores de sobrecorriente, sólo importa la relación de transformación, pero en otro tipo de relevadores, como pueden ser los de impedancia, se requiere además de la relación de transformación, mantener el error de ángulo de fase dentro de los valores predeterminados.

Transformadores mixtos. En este caso, los transformadores se diseñan para una combinación de los dos casos anteriores, un circuito con el núcleo de alta precisión para los circuitos de medición y uno ó dos circuitos más, con sus núcleos adecuados para los circuitos de protección.

4.2 RELEVADORES

Son dispositivos electromagnéticos o electrónicos que protegen los equipos de una instalación eléctrica de los efectos destructivos de una falla, y reducen sus efectos y daños.

Al decir “que protegen” se hace referencia a que al actuar en combinación con otros equipos, se encargan de reducir el daño, debido a la rápida desconexión del equipo que ha fallado.

Los relevadores son dispositivos que envían a los interruptores considerados una señal de apertura, y se dice que funcionan cuando al energizarse su bobina de disparo cierran sus contactos, disparando los interruptores.

Los relevadores se pueden dividir en tres grupos:

Atracción electromagnética

Inducción electromagnética

Estado sólido

Cualquiera de ellos operan mediante las señales recibidas, que pueden ser:

Tensión. Derivada de transformadores de potencial

Corriente. Derivada de transformadores de corriente

Mixtos. Reciben ambas señales simultáneamente

4.2.1 ATRACCION ELECTROMAGNETICA

Estos relevadores están formados por una bobina con un núcleo magnético que en uno de sus extremos tiene el contacto móvil que, al desplazarse junto con el núcleo, cierra el circuito de disparo a través de un contacto fijo. Estos relevadores son de dos tipos: de bisagra y de tipo núcleo ó émbolo (ver figura 4.1 a y b).

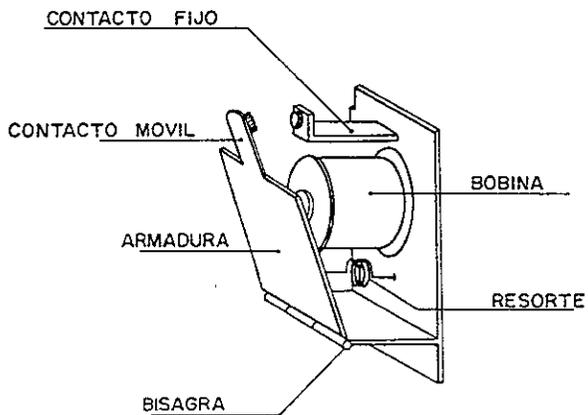


FIG. 4.1 (a) RELEVADOR TIPO BISAGRA

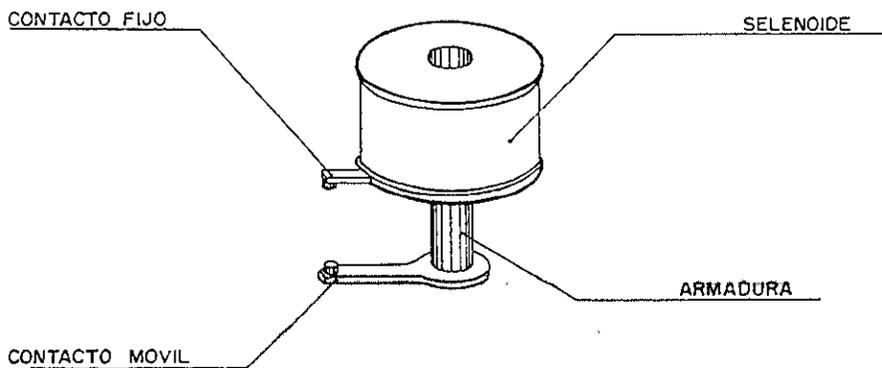


FIG. 4.1 (b) RELEVADOR TIPO EMBOLO

Dicho de otra manera, son relevadores que operan por atracción magnética mediante un solenoide en el tipo émbolo, o mediante una armadura magnética embisagrada en el tipo bisagra.

Estos relevadores suelen tener derivaciones en la bobina de operación para permitir el ajuste de la corriente mínima de operación (pick-up), que es el valor preciso de corriente a partir del cual el relevador empieza a moverse.

4.2.2 INDUCCION ELECTROMAGNETICA

Utilizan el principio del motor de inducción. Son motores de inducción en que el estator tiene bobinas de corriente o de corriente y potencial, y los flujos creados por las corrientes de las bobinas inducen corrientes en el disco, como se muestra en la figura 4.2.

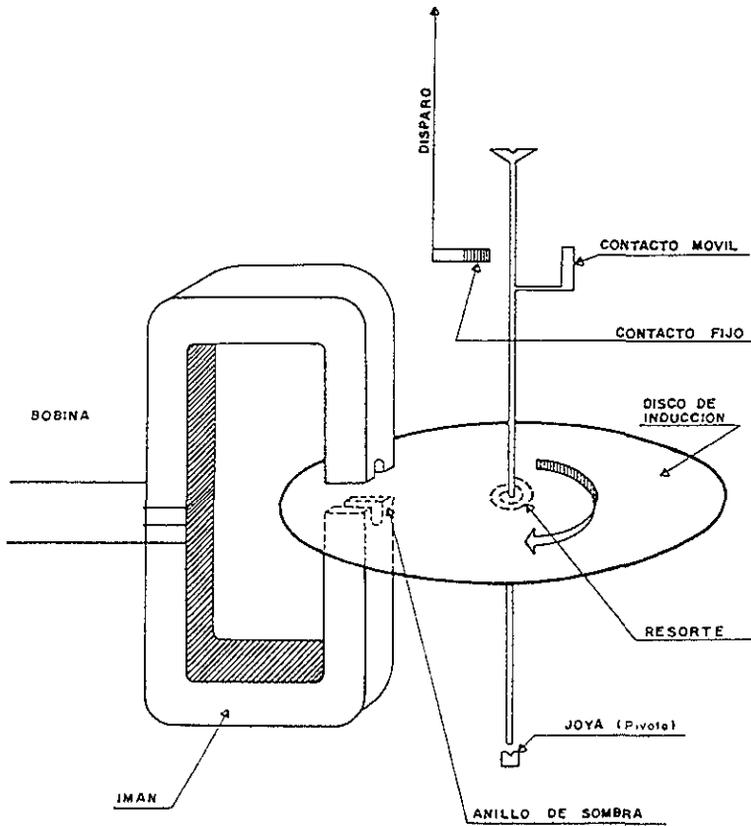
La interacción entre el estator y el rotor crean un par que hace girar el rotor, en oposición a un resorte en espiral, y cierra los contactos del circuito de disparo. Estos relevadores operan sólo con corriente alterna, por lo tanto no les afecta la componente de corriente directa del cortocircuito asimétrico.

El rotor, que es el elemento que lleva el contacto móvil, trabaja contra un resorte de restricción calibrado que regresa el disco al cesar la fuerza del par.

4.2.3 ESTADO SOLIDO

Es un relevador formado por unidades lógicas de estado sólido, que son componentes de baja corriente que trabajan con señales de voltaje de corriente directa. La unidad lógica solo tiene dos estados cero y uno, y generalmente trabaja con una tensión de operación de 20 volts.

FIG. 4.2



RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE

(Tipo Induccion)

Estos relevadores en relación con los electromagnéticos equivalentes son; más pequeños, más rápidos, tienen menor carga, la mayor parte de esta carga se debe a la fuente de poder. El relevador de estado sólido, en su forma general, está formado por tres partes, que son las siguientes:

Fuente de tensión de corriente directa, con regulador, que hace autosuficiente la alimentación de energía.

Rectificador de onda completa o fuente de la señal de disparo, que suministra una corriente de aproximadamente 0.001 del valor de la corriente secundaria del transformador de corriente.

Bobina que actúa sobre el contacto de disparo instantáneo, y de la bandera de advertencia.

Estos relevadores, con ajustes bajos en la corriente de operación, en que la carga es de mayor peso, producen menor saturación en los transformadores de corriente que el relevador convencional, mientras que para ajustes altos en las corrientes de operación, en que la carga es de poco peso, la carga del relevador estático excede la del relevador convencional equivalente.

Los relevadores estáticos están diseñados también con las tres curvas básicas de corriente-tiempo, o sea curvas de tiempo inverso, muy inverso y extremadamente inverso, que se acostumbra en los convencionales. Son más resistentes a los impactos y sacudidas. La menor carga provoca que los transformadores de potencial y de corriente sean más baratos. Son de mayor precisión, debido a la mayor resolución en sus derivaciones. Como tienen menor sobrecarrera, debido a que no tienen la masa del disco, los márgenes de coordinación pueden ser menores, y el tiempo de libramiento de una falla se reduce. Tienen poca inercia debido a un mínimo de partes móviles. El tiempo entre operaciones de mantenimiento excede el ya de por sí largo tiempo de los relevadores electromagnéticos. El costo es mayor que el de los convencionales, por eso, su uso depende del análisis técnico y económico más adecuado.

4.2.4 TIEMPOS DE OPERACIÓN DE RELEVADORES

Desde el punto de vista de la rapidez de operación, los relevadores se pueden agrupar en los siguientes tipos:

Tipo instantáneo. Se considera dentro de este tipo a los relevadores que operan en tiempos menores de 0.1 segundo.

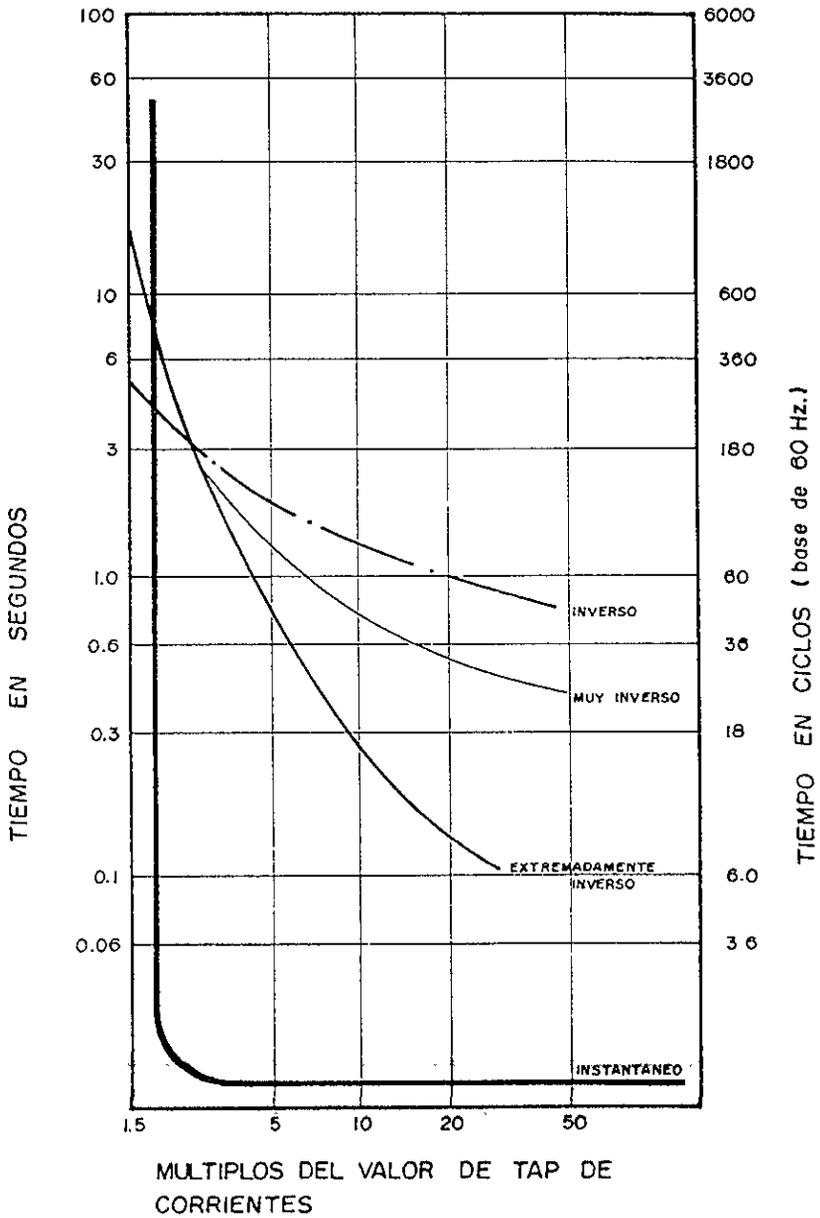
Tipo de alta velocidad. Son los que operan en menos de 0.05 segundos.

Tipo con retraso en el tiempo. Cuando se desea obtener mayor retardo de tiempo al cerrar los contactos para propósitos de coordinación con otros relevadores de protección, se usa la construcción del tipo de disco de inducción. El tiempo de cierre de los contactos varía inversamente a la corriente. Tales características se representan gráficamente por una familia de curvas corriente-tiempo para variaciones múltiples de corriente de iniciación de operación (corriente de pick up). Son tres los modelos más comúnmente usados para las características de corriente tiempo, las cuales difieren en la relación en donde el tiempo de operación del relevador disminuye cuando la corriente aumenta. Estos modelos de curvas, se muestran en la figura 4.3 y son conocidas como inversa, muy inversa y extremadamente inversa.

Característica de tiempo inverso. Se usan en sistemas con amplias variaciones en las corrientes de corto circuito, o sea en sistemas donde hay variaciones en el número de fuentes de alimentación. La curva tiempo-corriente es relativamente lineal, lo que se traduce en una operación relativamente rápida, ya sea con una o varias fuentes de alimentación simultáneas. Se utilizan donde el valor de la corriente de cortocircuito depende principalmente de la capacidad de generación del sistema.

Característica muy inversa. Tienen una curva con pendiente muy pronunciada, lo cual los hace lentos para corrientes bajas y rápidos para corrientes altas.

FIG. 4.3



CURVAS DE RELEVADORES

Se utilizan donde el valor de la corriente de cortocircuito depende de la posición relativa al lugar de la falla y no de la cercanía al sistema de generación.

Característica extremadamente inversa. Tienen una curva con una pendiente aún más pronunciada que las anteriores. Se utilizan en circuitos de distribución primaria, que permiten altas corrientes iniciales producidas por los recierres, y no obstante ello, suministran una operación rápida cuando se necesita la operación por corto circuito.

4.2.5 RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

Para los sistemas de distribución se utilizan preferentemente relevadores electromecánicos con unidad de sobrecorriente de tiempo (disco de inducción), junto con una unidad instantánea, la cual se ajusta para valores más elevados, respecto a los que reconoce la unidad que opera con retraso de tiempo. La unidad instantánea está diseñada para responder ante altas corrientes de corto circuito, mientras que la unidad con retardo de tiempo responde preferentemente a sobrecorrientes por sobrecarga y ante bajas corrientes de cortocircuito.

Es importante destacar tres tiempos en la operación de los relevadores.

- 1° Para la unidad con retardo de tiempo; El tiempo de disparo.
- 2° Para la unidad instantánea; Un tiempo de disparo menor al anterior, debido a muy altas corrientes de corto circuito.
- 3° Para la unidad con retardo de tiempo; El tiempo de restablecimiento (reset), que es el tiempo que transcurre hasta que el contacto móvil **regresa a su posición normal u original.**

Los relevadores de sobrecorriente en la subestación, pueden identificarse mediante el código de número NEMA (con referencia a las normas NEMA, National Electrical Manufacturers Association).

50-1 y 50-2

Relevadores de sobrecorriente entre fases, cuya respuesta es instantánea ante magnitudes de corriente elevada.

51-1 y 51-2

Relevadores de sobrecorriente entre fases (ajuste de tiempo) para sensar corrientes (cuyo valor se atenúa por la impedancia de la línea) hacia el punto más alejado de la subestación o bien para detectar sobrecargas.

50-N

Relevador de sobrecorriente a tierra (instantánea).

51-N

Relevador de sobrecorriente a tierra (unidad de tiempo) para detectar cortocircuito a tierra, desbalanceo de carga, discontinuidad de una o dos fases, proporcionar respaldo a los relevadores para falla entre fases por la ubicación residual que guarda respecto a ellos; detección de fallas a tierra a través de una impedancia.

4.2.6 RECIERRE AUTOMATICO EN ALIMENTADORES AEREOS

El recierre es un proceso que se inicia al ocurrir una falla en un alimentador de distribución, que hace operar la protección correspondiente abriendo el interruptor, el cual a continuación recibe una orden de cerrar, a través del relevador de recierre (NEMA 79) correspondiente.

En los circuitos aéreos la mayor parte de fallas son transitorias, por lo que se pueden eliminar, sin ocasionar daño permanente en la instalación, desconectando el circuito y volviendo a conectarlo después de un tiempo determinado, suficiente para permitir la desionización del aire en el lugar donde ocurrió el arco eléctrico. En estos casos se acostumbra usar relevadores de recierre que pueden realizar hasta tres operaciones, siendo:

NOMENCLATURA DE RELEVADORES

A continuación de muestran en la tabla, en forma progresiva los números de norma NEMA (ANSI) para designar, en forma convencional los relevadores más utilizados en subestaciones y líneas alimentadoras.

NUMERO RELEVADOR	FUNCION DEL RELEVADOR
01	Elemento maestro, dispositivo iniciación.
21	Relevador de distancia.
25	Dispositivo de sincronización.
27	Relevador de bajo voltaje.
30	Relevador indicador
32	Relevador direccional de potencia.
47	Relevador de secuencia de fases.
50	Relevador instantáneo de sobrecorriente.
51	Relevador de sobrecorriente de tiempo.
52	Interruptor de corriente alterna.
59	Relevador de sobrevoltajes.
63	Relevador de presión.
67	Relevador direccional de sobrecorriente.
79	Relevador de recierre C.A.
81	Relevador de frecuencia.
85	Relevador receptor para onda portadora.
86	Relevador de bloqueo definitivo.
87	Relevador de protección diferencial.
91	Relevador direccional de voltaje.

- 1° Cierre instantáneo, con apertura de nuevo si persiste la falla (c/a).
- 2° Quince segundos para un nuevo cierre y apertura (c/a).
- 3° Treinta segundos para un tercer cierre y apertura definitiva (c/a).

En caso de no tener éxito, queda bloqueado hasta que intervenga el personal de mantenimiento y despeje físicamente la falla.

4.3 INTERRUPTORES ELECTRICOS DE POTENCIA

El interruptor eléctrico de potencia es un aparato destinado a establecer o cortar la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga. Tiene por objeto insertar o retirar de un sistema eléctrico, máquinas, aparatos, líneas aéreas y subterráneas así como interrumpir un circuito cuando se produce una sobrecorriente.

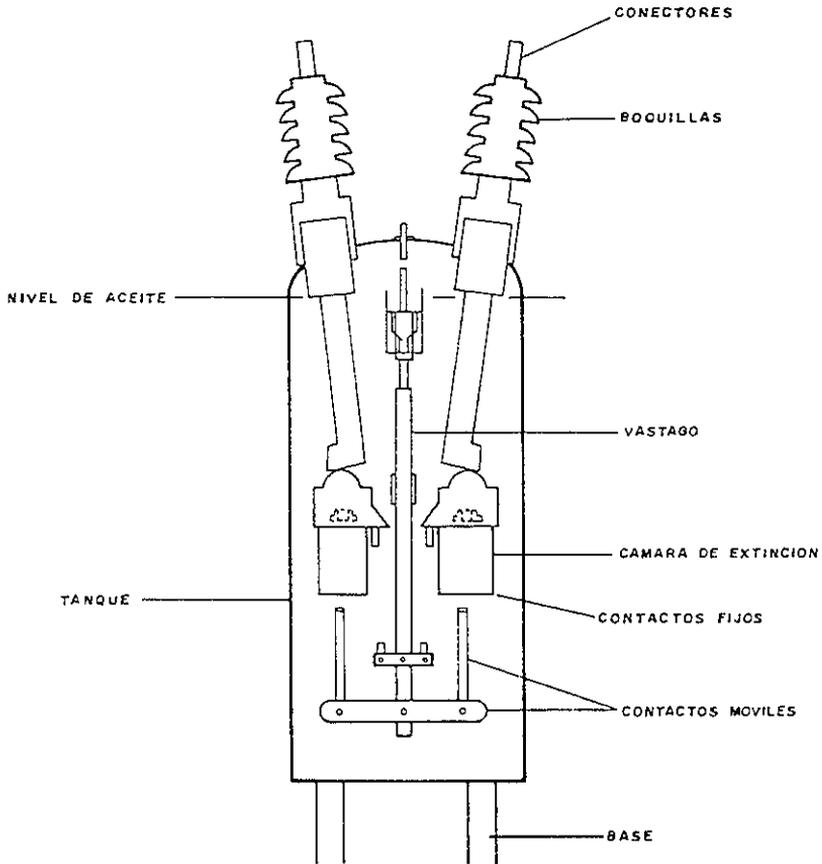
El equipo de protección está ayudado en la tarea de aislar el elemento defectuoso, por interruptores que son capaces de desconectar cuando el equipo de protección se los manda. Por lo que la función principal de un interruptor es la de separar de la red a la porción de ésta que contiene una falla, siendo sometido a la exigencia de la corriente de cortocircuito y después de la interrupción a la tensión de restablecimiento (figura 4.4).

4.3.1 CARACTERISTICAS

Las características principales de éstos interruptores son las siguientes: corriente nominal, capacidad interruptiva, capacidad de tiempo corto, voltaje normal o de operación y ciclo de operación.

Corriente nominal. Es la magnitud de la corriente que el interruptor puede conducir durante tiempo indefinido sin que el calentamiento de los contactos o aceite exceda a la temperatura de operación que normalmente se considera de 30°.

FIG. 4.4



INTERRUPTOR DE PEQUEÑO
VOLUMEN DE ACEITE

Capacidad interruptiva. Se designa en amperes o en KVA (kilovolts-amperes). La capacidad en amperes, es la capacidad que tiene el interruptor de cortar una corriente de cortocircuito en cierto número de veces a intervalos predeterminados, sin que los contactos del interruptor se destruyan o dañen. La capacidad en KVA es la potencia que el interruptor puede interrumpir bajo condiciones de cortocircuito. Esta potencia se determina por la corriente de cortocircuito y el voltaje de operación.

Capacidad de tiempo corto. Es la capacidad que tiene el interruptor de conducir durante un tiempo breve una corriente, sin que los contactos se deterioren.

Voltaje normal o de operación. Es el voltaje con el cual el interruptor opera en condiciones normales.

Ciclo de operación. Consiste en una serie de operaciones de apertura o de cierre en forma sucesiva y en tiempos determinados.

4.3.2 PROCESO DE INTERRUPCION

En el instante de interrumpir el paso de una corriente por un interruptor, se forma un arco entre sus contactos cuando éstos se separan; la extinción de este arco tiene que hacerse en un tiempo breve. Desde que el relevador cierra los contactos y determina la intervención del interruptor, transcurre (en los interruptores modernos) un tiempo comprendido entre 2.5 a 4 ciclos, mientras que en los normales, dicho tiempo se eleva a 8 ciclos.

Cuando se interrumpe la corriente debido a una falla en un circuito inductivo, la tensión y la corriente de cortocircuito presentan un desplazamiento cerca de 90°, y ello es causa de que la corriente y la tensión no se anulen al mismo tiempo. Esto es desfavorable para la extinción del arco, porque el paso por cero de la corriente, la tensión subsiste.

Otro aspecto que se presenta en la interrupción de la corriente, es que se origina una sobretensión dependiendo el valor de ésta, de la corriente, de la inductancia y de la capacitancia del circuito.

4.3.3 MEDIOS DE INTERRUPCION

Los medios más usuales para interrumpir el arco en los interruptores eléctricos son: aceite, soplo neumático, hexafloruro de azufre (SF6) y vacío.

Interrupción en aceite. En este tipo de extinción el arco producido calienta el aceite dando lugar a una formación de gas muy intensa, que aprovechando el diseño de la cámara empuja un chorro de aceite a través del arco, provocando su alargamiento y enfriamiento hasta llegar a la extinción del mismo. El tiempo de extinción del arco es del orden de 6 ciclos.

Interrupción por soplo neumático. Un chorro violento de aire comprimido, generado en un compresor, penetra en la cámara de contactos donde se produce el arco envolviendo así la masa gaseosa que la forma. Se provoca de este modo la extinción del arco en un tiempo corto, del orden de 3 ciclos.

Interrupción en hexafloruro de azufre (SF6). El hexafloruro de azufre gaseoso es incoloro, inodoro, no tóxico y no flamable. Es uno de los compuestos químicos más estables y también uno de los gases más pesados; a 20° C y presión atmosférica, su densidad se convierte en cinco veces más a la del aire. A la temperatura de 2000° K conserva todavía alta conductividad térmica, que ayuda a enfriar el plasma creado por el arco eléctrico y al pasar por **cero la onda de corriente, facilita la extinción del arco.**

Interrupción en vacío. Los contactos están dentro de botellas especiales en las que se ha hecho el vacío casi absoluto. Al abrir los contactos dentro de la cámara de vacío, no se produce ionización y, por tanto, no es necesario el soplado del arco ya que éste se extingue prácticamente al paso por cero después del primer ciclo.

4.3.4 MECANISMO DE OPERACION

El mecanismo de operación es el elemento que almacena y transmite la energía al elemento móvil del interruptor el cual abre o cierra sus contactos; en la actualidad los tipos de mecanismos más utilizados son:

Hidroneumático (eléctrico-hidráulico). Utiliza la energía almacenada de un gas comprimido (nitrógeno) siendo comprimido hidráulicamente dentro de un acumulador a una presión aproximada de 300 kg/cm². Una bomba de aceite de operación eléctrica controlada por un conmutador de presión, mantiene la presión en el acumulador. La energía del acumulador es aplicada a través de válvulas servo-operadas al sistema de contactos móviles, como respuesta a los comandos de las bobinas de cierre y apertura del interruptor.

Mecanismo neumático. Utiliza la energía del aire comprimido que almacena en recipientes, los cuales cuentan con el volumen necesario para efectuar las operaciones exigidas al interruptor al igual que el mecanismo hidráulico, la presión es mantenida a través de un conmutador de presión que controla un motor compresor de operación eléctrica.

Mecanismo de energía almacenada. Se utilizan resortes que son tensados o cargados por un motor operado eléctricamente, normalmente los resortes para cierre son cargados por motor y estos durante la operación de cierre transmiten la energía al interruptor y al mismo tiempo son cargados los resortes de disparo. Al finalizar la operación de cierre, el resorte de cierre es automáticamente recargado por el motor. Este mecanismo es el más empleado para los interruptores usados en los sistemas de distribución.

4.4 PROTECCION DE SOBRECORRIENTE

En su forma más sencilla, una protección eléctrica opera en la forma mostrada en la figura 4.5 (a), donde:

TC = Transformador de corriente.

B = Bobina de operación del relevador.

C = Contacto de disparo del relevador.

Bd = Bobina de disparo del interruptor de potencia.

El relevador recibe en su bobina de operación B, la señal de corriente del secundario de protección del transformador de corriente. Esta bobina cierra el contacto de disparo C del relevador que, a su vez, permite el paso de la corriente directa de la batería principal de 120 volts y energiza la bobina del circuito de disparo del interruptor Bd que, al abrir, libera y aísla la zona que se encuentra bajo condiciones de falla.

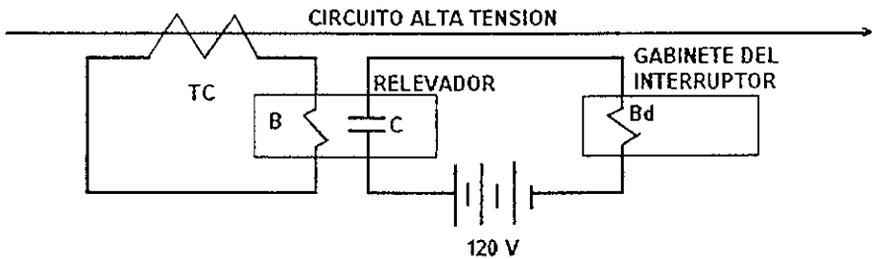


FIGURA 4.5 (a)

CIRCUITO ELEMENTAL DE PROTECCION POR SOBRECORRIENTE

DIAGRAMA TRIFILAR

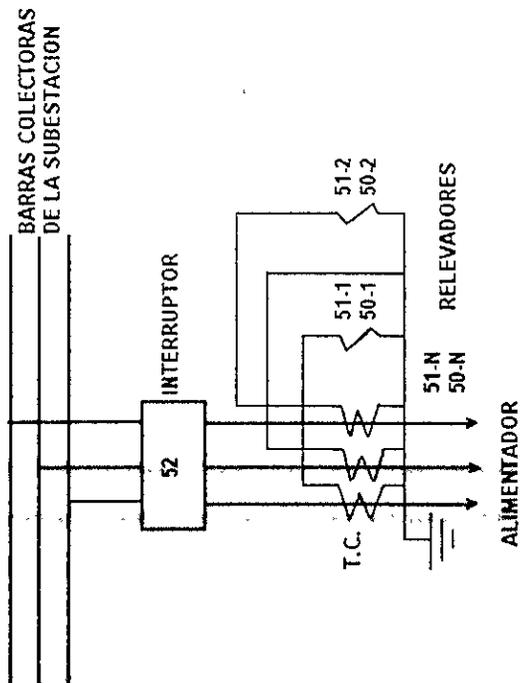


DIAGRAMA UNIFILAR

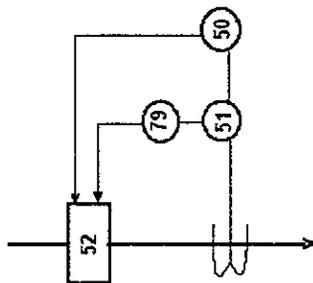


FIG. 4.5(b). ESQUEMA DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE PARA UN ALIMENTADOR PRIMARIO

4.4.1 ESQUEMA DE PROTECCION EN LA SUBESTACION PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Consta de los siguientes elementos: El interruptor (número NEMA 52) cuya función consiste en ser un medio de desconexión, con la robustez necesaria para abrir bajo condiciones de sobrecorriente. Los relevadores entre los que se encuentran, 3 unidades de sobrecorriente de tiempo (dos para la sobrecorriente entre fases y una de sobrecorriente a tierra; 51-1, 51-2 y 51-N), 3 unidades de sobrecorriente instantáneas (dos de sobrecorriente entre fases y una de sobrecorriente a tierra; 50-1, 50-2 y 50-N), una unidad de recierre (NEMA 79), y por último 3 transformadores de corriente. La disposición de los mismos se observa en la figura 4.5 (b).

4.4.2 DESCRIPCION DE LA OPERACION DE UN ESQUEMA DE PROTECCION

En la figura 4.6 se presenta parte del arreglo de doble barra doble interruptor de una subestación de distribución. En la cual se muestran las dos barras de alimentación y los dos interruptores (52-1 y 52-2) que son los medios de desconexión del alimentador. Los interruptores de éste tipo de arreglo no cuentan con cuchillas a sus extremos, ya que para dejarlos libres basta con desacoplarlo (este tipo de arreglo esta contenido en gabinetes).

Para la medición y protección de sobrecorriente del alimentador, se utilizan transformadores de corriente con relación 400/5, su conexión debe ser en estrella aterrizada y están instalados al lado fuente de los 52-1 y 52-2. En condiciones normales la señal de corriente transmitida por los TC's es registrada por el amperímetro para medir la corriente que se suministra. En condiciones de falla los TC's sensan la sobrecorriente en su lado primario que a su vez es reflejada en las bobinas del secundario las cuales se encuentran en serie con las bobinas de los relevadores (50 o 51; 1,2 o N). El relevador que opera depende; del tipo de falla, de la magnitud de la sobrecorriente y de la calibración de cada relevador. A continuación se presentan dos casos:

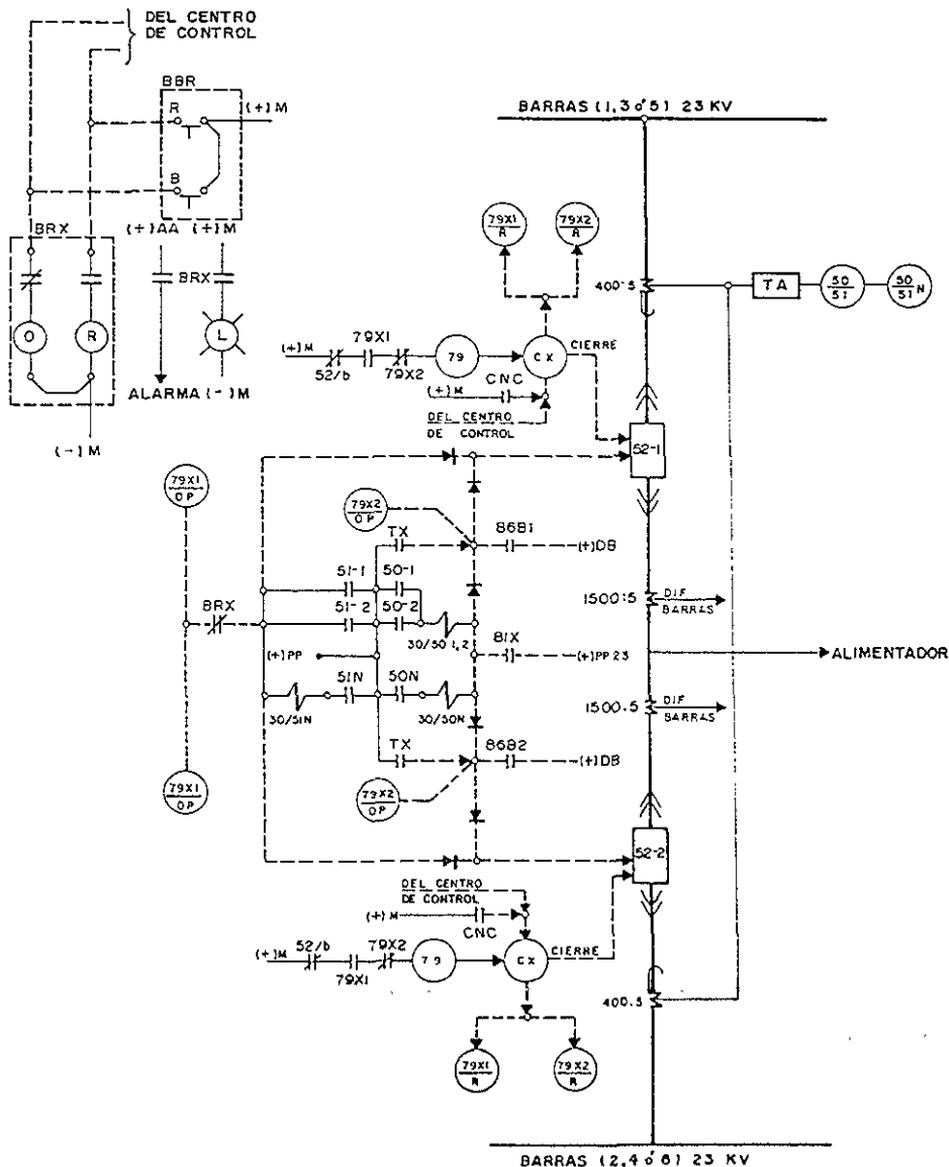


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE PROTECCION Y MEDICION ALIMENTADORES 23KV (CON RECIERRE).

PRIMER CASO: Operación del relevador 51-1, 2 o N.

Al energizar la bobina de operación de alguno de los relevadores 51, esta mandará a cerrar sus contactos "a" y con esto se manda disparo a los 52-1 y 52-2. Al mismo tiempo energizan las bobinas auxiliares 79X1, lo que hace cerrar los contactos "a" 79X1 y con esto se energiza la bobina del relevador 79, que es quien mandará los recierres a los 52-1 y 52-2 en el tiempo previamente establecido. La bobina auxiliar CX manda a reponer los contactos 79X1 y 79X2.

SEGUNDO CASO: Operación del relevador 50-1, 2 o N

Al energizar la bobina de operación de alguno de los relevadores 50 esta mandará a cerrar sus contactos "a" que al dar paso a la corriente del positivo energizará al relevador 30 que es de señalización del relevador operado, así mismo manda disparo al 52-1 y al 52-2. Al mismo tiempo energiza bobinas 79X2, lo que hace abrir los contactos "b" 79X2, garantizando con esto el bloqueo del relevador 79, para no mandar recierres. En la figura 4.7 se presenta en un diagrama de bloques la operación de los relevadores 50 y 51.

Para el primer caso se puede hacer una modificación, para evitar que los dos interruptores ejecuten recierres, ya que su tiempo de apertura y cierre puede no ser exactamente el mismo, y además, se evita el desgaste innecesario de ambos interruptores, ejecutando solo uno de ellos los recierres. La modificación más sencilla consistiría en eliminar el R-79 del interruptor que no se quiera hacer recierres, pero esto quitaría flexibilidad para cambiar después de un cierto tiempo el recierre al otro interruptor, con el fin de que el desgaste en ambos interruptores sea el mismo. Otra modificación consiste en reemplazar uno de los contactos "a" 79X1 por contactos "b" en uno de los dos interruptores.

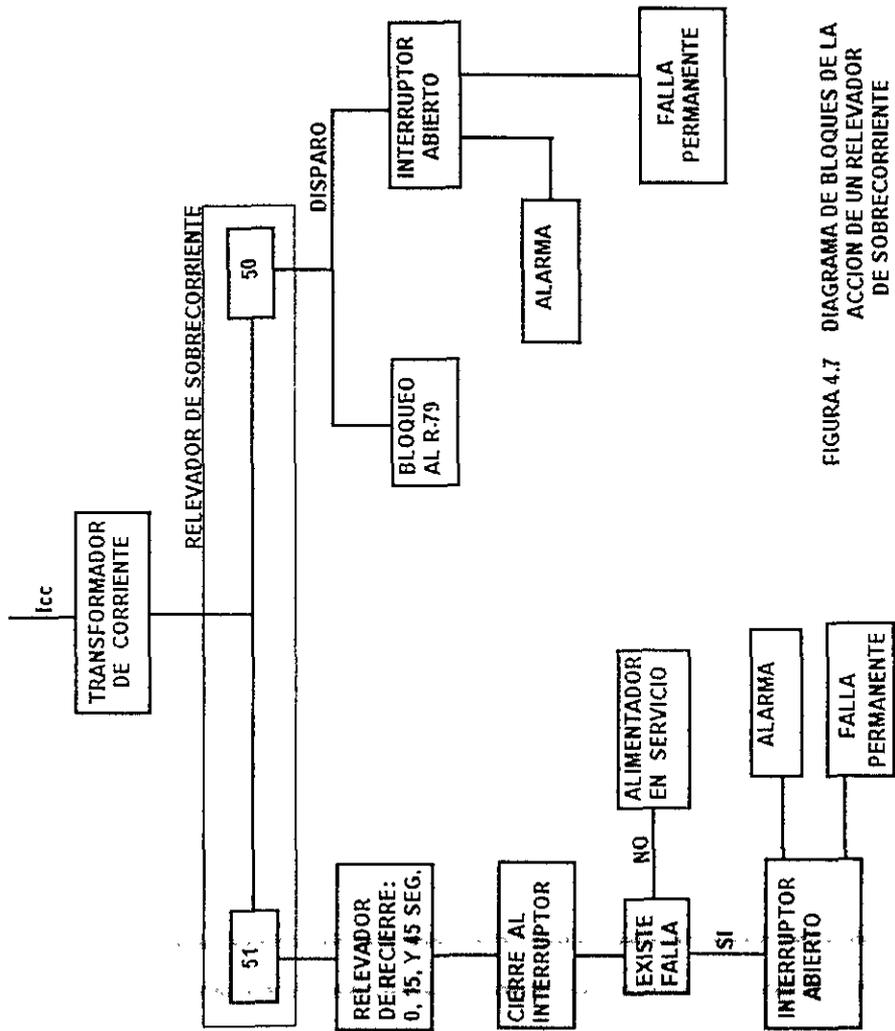


FIGURA 4.7 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ACCION DE UN RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE

CAPITULO 5

DISPOSITIVOS DE PROTECCION INSTALADOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCION

5.1 RESTAURADOR

Es un dispositivo de protección automático, que se aplica en líneas aéreas; cuya acción consiste en sensar, cronometrar (respuestas: rápida o con retraso de tiempo) e interrumpir cualquier corriente de falla. Además, al cabo de un intervalo de tiempo definido y en forma automática, recierra para reenergizar la línea. Cuando se presentan fallas de naturaleza persistente, el restaurador deberá alcanzar el estado de “apertura definitiva”, después de haber efectuado un número preestablecido de operaciones (apertura-cierre; normalmente 3 a 4) para desconectar de la línea, la parte afectada por falla.

Conforme a estudios realizados en sistemas de distribución aérea, se ha establecido, que aproximadamente del 80 al 95% de las fallas que se presentan en dichos sistemas son de naturaleza temporal y con duración de solamente unos cuantos ciclos a unos cuantos segundos. A partir de la curva característica “apertura-recierre” en los restauradores se reducen considerablemente los **disturbios provocados por fallas temporales o por condiciones transitorias de sobrecorriente.**

Los ajustes que deben fijarse en los restauradores, son función directa de los resultados obtenidos a partir de un estudio de cortocircuito y considerando que estos valores, disminuyen al alejarse de la subestación, se tendrá:

Corriente mínima actuante (menor o igual al 80% del ajuste en interruptor).

Tiempo de liberación de falla (tiempo de apertura conforme a las curvas de respuesta tiempo corriente).

Tiempo de restablecimiento (para disponer al equipo hacia una nueva secuencia al cabo de un recierre satisfactorio).

Lapso entre apertura y recierre.

Cantidad de operaciones hasta alcanzar la condición de apertura definitiva.

5.1.1 RESTAURADORES CON CONTROL ELECTRONICO

El control electrónico para restauradores, se aloja en un gabinete independiente del restaurador, que contiene los elementos necesarios para definir las características tiempo-corriente, los niveles de corriente mínima actuante y la secuencia de operación. Siendo posible efectuar modificaciones en el ajuste, sin necesidad de desenergizar o desmontar el restaurador. Se enlaza al tanque del restaurador, mediante un cable multiconductor que hace posible el flujo de señales en ambos sentidos (figura 5.1).

El tanque del restaurador contiene:

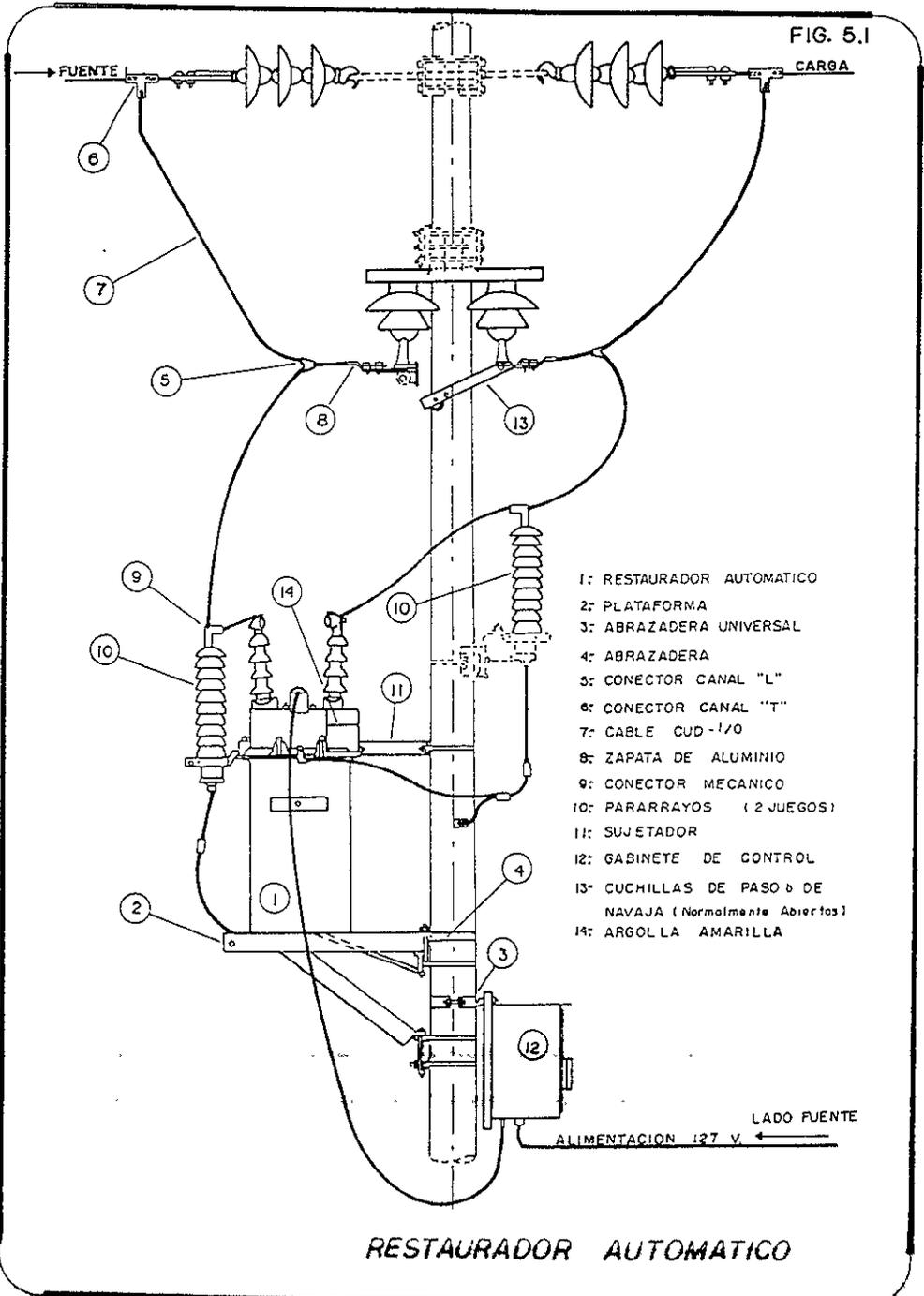
Contactos sumergidos en aceite (usado como aislamiento entre partes energizadas, así como medio de interrupción).

Transformadores de corriente.

Bobina de cierre (energizada en alta tensión).

Herrajes para el accionamiento mecánico de los contactos (tanto a la apertura como al cierre).

FIG. 5.1



- 1: RESTAURADOR AUTOMATICO
- 2: PLATAFORMA
- 3: ABRAZADERA UNIVERSAL
- 4: ABRAZADERA
- 5: CONECTOR CANAL "L"
- 6: CONECTOR CANAL "T"
- 7: CABLE CUD-1/0
- 8: ZAPATA DE ALUMINIO
- 9: CONECTOR MECANICO
- 10: PARARRAYOS (2 JUEGOS)
- 11: SUJETADOR
- 12: GABINETE DE CONTROL
- 13: CUCHILLAS DE PASO o DE
NAVAJA (Normalmente Abiertas)
- 14: ARGOLLA AMARILLA

LADO FUENTE

ALIMENTACION 127 V ←

RESTAURADOR AUTOMATICO

La secuencia de operación en el restaurador es la siguiente: la corriente de línea es sensada por tres transformadores de corriente tipo boquilla instalados dentro del restaurador. Las corrientes en el secundario de estos TC's se envían hacia el control mediante un cable multiconductor que también conduce las señales de apertura y cierre de regreso hacia el restaurador (tanque).

Cuando la señal de corriente desde los TC's fluye a través de los circuitos sensores en el control, excediendo a un nivel proporcional al valor de corriente mínima actuante programada, provoca que los circuitos de detección y cronometraje sean activados. Al cabo de un retraso de tiempo (definido por la curva tiempo-corriente) el circuito de disparo es energizado para enviar la señal de apertura al restaurador. Simultáneamente, se energiza un relevador de secuencia, que ordena el recierre y activa a los circuitos de restablecimiento para comenzar el cronometraje correspondiente; asimismo, avanza el programa de control hacia la siguiente etapa en la secuencia. Después de que el tiempo programado de recierre ha transcurrido, se envía la señal de cierre al restaurador y comienza de nuevo, la detección de corriente (figura 5.2).

El control electrónico establecerá la condición de "apertura definitiva" inmediatamente después de una señal de apertura, en el caso de haber alcanzado el número de operaciones previstas, antes de que se cumpla el tiempo de restablecimiento preajustado. Una vez que se ha llegado a la condición de "apertura definitiva" el control no se restablecerá ni enviará señal alguna de cierre; hasta que, en forma manual se envíe señal de cierre desde el tablero de control.

El restaurador con control electrónico, emplea una bobina de cierre para disponer de energía mecánica suficiente para cargar al conjunto de levas y resortes de disparo; la apertura simultanea de contactos, ocurre al librar dicho conjunto de resortes.

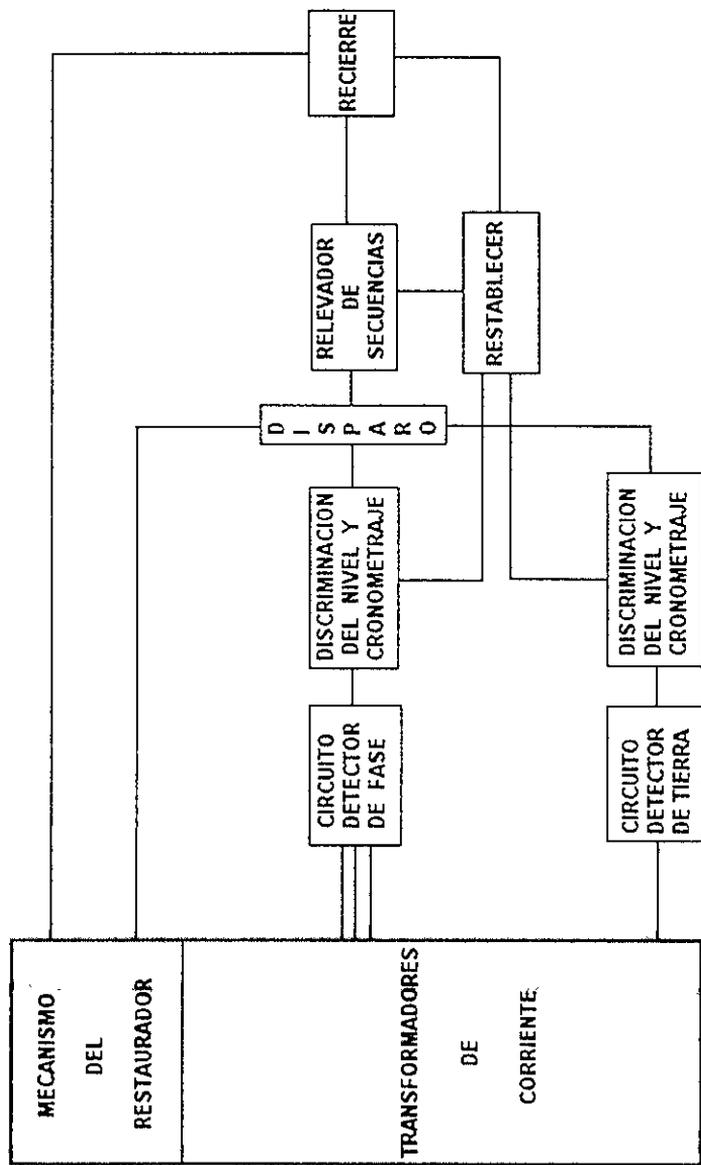


FIGURA 5.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS FUNCIONES DEL CONTROL TIPO ME

5.1.2 CRITERIO DE APLICACION

En la selección adecuada del restaurador, que se va a usar en un sistema eléctrico se deben considerar los siguientes aspectos:

Corriente de falla máxima disponible en el lugar de instalación del restaurador.

Tensión del sistema.

Corriente máxima de carga.

Corriente de falla mínima (valor estimado al final del alimentador) dentro de la zona a ser protegida por el restaurador.

Coordinación (curvas tiempo-corriente) con respecto a otros equipos de protección, tanto en el lado fuente como en el lado carga.

Detección de fallas a tierra.

Características de respuesta corriente tiempo.

5.1.3 CARACTERISTICAS DE LIBERACION DE FALLA DEL RESTAURADOR

Los restauradores automáticos operan con base a la respuesta de dos curvas características de operación corriente-tiempo, de tipo definida o inversa (figuras 5.3 y 5.4).

Con las operaciones rápidas, se busca eliminar las fallas transitorias, protegiendo así a los fusibles instalados del lado de la carga. Con los disparos con retraso de tiempo, se eliminan las fallas permanentes o se da el tiempo necesario para que operen los fusibles conectados en serie.

Intervalos recierre		Inst.		2 seg.		15 seg.		Aper- tura
Secuencia Disparo	rápida		rápida		Con retraso		Con retraso	Defi- nitiva

FIG. 5.3

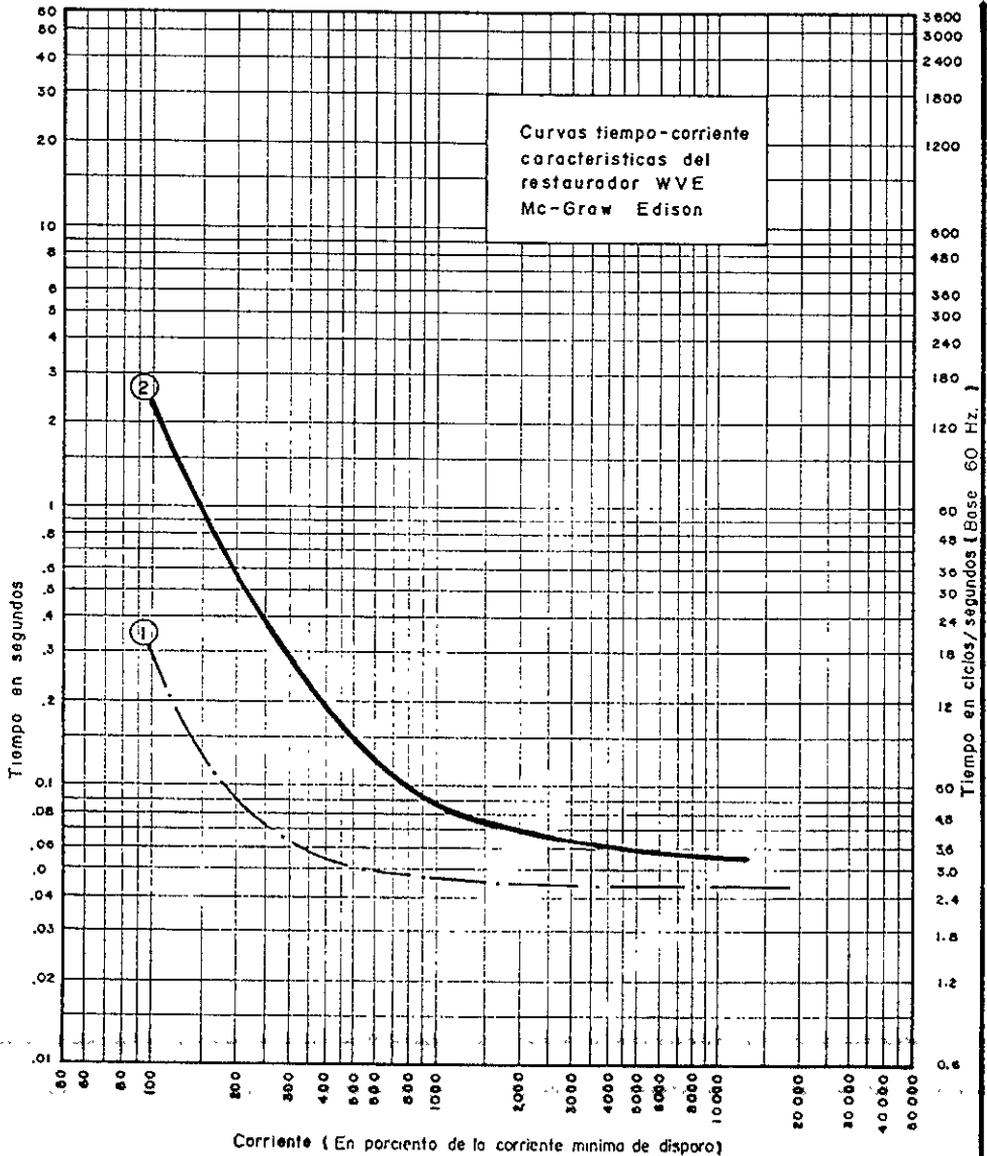


FIGURA 5.3 CURVA DE DISPARO (RAPIDO) PARA FALLAS DE FASE A TIERRA (1)
 CURVA DE DISPARO (LENTO) PARA FALLAS DE FASE A TIERRA (2)

TIEMPO DE INTERRUPCION EN EL RESTAURADOR

FIG. 5.4

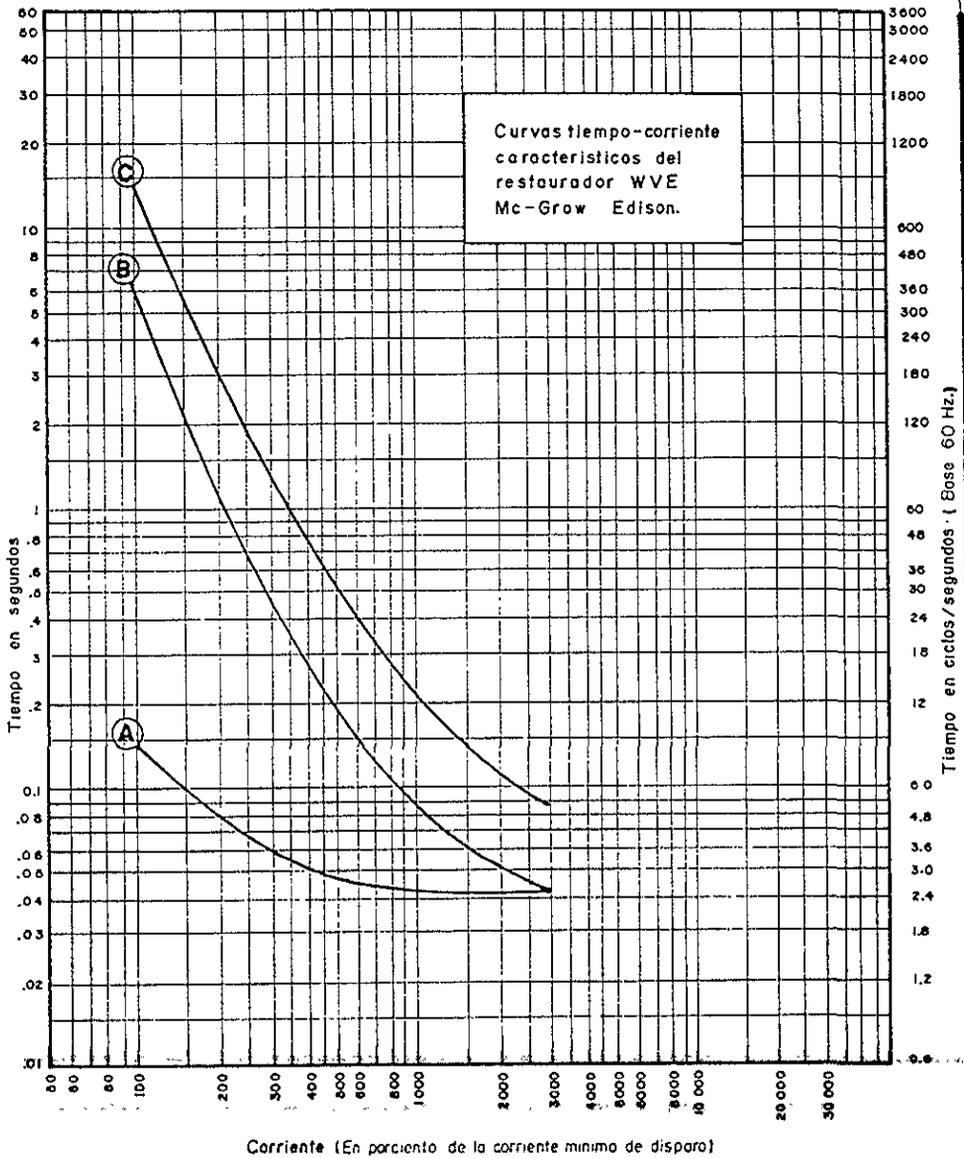


Figura 5.4 CURVA DE DISPARO (RAPIDO) PARA FALLAS ENTRE FASES (A)
 CURVAS DE DISPARO (LENTO) PARA FALLAS ENTRE FASES (B y C)

TIEMPO DE INTERRUPCION EN EL RESTAURADOR

5.2 SECCIONALIZADOR

Es un equipo de seccionamiento automático, que se instala por lo general en ramales de alimentadores de tipo aéreo, el cual se aplica en combinación con otro dispositivo de respaldo con recierre (interruptor o restaurador), ya que no está diseñado para interrumpir corrientes de falla (figura 5.5).

Cuando se presentan fallas de naturaleza transitoria, el seccionalizador registra el número de operaciones apertura-cierre del dispositivo de respaldo y después de un número previamente seleccionado, mientras el dispositivo de respaldo se encuentra abierto, el seccionalizador abre sus contactos, aislando la sección del circuito fallado. Si la falla o fallas son transitorias ante las cuales el seccionalizador las registra sin llegar a la condición de apertura definitiva, el equipo de control restablece su memoria, "olvidando" el conteo registrado después de transcurrir un tiempo.

Los seccionalizadores no cuentan con capacidad interruptiva para una corriente de falla, ni curvas características de operación corriente-tiempo, aunque son de capacidad suficiente para cerrar sus contactos con carga. Es susceptible de ser ajustado, fijando un valor igual o menor al tiempo de restablecimiento del interruptor o restaurador.

Las características eléctricas nominales son:

Tensión nominal

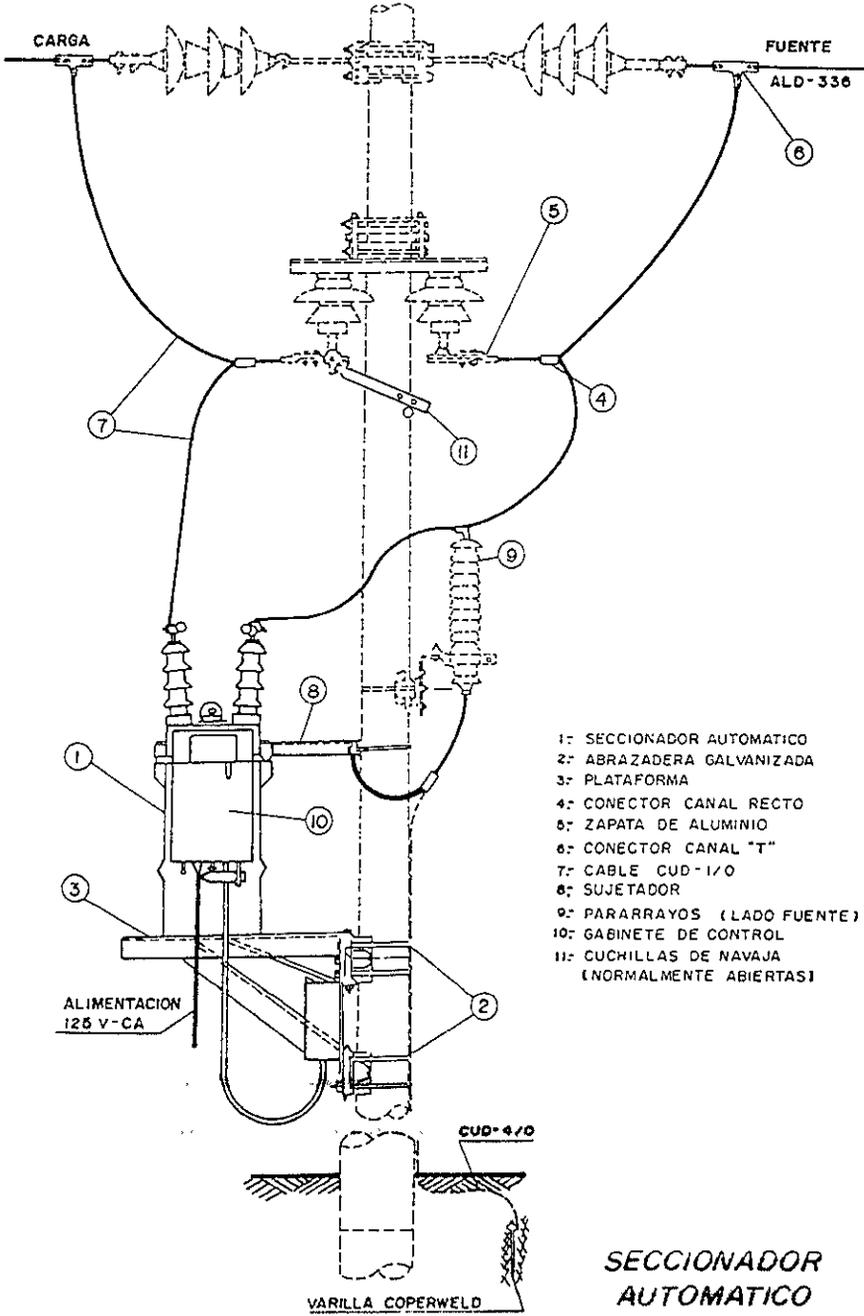
Corriente mínima actuante (160% corriente nominal)

Corriente máxima de trabajo

Resistencia de aislamiento en seco y húmedo

Tensión máxima de diseño

Frecuencia



5.3 CORTACIRCUITOS-FUSIBLE

Los cortacircuitos asociados con fusibles son dispositivos que se usan tradicionalmente en los sistemas de distribución aérea y tienen la función de proteger transformadores, bancos de capacitores, líneas y cables, contra corrientes dañinas, aislando únicamente el equipo o segmento con falla.

El fusible es un dispositivo protector contra sobrecorriente en circuitos y equipo eléctrico. Cuando la corriente en el circuito excede a un múltiplo de su valor nominal, el elemento fusible se funde para abrir (interrumpir), el circuito. Aunque la operación del fusible es muy simple, para especificarlo apropiadamente, se requieren conocer tanto las características propias del fusible así como las condiciones de sobrecorriente esperadas en el circuito que se desea proteger.

Al presentarse una condición anormal de sobrecorriente en un circuito tal, que requiera la apertura del fusible, éste último, deberá cumplir dos funciones:

Aislar el equipo o la porción del circuito con falla, del resto del circuito.

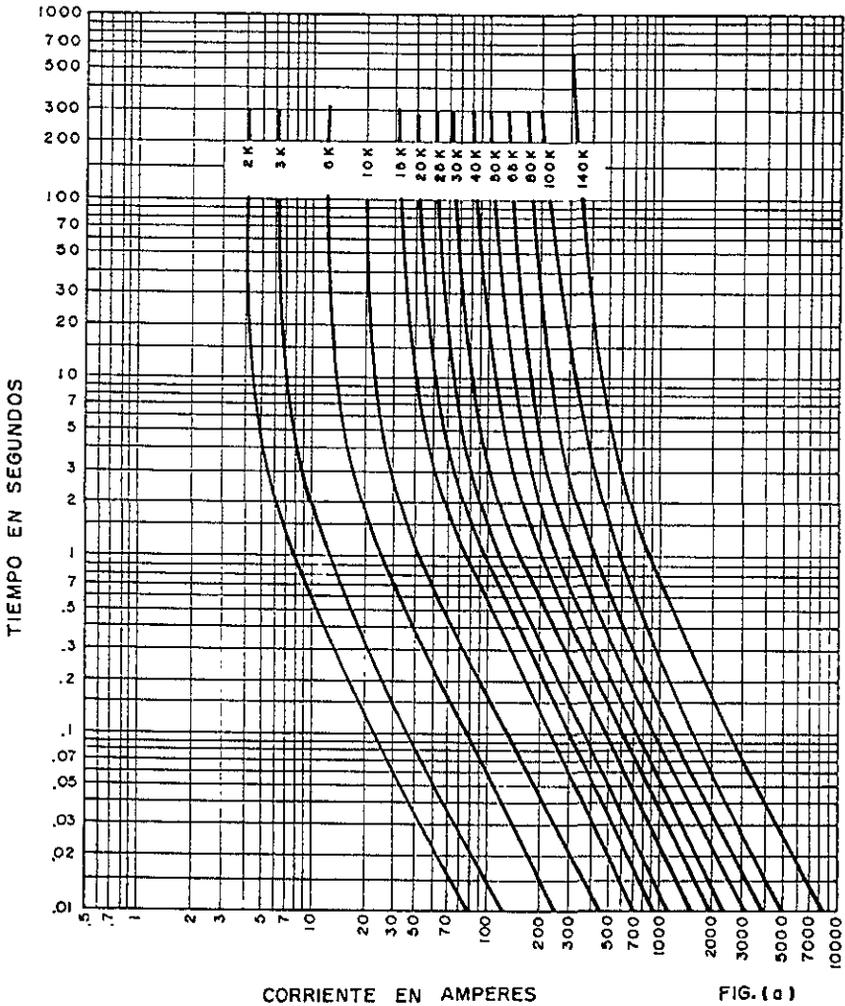
Responder con prontitud para impedir cualquier daño al circuito o equipo del sistema.

5.3.1 CARACTERÍSTICAS DE FUSIÓN (CURVAS)

Las curvas de fusión, se emplean en estudios de coordinación de protecciones; representan el valor de corriente a través del fusible y el tiempo requerido por el mismo para abrir y librar. Los tiempos de respuesta en el fusible varían con el material que se use como eslabón fusible, con los elementos de construcción que se utilicen y con aspectos generales de diseño.

Las curvas características tiempo corriente de fusión y de interrupción total para fusibles tipo "K" o rápidos, se muestran en las figuras 5.6 y 5.7. Las curvas de fusión muestran el tiempo mínimo requerido para que se derrita el elemento fusible y las curvas de interrupción total muestran el tiempo requerido desde que el fusible se funde hasta la extinción total del arco.

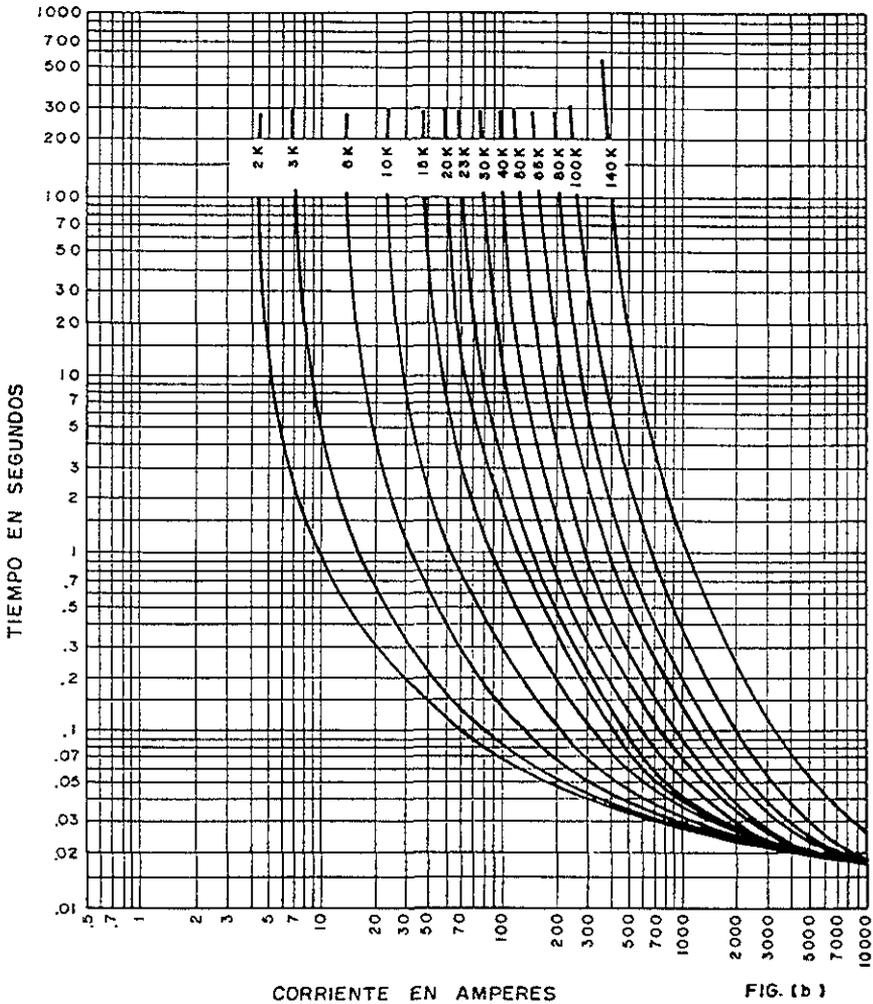
FIG. 5.6



**CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO CORRIENTE PARA LOS
ESLABONES FUSIBLE UNIVERSALES TIPO "K" (RAPIDOS).**

a) CURVAS DE FUSION. Estas curvas muestran el tiempo minimo requerido para que se derrita el elemento fusible, comenzando desde una temperatura ambiente de 25°C sin cargo previo. No se incluye tiempo de arco.

FIG. 5.7



**CURVAS CARACTERISTICAS TIEMPO CORRIENTE PARA LOS
ESLABONES FUSIBLE UNIVERSALES TIPO "K" (RAPIDOS).**

a) CURVAS DE INTERRUPCION TOTAL. Estos curvas muestran el tiempo requerido para cualquier corriente, que transcurre desde que el fusible se funde (o derrite), hasta la extincion total del arco.

En condiciones normales de operación el fusible admite el paso de la corriente normal a través del circuito por lo que se debe verificar la corriente nominal. Al existir sobrecorrientes el fusible debe interrumpir y soportar la tensión entre sus terminales durante la extinción del arco.

5.4 PARARRAYOS

Son unos dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo de sistemas.

Los pararrayos son dispositivos de protección de los equipos conectados al sistema de distribución y cumplen las siguientes funciones:

Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño.

Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.

Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.

No deben operar con sobretensiones temporales, de baja frecuencia.

La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

5.4.1 PARARRAYOS AUTOVALVULARES

Este tipo de pararrayos, está formado por una serie de resistencias no lineales de carburo de silicio, prácticamente sin inductancia, presentadas como pequeños cilindros de material prensado. Las resistencias se conectan en serie con un conjunto de explosores intercalados entre los cilindros, figura 5.8(a).

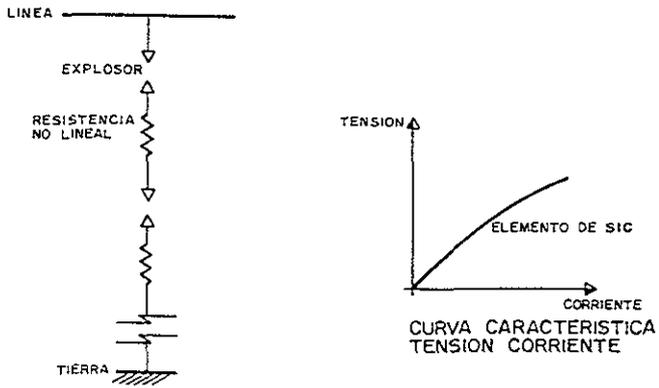


FIG. 5.8 (a) ESQUEMA DE PARARRAYOS AUTOVALVULAR

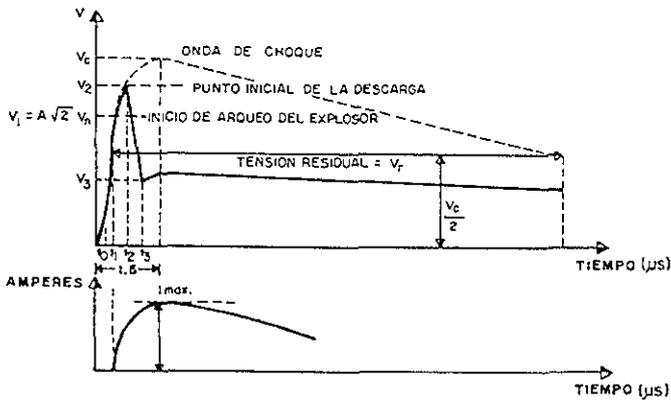


FIG. 5.8 (b) FUNCIONAMIENTO DEL PARARRAYOS

Las resistencias evitan que, una vez iniciada la descarga en los explosores, se produzca una corriente permanente. A su vez permiten disminuir las distancias entre los electrodos, proporcionando mayor sensibilidad al pararrayos, aún en el caso de sobretensiones reducidas.

Las resistencias no lineales son unos pequeños cilindros formados por pequeñas partículas de carburo de silicio (SiC).

La curva característica no lineal de tensión corriente, se obtiene a partir de las propiedades semiconductoras eléctricas, por la interacción entre el carburo de silicio y el aglutinador que permite cierto contacto entre las partículas de SiC, ocasionando la obtención de una resistencia no lineal.

Los cilindros semiconductores tienen la propiedad de disminuir su resistencia en presencia de sobretensiones y de aumentarla a un valor prácticamente infinito, al regresar la tensión a su valor nominal. Esto convierte al pararrayos en una válvula de seguridad para las altas tensiones, que funciona en el momento necesario, evitando la persistencia de la corriente de corto circuito.

En la figura 5.8(b) se observa el efecto de una onda de choque sobre un pararrayos de tipo valvular, en donde:

V_c = Valor de la tensión máxima de la onda de choque.

El frente escarpado, que asemeja una función escalón, tiene una duración de 1.2 microsegundos, y llega al valor de la mitad de V_c en un tiempo de 50 microsegundos.

En la figura se observa que una vez iniciada la onda de choque en $t=0$, ésta empieza a crecer hasta llegar a V_1 punto en que empieza a ionizarse el entrehierro del explosor, sigue creciendo la tensión y al llegar a V_2 se produce el arco entre las terminales del explosor.

El valor de V2 se relaciona con la amplitud de la tensión nominal Vn de la red, por medio de un coeficiente A, de acuerdo con la expresión:

$$V2 = A\sqrt{2} Vn$$

En donde A es una constante que depende de las características de diseño del pararrayos, y en forma práctica se le fija un valor de 2.4.

A V2 se le llama tensión de arranque del pararrayos, a partir de cuyo valor, la tensión desciende rápidamente hasta llegar a V3, que se denomina tensión residual, y cuya magnitud aparece entre las terminales del pararrayos, en el momento en que la corriente de descarga alcanza su valor máximo de intensidad Im de acuerdo con la expresión:

$$V3 = Im R$$

Donde R es la magnitud en ohms, de la resistencia no lineal en el instante t-3, Im fija la capacidad de descarga máxima de energía a través del pararrayos, sin que éste sufra deterioro alguno.

CAPÍTULO 6

FUNDAMENTOS DE LA COORDINACION DE PROTECCIONES

6.1 COORDINACION DE PROTECCIONES

A medida que se desarrolla un plan de protección contra sobrecorrientes, las consideraciones económicas dictan el empleo de diferentes tipos de dispositivos protectores en serie. Normalmente a medida que las distancias desde la subestación aumentan, se utilizan equipos menos caros y menos sofisticados. La coordinación es el estudio de la correcta aplicación de los dispositivos de protección en serie.

Cuando se aplican en un sistema dos o más dispositivos de protección, el dispositivo más cercano a la falla es el remoto o protector, el dispositivo adyacente a la alimentación es el respaldo o protegido.

Hay que tomar en cuenta dos principios fundamentales para la correcta coordinación:

El dispositivo protector, debe eliminar una falla permanente o transitoria antes de que el dispositivo protegido interrumpa el circuito.

Los cortes causados por fallas permanentes, deben ser restringidos a una sección lo más pequeño posible del sistema en el tiempo más corto.

Para un estudio de coordinación, se requiere utilizar las curvas características de tiempo-corriente, así como considerar las secuencias de operación, de cada dispositivo de protección.

6.2 COORDINACION INTERRUPTOR RESTAURADOR

Una adecuada coordinación entre estos dos dispositivos, es cuando el restaurador opera con una falla en el lado de la carga, impidiendo que opere el interruptor a través del relevador de tiempo, es decir que la curva característica del restaurador no se cruce con la del relevador, dejando un tiempo mínimo de 0.3 segundos (figura 6.1 a).

6.3 COORDINACION RESTAURADOR SECCIONALIZADOR

Siendo el seccionalizador dispositivo automático de seccionamiento que no cuenta con curvas de operación corriente-tiempo, y que simplemente sensa una corriente mínima actuante del 160% de la capacidad nominal de su bobina, registrando las operaciones del dispositivo de respaldo (restaurador o interruptor), efectuando a su vez un conteo en caso de persistir la falla hasta llegar a una cantidad preseleccionada en que abre sus contactos, requiriéndose para una adecuada coordinación ajustarlo a un recierre menos que el dispositivo de respaldo.

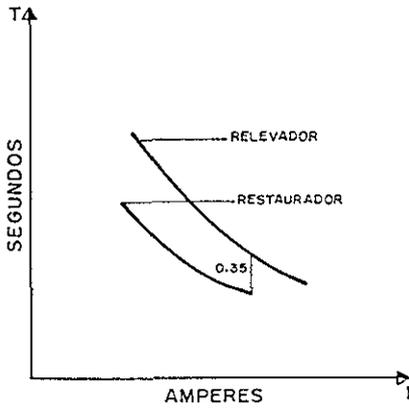
6.4 COORDINACION INTERRUPTOR – FUSIBLE

Para esta coordinación, el fusible tiene la función de operar para una falla que se presente en el lado carga, impidiendo que opere el interruptor (relevador de tiempo), el principal criterio para lograrlo es que la curva del relevador debe estar 30 ciclos (0.5 segundos) después de la operación de la curva de aclaramiento del fusible (figura 6.1 b).

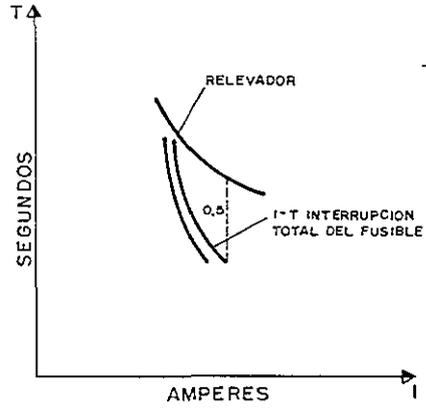
6.5 COORDINACION RESTAURADOR FUSIBLE

En esta coordinación se busca que las operaciones rápidas del restaurador no provoquen daño a los fusibles, incluyendo el efecto acumulativo de las operaciones rápidas considerando los intervalos de recierre.

FIG. 6.1

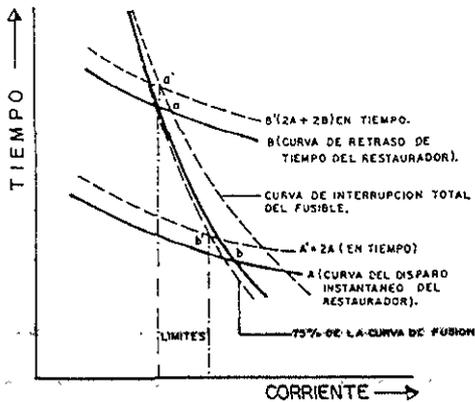


a) Coordinación interruptor-restaurador

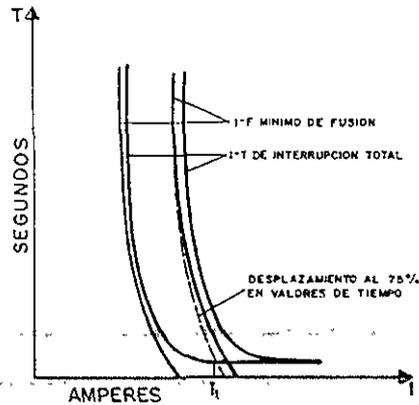


b) Coordinación interruptor - fusible.

CURVA DE FUSION MINIMA DEL FUSIBLE



c) Coordinación restaurador-fusible



d) Coordinación entre fusibles

CURVAS CARACTERISTICAS DE COORDINACION DE PROTECCIONES

Asimismo las operaciones lentas del restaurador se deben retardar lo suficiente para asegurar la operación del fusible antes de la apertura definitiva del restaurador (figura 6.1 c).

La curva de interrupción total del fusible se utiliza para establecer el límite inferior de la coordinación de la curva de retraso de tiempo del restaurador (punto a).

La curva mínima de fusión se utiliza para establecer el límite superior de la coordinación con la curva de disparo instantáneo del restaurador (punto b).

Sin embargo es necesario modificar las curvas del restaurador y fusible, para considerar los efectos de los ciclos de calentamiento-enfriamiento por la secuencia de operación del restaurador.

Por lo anterior la curva A' es la suma de las dos aperturas instantáneas A, la cual se compara con la curva de fusión del fusible, que previamente se ha desplazado al 75% en función del tiempo de fusión, encontrándose el nuevo límite superior de coordinación (punto b').

La curva B' es la suma de las dos aperturas instantáneas y las dos de retraso de tiempo, que representan la cantidad total de calor aplicado al fusible, que al compararse con la curva de interrupción total del fusible se obtiene el límite inferior de coordinación (curva a').

6.6 COORDINACION FUSIBLE - FUSIBLE

Se debe empezar por la selección del fusible denominado de "protección" que es el dispositivo que está protegiendo al equipo, este fusible debe cumplir con dos finalidades.

Protección contra sobrecargas.- Aquí queda comprendido el caso de falla en el circuito secundario del transformador protegido por 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.

Una vez hecha la selección se procede a coordinarlo con otro fusible denominado de "respaldo" que protegerá al llamado de "protección" y al circuito que lo alimenta.

Una regla esencial para la aplicación de la localización de listones fusibles, es que el tiempo máximo del corte del listón de respaldo no excede en un 75% del tiempo mínimo de fusión del listón protección. Este principio asegura que el listón destinado como protección interrumpa la falla antes que el listón protegido esté dañado.

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

Para lograr una coordinación entre fusibles, se utilizan generalmente las curvas corriente-tiempo de interrupción total de cada fusible empleado (F1 y F2), de tal forma que para una falla en el lado de la carga debe operar el fusible F2, antes que se presente algún daño en el fusible protegido F1, el cual debe operar únicamente como respaldo para la misma falla o para alguna otra que se presente entre los dos fusibles en serie.

Ejemplo: Coordinación entre fusible de expulsión (F2) que protege a un fusible de expulsión (F1). La coordinación de los fusibles de expulsión se logra comparando la curva corriente-tiempo de interrupción total del fusible protector F2, con la curva corriente-tiempo mínima de fusión del fusible protegido F1, la cual previamente debe haberse reducido a un 75% en valores de tiempo. En la figura 6.1(d) se observa que I-1 es el valor máximo de corriente con el cual el fusible F2 protege al fusible F1, ya que en ese punto se cruzan las curvas.

6.7 EJEMPLO DE APLICACION

Considerando una subestación de distribución (como se muestra en figura 6.2) alimentada por líneas de transmisión de 230KV, proporcionando un voltaje de distribución de 23KV, con un arreglo de interruptor y medio. Se presentan a continuación las características más importantes de algunos equipos y dispositivos:

3 transformadores de potencia

60 MVA, 3 fases, 230 / 23 KV, conexión ESTRELLA (aterrizada directamente)-ESTRELLA (aterrizada a través de un reactor de 0.4 Ohm).

3 bancos de capacitores

12.6 MVAR, 23KV, trifásicos.

3 juegos de transformadores de potencial (TP's)

Con relación de 120/1, 23KV.

12 alimentadores de distribución de 23KV de 12 MVA.

Los interruptores de potencia de cada alimentador así como los interruptores de enlace tienen las siguientes características:

Interruptor automático en pequeño volumen de aceite, marca Inoue Denki, corriente permanente nominal 1200 A, frecuencia nominal 60 Hertz, tensión máxima nominal 25.8 KV, corriente de corto circuito nominal 17 KA, tiempo de interrupción nominal 5 ciclos, mecanismo a resortes operado con motor.

En la figura 6.3 se observan transformadores de corriente, relevadores y contactos, entre otros. A continuación se describen:

Transformadores de corriente de 600:5 A, conectados en estrella aterrizada.

Los relevadores de sobrecorriente son del tipo de inducción electromagnética, y con una curva de operación de tiempo inverso con los siguientes valores para la bobina de corriente:

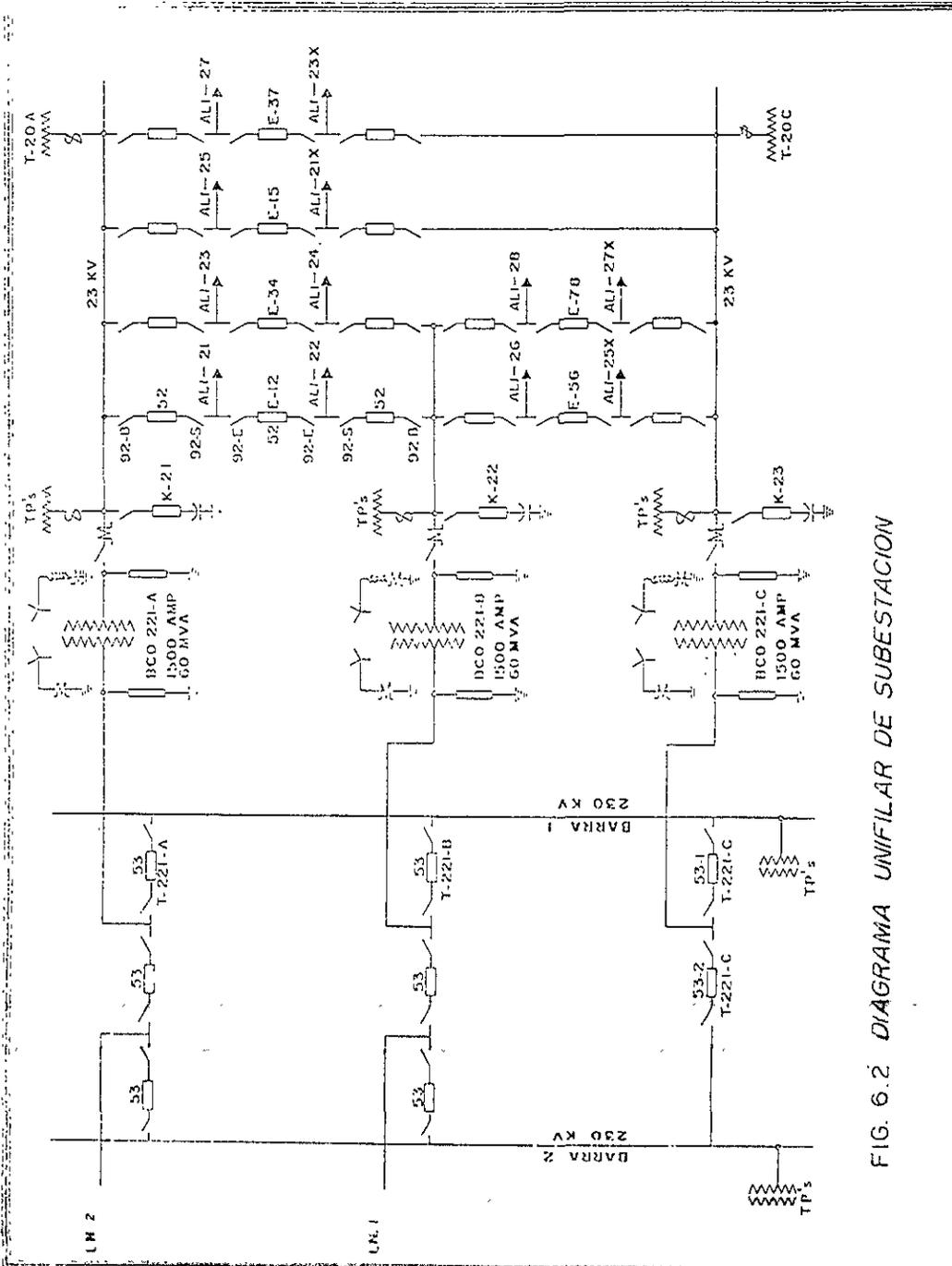


FIG. 6.2 DIAGRAMA UNIFILAR DE SUBESTACION

Entre fases; unidad de tiempo 2 – 16 A y unidad instantánea 20 – 160 A
A tierra; unidad de tiempo 0.5 – 4 A y la unidad instantánea de 10 – 80 A

En la figura 6.4 se presenta la estructura de un sistema de distribución aéreo, y a continuación se mencionan algunas de las características más importantes de sus componentes:

CONDUCTORES

Cable 23PT 1X240, instalado a la salida del alimentador, capacidad nominal 450 A y resistencia 0.1088 ohm/Km.

ALD-336 MCM, instalado en la troncal, capacidad nominal 470 A y resistencia 0.198 ohm/Km.

ACSR-1/0 AWG, instalado en los ramales de amarre, capacidad nominal 220 A y resistencia de 0.696 ohm/Km.

ACSR-2 AWG, instalado en subramales, capacidad nominal 160 A y resistencia de 1.07 ohm/Km.

FUSIBLES DE POTENCIA

Tipo expulsión, tensión 23KV, corriente nominal (de acuerdo al equipo por proteger), capacidad 20KA asimétricos, interruptiva 12.5KA simétricos, velocidad K (rápidos) y servicio intemperie.

TRANSFORMADOR

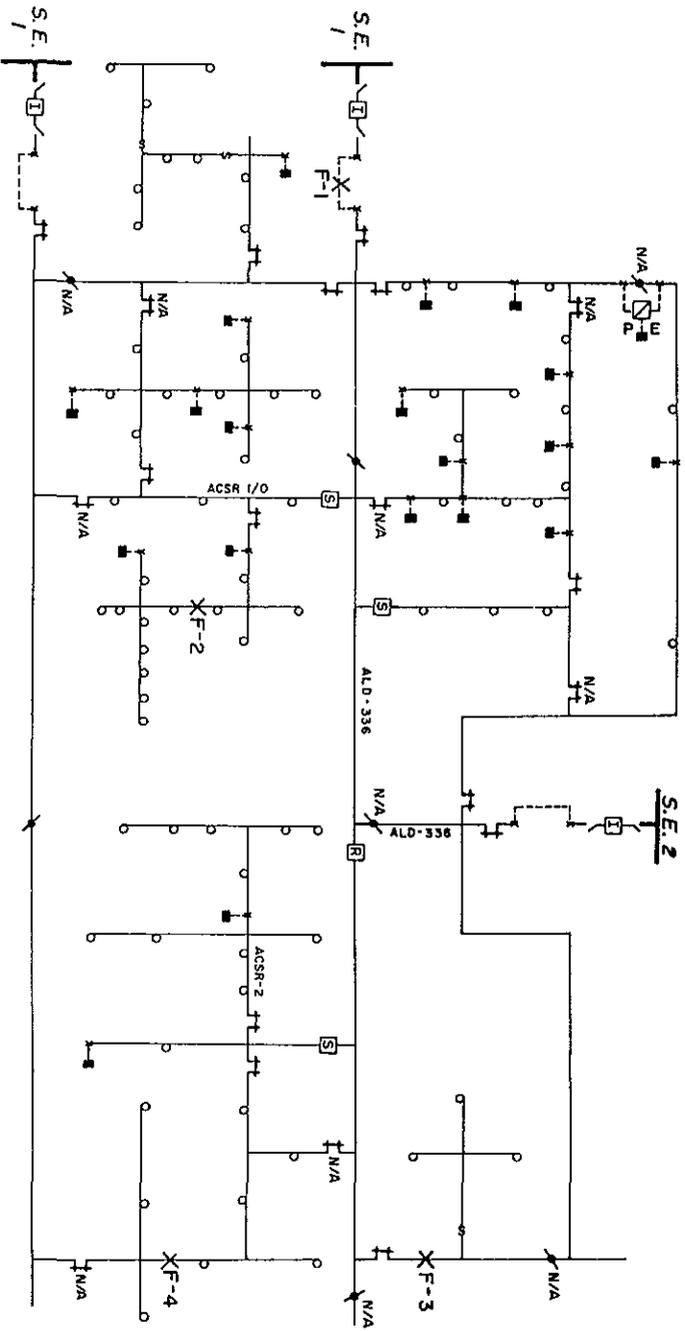
Capacidad 75, 112.5 o 150KVA que es la máxima capacidad para transformadores de distribución en poste según la Norma Oficial Mexicana, tres fases, conexión Delta-Estrella aterrizada, tensión de 23 – 0.220/0.127 KV, corriente nominal para transformador de 75KVA 1.88 – 196.8 A con una impedancia de 2.3%.

ANALISIS DE FALLAS

Se considera que antes de que ocurra alguna falla el sistema se encuentra trabajando en condiciones normales.

ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

FIG. 6.4



CLAVES:

- † CUCHILLAS DE NAWAJA
- ⌘ INTERRUPTOR EN AIRE
- x TERMINALES MONOFASICAS
- o TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION
- ▢ RESTAURADOR
- ▣ SECCIONADOR
- u CORTA CIRCUITOS - FUSIBLE
- N/A NORMALMENTE ABIERTAS
- ⌘ PARARRAYOS
- ⌘ INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA
- ⌘ INTERRUPTOR
- X F FALLA

NOTA:
 TODOS LOS TRANSFORMADORES Y ACOMETIDAS EN MEDIA TENSION ESTAN PROTEGIDOS POR FUSIBLES Y PARARRAYOS.



FALLA F - 1

Al ocurrir la falla F-1 en el cable de salida del alimentador, como se indica en la figura 6.4, se produce una sobrecorriente la cual es sensada por los transformadores de corriente (figura 6.3) y tomando en cuenta que la falla:

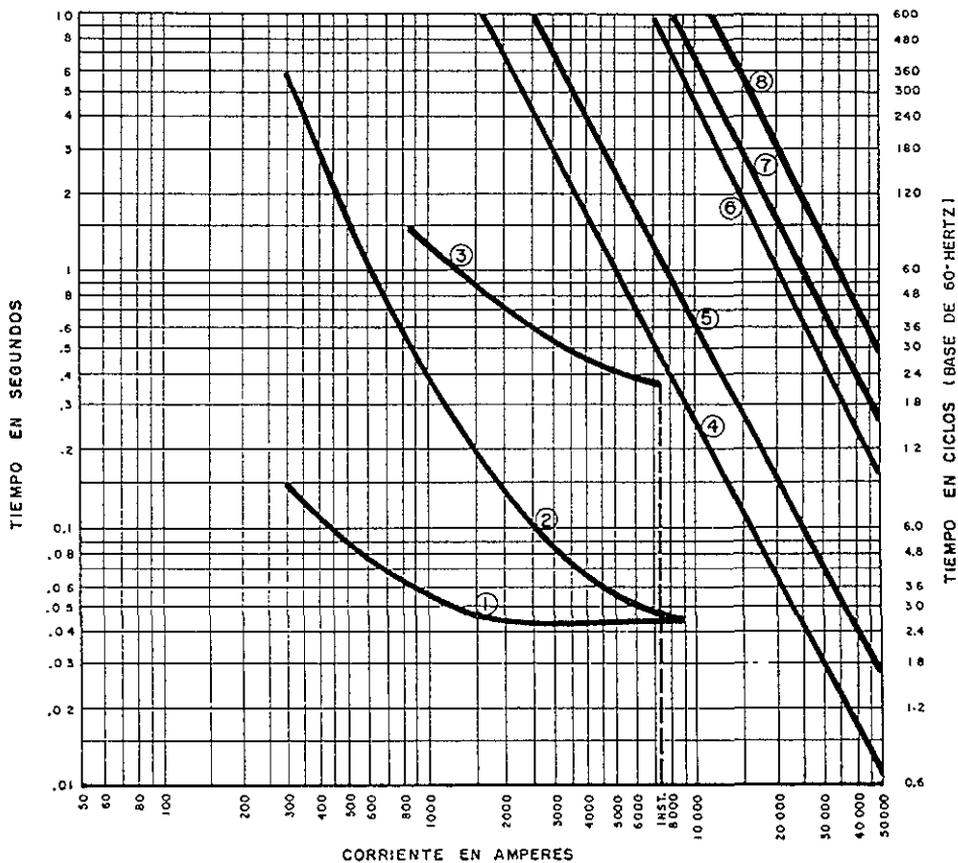
- a) Es franca por tratarse de un cable subterráneo
- b) Es muy cercana a la subestación
- c) La impedancia entre la falla y la fuente es mínima

Entonces la sobrecorriente sensada por los transformadores de corriente es alta y de acuerdo a las curvas características de tiempo corriente operará el relevador 50 (1, 2 o N de acuerdo al tipo de falla) ya que la velocidad de respuesta es mayor que la del relevador 51.

Al energizar la bobina del relevador 50- 1, 2 o N, mandará a cerrar sus contactos con lo cual se manda disparo al 52-21 y al 52-22. al mismo tiempo se energiza bobina del relevador auxiliar 79X2 con lo cual se bloquea el relevador de recierre 79. queda en esas condiciones hasta que se aisle o se repare la falla.

FALLA F- 2

La falla F-2 es en un ramal final de línea en el cual se tiene ACSR-2 como conductor en 23KV y el cual está protegido por un seccionador en serie con el interruptor de la subestación, figura 6.4. Se deben coordinar estos dos equipos con el fin de aislar la falla. Para esto, el seccionalizador está programado para abrir sus contactos después de haber sensado en tres ocasiones sobrecorrientes mayores al 160% de su corriente nominal y además haber detectado también en tres ocasiones la ausencia de potencial en un tiempo máximo de 45 segundos. El interruptor en la subestación recibe la señal de apertura al operar los relevadores 50 o 51 (1,2 o N) y también recibe la señal de recierre del relevador 79 solo en el caso de operar algún relevador 51, estos recierres se tienen programados previamente: el primero instantáneo, el segundo a los 15 segundos y el tercero a los 30 segundos.



CURVA 1	Curva "A" (rapida) 300 Amp. restaurador WVE - Mc Graw Edison
CURVA 2	Curva "B" (lenta) 300 Amp. restaurador WVE - Mc Graw Edison
CURVA 3	Relayador IAC-52 tap. 5, L.S. 1.25, Inst 55
CURVA 4	Curva de dano conductor ACSR no 2
5	Curva de dano conductor ACSR 1/0
6	Curva de dano conductor 336 ALD
CURVA 7	Curva de dano conductor ACSR 336
B	Curva de dano conductor 556 ALD

FIG. 6.5
**COORDINACION
 DE
 PROTECCIONES**

Como la falla F-2 está alejada de la fuente, la corriente de cortocircuito se ve atenuada por la impedancia de la línea y en consecuencia la corriente que detectan los TC-s en la subestación no es tan severa y por lo tanto operará algún relevador 51 (1, 2 o N) dependiendo de la falla (fase o fases a tierra y/o entre fases) ver figura 6.3. El seccionalizador sentirá también la sobrecorriente y comenzará el conteo del tiempo, las faltas de potencial y las sobrecorrientes.

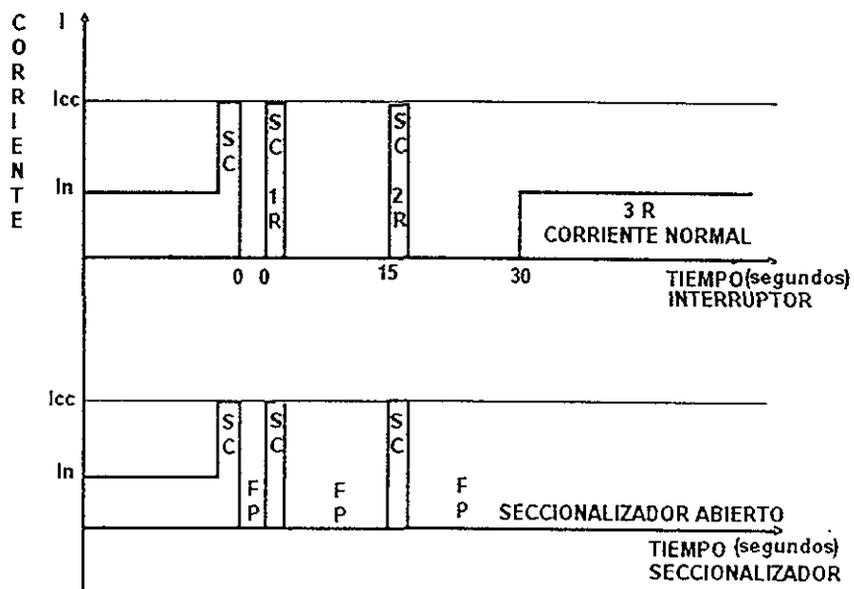
Al energizar la bobina de un relevador 51 (1,2 o N) esta hace que se cierren sus contactos "a" y con esto se manda disparo a los 52-21 y al 52-22 (en este momento el seccionalizador detecta la primera ausencia de potencial), al mismo tiempo se energiza la bobina de operación 79X1 que a su vez cierran sus contactos "a" y energiza la bobina del relevador 79 quien a su vez manda los recierres al 52-21, de acuerdo a como este programado, si es que la falla continúa.

El ciclo se repite y si la falla persiste en la tercera apertura del interruptor, el seccionalizador se abre (estando sin potencial el alimentador) y al tercer recierre, una vez aislada la falla, el alimentador quedará en servicio, ver figura 6.5.

FALLA F- 3

La falla f-3 se presenta en la troncal de amarre entre dos alimentadores con ALD-336 como conductor y se trata de una rama de árbol sobre la línea de 23KV. La zona se encuentra protegida por un restaurador en serie con el interruptor de la subestación, ver figura 6.4.

Para tener una correcta coordinación de protecciones el restaurador debe operar al 80% de la corriente de cortocircuito a la cual se tienen calibrados los relevadores de tiempo (51), es decir, que la curva característica del restaurador esté adelantada al menos 0.3 segundos de la curva característica del relevador, ver figura 6.5. Considerando lo anterior, al ocurrir la falla F-3 el restaurador operará para liberarla, impidiendo que opere el interruptor (a través del relevador). El restaurador está programado para efectuar tres recierres y cuatro aperturas con los tiempos siguientes: primer recierre instantáneo, segundo recierre 15 segundos y tercer recierre 30 segundos.



- SC = SOBRECORRIENTE
- FP = FALTA DE POTENCIAL
- I_n = CORRIENTE NOMINAL
- I_{cc} = CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO
- 1, 2, 3 R = NUMERO DE RECIERRE

FIGURA 6.6 TIEMPOS DE OPERACION INTERRUPTOR-SECCIONALIZADOR

La falla F-3 es posible liberarla al efectuar el segundo o tercer recierre el restaurador (dependiendo del tamaño de la rama) siempre y cuando no se tenga algún daño en el conductor, aisladores u otro equipo.

FALLA F-4

La falla F-4 ocurre en un ramal de amarre con conductor ACSR-1/0 y es una falla franca. El ramal está protegido por un seccionalizador en serie con un restaurador y el interruptor en la subestación. Considerando el análisis de la falla F-3 en el cual el restaurador está coordinado con el interruptor, entonces operará el restaurador, impidiendo que opere el interruptor.

El seccionalizador sensara la sobrecorriente así como las aperturas del restaurador y en la penúltima apertura del restaurador, el seccionalizador abrirá sus contactos para que de esta forma aísle la falla y al efectuar el último recierre el restaurador quede en servicio.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de los sistemas eléctricos de potencia, por lo general se le da una importancia notable en la planeación, diseño, construcción y operación a los sistemas de generación y transmisión, debido a que se requiere tener altos índices de confiabilidad en el transporte y producción de energía eléctrica y con este mismo criterio se establecen los esquemas de protección y la inversión que se hace en estos esquemas.

Hasta hace poco tiempo, a los sistemas de distribución se les daba poca importancia dentro de las compañías eléctricas, resultando que los esfuerzos y la precisión para realizar estudios de planeación en los sistemas de distribución eran de poca envergadura. El cambio de actitud para con los sistemas de distribución, se debe principalmente al hecho de ser el sistema de distribución donde se produce el mayor número de interrupciones a los usuarios.

Si fuese posible diseñar y construir sistemas de distribución, de tal forma que nunca se presenten fallas, entonces no se tendría la necesidad de utilizar equipo de protección contra sobrecorrientes. En realidad un sistema libre de fallas no se puede diseñar económicamente, debido a la gran diversidad de las causas de falla que los afectan. Y es aquí donde el ingeniero de distribución, debe diseñar un sistema en el que técnica y económicamente, se obtenga una solución óptima entre economía y confiabilidad en el suministro de energía eléctrica. La confiabilidad en el suministro de energía eléctrica está relacionada con la presencia o ausencia de energía disponible en las acometidas de los consumidores.

Considerando lo anterior, uno de los aspectos fundamentales a considerar en el diseño de los sistemas de distribución es tener un mínimo número 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 a lo largo de las redes de distribución (en cascada), es necesario tener una selectividad en la operación de los mismos, es decir se debe fijar un criterio de operación en caso de falla de tal manera que operen en forma coordinada.

Al coordinar adecuadamente los equipos de protección instalados en serie (cascada) en las redes de distribución se pretende cumplir lo siguiente:

Quando por una falla permanente se presente una suspensión de servicio, la falla deberá restringirse a la mínima área posible.

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.

Reducir el tiempo para localizar fallas permanentes, al estar restringidas a un área mínima.

Prevenir daños disruptivos al equipo y elementos que conforman las redes de distribución.

Reducir al máximo las situaciones peligrosas para el público en general.

El criterio a seguir para la selección de las protecciones de un sistema de distribución está dado por la magnitud de la carga, grado de importancia y características de la misma, así como a los tipos de falla a que se pueda ver expuesta la instalación y el costo de las posibles alternativas de protección en función del grado de confiabilidad deseado.

BIBLIOGRAFIA

1. Análisis de sistemas eléctricos de potencia, William D. Stevenson, Editorial McGraw-Hill, México D.F. 1985.
2. Redes eléctricas, Jacinto Viqueira Landa, Editorial Representaciones y servicios de ingeniería, Volumen 1, México D.F. 1982.
3. Diseño de subestaciones eléctricas, José Raúl Martín. Editorial McGraw-Hill, México D.F. 1987.
4. Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores, Gilberto Enríquez Harper, Editorial Limusa, México D.F. 1984.
5. Protección de sistemas de potencia e interruptores, B. Ravindranat, M. Chander. México D.F. 1980.
6. Manual de diseño de subestaciones, Compañía de Luz y Fuerza del Centro, Editado por relaciones industriales, México D.F. 1978.
7. Protección contra sobrecorriente, Alfredo Juárez, Salvador Hernández, Compañía de Luz y Fuerza del Centro, México D.F. 1989.
8. Generalidades de la protección contra sobrecorrientes, Estudios y Mecanización, Compañía de Luz y Fuerza del Centro, México D.F. 1986.
9. Líneas de transmisión y redes de distribución de potencia eléctrica, Gilberto Enríquez Harper, México D.F. 1980.
10. Reclosers; installation, operation and testing instruction, McGraw-Edison *Power systems*, 1987.
11. Arrancadores e interruptores eléctricos, F. Corona Martínez, Luis Hernández, Instituto Mexicano del Petróleo, 1984.
12. Proyectos eléctricos en sistemas de distribución, Varios Autores, C.L.y F. del Centro. México D.F. 1986.