



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

“DISEÑO, OPERACION Y PROTECCION DE INSTALACIONES  
ELECTRICAS INDUSTRIALES”. “PROTECCION DE  
SOBRECORRIENTE EN CIRCUITOS AEREOS DE MEDIANA  
TENSION”

**TRABAJO DE SEMINARIO**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
**MARCO ANTONIO JUAREZ RAMIREZ**

ASESOR: ING. MARIA DE LA LUZ GONZALEZ QUIJANO



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.

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



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



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

DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

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:

"Diseño, Operación y Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales".  
Protección de Sobrecorriente en Circuitos Aéreos de Mediana Tensión".

que presenta el pasante: Marco Antonio Juárez Ramírez

con número de cuenta: 09237675-9 para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN 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, Méx. a 06 de mayo de 2004

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>M. en I. Benjamín Contreras Santacruz</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Inq. María de la Luz González Quijano</u>	<u>[Firma]</u>
<u>IV</u>	<u>Inq. José Gustavo Orozco Hernández</u>	<u>[Firma]</u>

*“A un gran amigo muy especial: DIOS”*

*Gracias por ser quien soy ya vez sin ti mi vida no tendria sentido porque a través de mi vida llena de alegría, tristezas y triunfos, siempre me haz demostrado ser mi amigo y nunca me imagine estar en el lugar en donde me encuentro ahora, si no fuera por la ayuda que me brindas en cada instante de mi vida.*

*Por ser mi amigo fiel y por que siempre te encuentras a mi lado.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A mis padres:*

*Gracias por enseñarme a comprender  
la vida con su motivación.  
Mil gracias por hacer realidad este triunfo  
que es para ustedes*

*A mis hermanos:*

*Por el apoyo, cariño y  
comprensión que siempre  
me han dado.*

*Y a ti por ser la esperanza de  
vida que florece en medio del  
cariño verdadero.*

## *INDICE*

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCION</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>CAPITULO I.- ANTECEDENTES HISTORICOS</b> . . . . .	<b>7</b>
1.1. Naturaleza de la electricidad, pág. 8.- 1.2. Cargas positivas y negativas, 11.- 1.3. ¿Qué es la corriente eléctrica?, 12.- 1.4. La materia es de origen eléctrico, 12.- 1.5. La electricidad, 14.- 1.6. Conductor, 15.- 1.7. Aislador, 15.- 1.8. Semiconductor, 16.- 1.9. Producción de la electricidad, 16.- 1.9.1. Electricidad producida por energía friccional, 16.- 1.9.2. Electricidad producida por presión, 17.- 1.9.3. Electricidad producida por calor, 17.- 1.9.4. Electricidad producida por luz, 18.- 1.9.5. Electricidad producida por acción química, 18.- 1.9.6. Electricidad producida por magnetismo, 19.	
<b>CAPITULO II.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ENERGIA ELÉCTRICA</b> . . . . .	<b>20</b>
2.1. Sistemas de corriente alterna, pág. 21.- 2.2. Potencia activa, 25.- 2.3. Potencia reactiva, 27.- 2.4. Características generales de los sistemas de energía eléctrica, 29.- 2.4.1. Características de la carga de un sistema, 29.- 2.5. Fuentes de energía eléctrica, 29.- 2.6. Sistemas de transmisión y distribución, 30.- 2.7. Calidad del servicio, 31.- 2.8. Continuidad del servicio, 31.- 2.9. Regulación de voltaje, 34.- 2.10. Control de la frecuencia, 35.	
<b>CAPITULO III.- OPERACIÓN DEL SISTEMA</b> . . . . .	<b>37</b>
3.1. Características de la carga, pág. 38.- 3.1.1. Área típica de carga, 38.- 3.1.2. Muestreo de carga, 38.- 3.1.3. Densidad de carga, 39.- 3.1.4. Pronóstico de carga, 40.- 3.2. Conceptos y definiciones, 41.	
<b>CAPITULO IV.- SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA</b> . . . . .	<b>45</b>
4.1. Sistema eléctrico de potencia, pág. 46.- 4.2. Clasificación de los sistemas de distribución, 48.- 4.3. Principales componentes de los sistemas de distribución, 50.- 4.4. Elementos secundarios de los sistemas de distribución, 50.- 4.4.1. Cuchillas, 51.- 4.4.2. Interruptores, 54.- 4.4.3. Capacitores, 57.- 4.4.4. Fusibles, 58.- 4.4.5. Restauradores, 59.- 4.4.6. Seccionadores, 61.	

<b>CAPITULO V.- PROTECCIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN AÉREAS. . . . .</b>	<b>64</b>
5.1. Introducción, pág. 65.- 5.2. Dispositivos de protección empleados en las redes de distribución, 67.- 5.3. Restauradores, 67.- 5.3.1. Funcionamiento de un restaurador, 68.- 5.3.2. Curvas características corriente-tiempo para restaurador rápido "A" y de retardo "B y C", 69.- 5.4. Fusibles, 72.- 5.5. Corta circuitos fusible, 76.- 5.6. Fusibles de potencia, 82.- 5.7. Seccionadores, 83.- 5.7.1. Funcionamiento de un seccionador, 83.- 5.8. Componentes del equipo reconector, 85.- 5.8.1. Funcionamiento, 86.- 5.8.2. Gabinete de control y comunicaciones, 87.- 5.9. Protección de transformadores de distribución, 88.- 5.9.1. Sobre carga permisible en transformadores, 90.- 5.10. Protección de bancos de condensadores, 90.	
<b>CAPITULO VI.- COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN. . . . .</b>	<b>92</b>
6.1. Lineamientos básicos. pág. 93.- 6.2. Funcionamiento y aplicación de los relevadores de sobrecorriente, 94.- 6.3. Subestaciones con sistema de protección fusible-relevador, 97.- 6.4. Subestación con sistema de protección relevador-relevador, 99.- 6.5. Alimentadores primarios, 100.- 6.6. Redes de distribución, 102.- 6.6.1. Coordinación interruptor-fusible lado carga, 103.- 6.6.2. Coordinación interruptor-restaurador, 105.- 6.6.3. Coordinación restaurador-fusible del lado carga, 106.- 6.6.4. Coordinación restaurador-fusible del lado alimentación, 108.- 6.6.5. Coordinación restaurador-seccionalizador, 109.- 6.6.6. Coordinación restaurador-seccionalizador-fusible, 111.- 6.6.7. Coordinación restaurador-restaurador, 112.- 6.6.8. Coordinación fusible-fusible, 116.- 6.6.9. Protección del conductor, 116.- 6.6.10. Detector de fallas de línea a tierra en restauradores, 117.	
<b>BIBLIOGRAFIA. . . . .</b>	<b>118</b>
<b>CASO PRÁCTICO. . . . .</b>	<b>120</b>

## *INTRODUCCION*

Un sistema de distribución debe estar diseñado para entregar energía a los puntos en que se va a utilizar, sin interrupciones ni restricciones y aun costo razonable. Para lograrlo, no se deben perder de vista las necesidades operacionales normales, y además se debe tomar una cantidad razonable de previsiones, para proteger al sistema y al suministro contra fallas y condiciones anormales.

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 corto circuito, 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.

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 de la falla por los equipos desconectados más cercanos a ella, la limitarán e impedirán 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 desconectador primario.

"Equipo de protección", es un termino que agrupa a todo el equipo necesario para detectar, localizar e iniciar el aislamiento, de una falla o condición anormal.

## **TIPOS Y CAUSAS DE FALLAS**

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 75 a 95% y esta relacionadas de algún modo con las condiciones climatológicas, pudiendo ser en algunos casos auto eliminadas 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 de 45 seg., siendo las causas más comunes las siguientes:

- Contacto instantáneo entre conductores desnudos, debido generalmente a la acción del viento.
- Contacto de objetos extraños al sistema (ramas de árboles, objetos colgantes, aves que disminuyen la distancia de aislamiento, etc.)
- Flameo de aisladores.
- Arqueos por contaminación ambiental.
- Sobrecorrientes instantáneas.

Se ha demostrado de acuerdo a estadísticas, que en el primer recierre se elimina hasta 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 aquellos que persisten sin importar con que rapidez se abra el circuito, siendo las más comunes las siguientes:

- Contacto sólido entre conductores o de conductor (es) a tierra (corto circuito 3 fases, 2 fases ó 1 fase).
- Vandalismo (daños al equipo).
- Sobrecargas permanentes.
- Degradación del aislamiento.
- Falla del equipo.
- Fraude.
- Conexiones erróneas.
- Mano de obra deficiente.

En el sistema subterráneo las fallas que se presentan son de tipo permanente, cuya interrupción es de duración prolongada, siendo las causas más frecuentes las siguientes:

- Envejecimiento de aislamiento, debido a sobrecargas o cortos circuitos.
- Esfuerzos eléctricos por sobretensiones, debido a voltajes transitorios.
- Perdida de aislamiento debido a la humedad, arborescencias, reducción por roedores, piquete mecánico en cables, mal manejo de equipo.
- Mano de obra deficiente.
- Falla de equipo.

*CAPITULO I*  
*ANTECEDENTES HISTORICOS*

## 1.1. NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD

La electricidad es una de las grandes maravillas de nuestro mundo moderno, una fuerza a la que debemos miles de los inventos y artefactos que vuelven tan placentera la vida en el siglo XX. Podemos considerar la electricidad como un descubrimiento bastante reciente, pero la gente experimento con esta fuerza desde hace muchos siglos.

La palabra "electricidad" viene del griego *elektron*, que significa "ámbar". Thales de Mileto, filósofo griego que vivió alrededor del 600 a.C., observo que ocurría algo extraño cuando frotaba un trozo de ámbar con un paño de lana; como resultado de la fricción, el ámbar adquiría la propiedad de atraer hacia sí objetos livianos como partículas de polvo, pajas, plumas y pequeñas hilachas. En otras palabras, el ámbar se electrificaba. Thales, que nada sabía de electricidad, pensó que esta propiedad era sólo una peculiaridad del ámbar.

Hubieron de pasar cientos de años, después de los experimentos de Thales de Mileto, para que se inventara la primera máquina electrostática, que fue el electróforo de discos de resina, de azufre o de vidrio que, al frotarlos, se cargaban de electricidad y al descargarlos producían una pequeña chispa, primera manifestación luminosa que provocaba el hombre a la electricidad.

Antes de que Volta se empeñara en una controversia con Galvani, la cual es clásica ahora, y ha hecho imposible discutir la obra de uno sin considerar la del otro, la electricidad no había alcanzado ningún uso práctico. Filósofos como Franklin, hicieron diversas especulaciones sobre esto y arrojaron en ocasiones alguna luz sobre la materia; pero la mayor parte de las teorías externadas, con excepción de Franklin, apenas si sobrevivieron a sus autores. Por el siglo XVIII la electricidad era el tópico obligado de las conversaciones en los grandes salones de París, y los sabios de aquella época trataban de explicar a los ignaros las maravillas de la electricidad de que hablaban los textos escritos en latín. No había entonces otro medio de producir electricidad, que frotando un pedazo de vidrio, resina, azufre, etc., con un trapo o piel de animal; aún en nuestros días en los laboratorios de Física, para demostrar estos fenómenos, se hace uso de un pequeño aparatito llamado el *péndulo eléctrico*, con el cual se repiten dichos experimentos de "atracciones" y "repulsiones" electrostáticas por medio de una varilla de cristal previamente frotada con un pedazo de paño.

Después, otros físicos construyeron máquinas arregladas para producir electricidad en una forma más intensa, más "formal", estas máquinas consistían generalmente en discos de vidrio, que voltocaban rápidamente por medio de un sistema de manubrio: así eran producidas chispas eléctricas de tamaño considerable. Otro aparato fue conocido en el siglo XVIII: la Botella de Leyden, que hoy se llama condensador. Esta botella está cubierta en su mitad por dentro y por fuera, con papel de estaño, a través del tapón lacrado pasa una varilla en contacto con la parte metálica interior de la Botella. Dicho aparato es en

realidad un condensador, pues cuando el extremo exterior de la Botella, terminado en una esfera, era conectado con una maquina electrostática, la cubierta interior de la botella se "cargaba" con electricidad. Tomando la Botella con una mano y tocando la esfera de la varilla con la otra, se obtenía un choque eléctrico que, según los más imaginativos y mendaces, podía producir hemorragia nasal, o un general enervamiento. Dean-Von Klist, de Camin, Alemania, que invento la Botella en la ciudad de Leyden (de donde viene el nombre), en 1745, aseguró que el choque obtenido por él, duro un segundo. En resumidas cuentas, las máquinas por fricción y la Botella de Leyden, fueron los únicos aparatos eléctricos que conocieron las gentes del siglo XVIII. La clase de electricidad demostrada en ambos aparatos (estática se llama en nuestros días), VENIA Y SE MARCHABA INMEDIATAMENTE. Así, una Botella de Leyden era cargada y descargada casi al mismo tiempo. La electricidad no podía ser "vacuada" en ella o "descargada" de ella, gradualmente como si fuera agua; la Botella estaba, o cargada o descargada y no llegó a obtenerse una corriente eléctrica constante. Por esta razón no se pudo obtener ningún progreso.

En aquellos días ocurrió un incidente que cambió por completo el curso de la Física, y proporcionó al movimiento de investigación eléctrica nuevos ímpetus: un día en el año de 1780, Luige Galvani, disecó una rana en su laboratorio para hacer estudios anatómicos y al colocarla en un barandal de hierro con un gancho de cobre, repentinamente la rana muerta entró en convulsiones. Galvani era una autoridad en cuestiones de anatomía y un hombre dado al estudio y a la investigación; tal hombre debería investigar el origen de aquellas convulsiones. Hoy día en los laboratorios de Física, se repite el clásico experimento de Galvani haciendo uso de una especie de compás, formado por un arco de cobre y otro de zinc, unidos por uno de sus extremos y tocando con los extremos libres el centro nervioso de una rana muerta y una de las patas del animal, observándose movimientos espasmódicos. Alejandro Volta, otro físico notable, contemporáneo y compatriota de Galvani, observando los experimentos de este sabio, llevo a la conclusión de que *el simple contacto de dos metales era suficiente para producir una corriente eléctrica.*

Alejandro Volta, habiendo descubierto el principio por el cual se logró que la electricidad pudiera ser obtenida en forma de una corriente continua, por medio de la pila, enriqueció al mundo con una fuente de energía. Mucho antes de que la dínamo fuera inventada, la corriente galvánica como curiosamente ha sido llamada, desempeñaba una labor muy útil, principalmente en la transmisión de mensajes telegráficos a través de centenares de kilómetros. En nuestros días cuando el hombre habla de la unidad eléctrica VOLT, inconscientemente rinde homenaje a Volta. Por cerca de tres décadas él ha sido considerado por el mundo como el "mago" que logro "dominar la chispa eléctrica". Hasta los días en que Faraday empezó a trazar los lineamientos de la moderna ingeniería eléctrica, ningún experimento se había realizado, que acusara un ingenio tan grande ni una habilidad tan completa como la que demostró Volta. La Pila de Volta *es el instrumento más maravilloso que ha salido de las manos del hombre*, sin exceptuar siquiera el telescopio, o la máquina de vapor; un ingeniero moderno encontrará este elogio tal vez un poco elevado; sin embargo, debemos reconocer que Volta hizo la electricidad manejable, convirtió la rapidísima chispa eléctrica en una corriente continua y poderosa, que más tarde llevaría la palabra humana a través de los continentes,

arrojaría luz sobre millones de fábricas y hogares y movería la mayor parte de la maquinaria del mundo. Otros físicos vinieron después a perfeccionar la primitiva celda galvánica inventando las pilas de dos líquidos, como la Pila de Bunsen, en la cual se usa como líquido excitador, el ácido sulfúrico diluido en agua, y como líquido despolarizante, el ácido nítrico.

Animada polémica sostuvieron Galvani y Volta sobre estos fenómenos, defendiendo Galvani su teoría de electricidad animal y Volta su teoría de contacto de diferentes metales, llevando Volta a la práctica el desarrollo de una corriente eléctrica, al inventar el primer generador electroquímico de electricidad dinámica.

En memoria de estos dos hombres de ciencia, se dice hasta la fecha que hay un par galvánico (o una celda galvánica), cuando por el contacto de dos metales se establece una diferencia de potencial. En efecto, la primera pila eléctrica de Volta, se formó del apilamiento de muchos pares galvánicos (cobre-zinc) a manera de formar una columna sostenida por tres barras de cristal, empezando por un disco de cobre, encima de éste un disco de zinc, después un disco de paño mojado en agua acidulada con ácido sulfúrico y después repitiendo sucesivamente los pares galvánicos, cobre-zinc y paño hasta terminar con un disco de zinc. Del primer disco de cobre partía un alambre y del último disco de zinc, otro; si se unían entre sí estos alambres, se observaba el paso de una corriente eléctrica; había chispa, y si los pares galvánicos eran numerosos se podían sentir, tomando los alambres con las manos, "toques" característicos al paso de una corriente del tipo continua.

Desde luego, ya teniendo construida esta primera pila, se notó la diferencia que había entre la forma de presentarse los fenómenos producidos por la máquina electrostática, que se resolvían en descargas y chispas luminosas producidos alrededor de los cuerpos electrizados; atracciones y repulsiones, y la forma tan distinta de la corriente eléctrica producida por la pila, llamándose a la electricidad que daba este aparato y otros similares que vinieron después, electricidad dinámica (o en movimiento); esta clase o forma de producirse esta electricidad, es semejante a la producida por las modernas máquinas generadoras industriales.

Después de haber sido inventada la primera pila por Volta, vinieron otros muchos hombres físicos ilustres de aquellos días ya bastante lejanos, a desarrollar bajo el mismo tema par galvánico y reacciones químicas, otras formas distintas de pilas, más o menos mejorando la primitiva forma de la pila voltaica, usando diferentes componentes, pero siendo en el fondo el mismo principio electroquímico.

Las pilas en sus distintas formas y usos de aplicación, llenaron toda una época gloriosa de experimentación, pero con el advenimiento del generador electromagnético. El procedimiento de generar corriente por medios electroquímicos en las pilas quedó relegado a muy pocas aplicaciones. Debemos quedar entendidos de lo siguiente: cualquier pila que sea, desde el punto de comparación industrial, como

máquina generadora de corriente, adolece de los siguientes defectos: casi todas las pilas “quemán” zinc, en vez de carbón; este metal (zinc), resulta, tomándolo como “combustible” de un enorme precio comparado con el carbón o petróleo. En tales circunstancias, una pila tomada como una “máquina”, es de un rendimiento bajísimo.

## 1.2. CARGAS POSITIVAS Y NEGATIVAS

Si bien puede crearse la electricidad estática por fricción en diversas clases de materiales, las cargas producidas de esta manera no son siempre de la misma clase. Cuando se frota una varilla de vidrio con un trozo de seda, se tendrá una clase de carga eléctrica, y otra carga diferente si se electrifica una varilla de ebonita frotándola con un trozo de franela o de piel.

Podemos demostrar que esto es cierto efectuando un experimento sencillo: si sostenemos una varilla de vidrio cargada cerca de una de ebonita en la misma condición, las dos se atraen, y van la una hacia la otra. Para efectuar este experimento debemos colgar las varillas de modo que tengan libertad para moverse en el espacio. Si, por otro lado, suspendemos dos varillas de vidrio, o de ebonita, cargadas, una cerca de la otra, se repelerán entre sí y se alejarán. De este experimento podría concluirse que existen dos clases de electricidad: una en la varilla de vidrio y otra en la de ebonita.

Los primeros investigadores que se dedicaron al estudio de la electricidad coincidieron en llamar a la carga de la varilla de ebonita, *negativa*, y a la de vidrio, *positiva*.

Sabían que cargas eléctricas distintas se atraen entre sí, mientras que las iguales se repelen. También conocían que la mayor parte de las sustancias, en su estado normal, es neutra, pues no tienen carga positiva ni negativa. Pero no comprendían cómo un cuerpo normalmente neutro, como una varilla de vidrio o de ebonita, podía cargarse por fricción. Sólo cuando el hombre llegó a tener un conocimiento más íntimo de la estructura del átomo se comenzó a comprender el porqué y el motivo de tales cosas.

### 1.3. ¿QUE ES UNA CORRIENTE ELÉCTRICA?

Todos los experimentos modernos sobre el paso de la electricidad a través de los cuerpos conductores, nos llevan a considerar la corriente eléctrica, como un *flujo de electrones*; por lo tanto, una corriente eléctrica no es otra cosa que un "chorro" de gránulos eléctricos negativos. La denominación de *polo positivo* y *polo negativo* que todavía se usa en el lenguaje corriente, representa, respectivamente, el lugar adonde llegan o de donde salen los electrones; obsérvese que en la circulación de la corriente eléctrica en los conductores metálicos, cuando la electricidad se comparaba con un líquido o "fluido continuo", se creía que el polo positivo era el punto de donde partía el "fluido" y por tanto se tenía un concepto de polaridad eléctrica contrario al verdadero. Esto tiene, sin embargo, su explicación: no conociéndose la naturaleza ni la estructura de la corriente eléctrica y manifestándose los efectos energéticos de la misma en el polo positivo, era lógico pensar que de éste "salía el fluido" que producía dichos efectos. Pero, comprobada la naturaleza de la corriente eléctrica en los conductores metálicos, formada por electrones que circulan por los mismos al igual que lo hacen las partículas de los líquidos dentro de los tubos empleados en la conducción; pero, sin el rozamiento que entre estas últimas tiene lugar, aunque sí con mayor fuerza viva y a velocidades fantásticas, debe considerarse natural que en el polo de donde parte realmente la corriente eléctrica y que continúa llamándose "negativo", no se manifiesten los efectos energéticos de los electrones, por la misma razón que una ametralladora que dispara un chorro de proyectiles, no produce los efectos en el punto de donde salen aquéllos sino donde chocan. De ahí esta confusión del nombre de los polos, denominación que todavía se conserva por comodidad y costumbre; pero que, por otra parte, no puede ya inducir a error por lo que es de esperar que aún por mucho tiempo se siga usando, sin mayores consecuencias o complicaciones.

### 1.4. LA MATERIA ES DE ORIGEN ELÉCTRICO

En el Universo no hay diferencia entre *materia* y *energía eléctrica*, sino en el sentido de que la primera es una manifestación visible de la segunda. Los dos "gránulos" eléctricos, positivos y negativos, o sean los *protones* y los *electrones*, son los dos elementos fundamentales de la naturaleza, cuyas combinaciones nos dan la sensación de la materia y representan otras tantas manifestaciones visibles de la energía eléctrica, única energía primordial; de las variadas y múltiples combinaciones de los dos gránulos eléctricos elementales, proceden todos los cuerpos simples y compuestos que estudian las ciencias químicas. Los átomos con que están compuestas las moléculas de materia contienen partículas muy diminutas unidas entre sí por fuerzas eléctricas. El núcleo, que está en el centro del átomo, se compone, principalmente, por partículas llamadas protones y neutrones. El protón lleva una carga de electricidad positiva, y el neutrón tal como indica su nombre, carece de carga eléctrica: es neutro. En torno del núcleo, partículas diminutas denominadas electrones, que llevan cargas de electricidad negativa, giran en forma algo parecida a como la Tierra y demás planetas lo hacen en torno del Sol. Normalmente, la carga de los

electrones de un átomo iguala o equilibra exactamente la carga positiva de los protones. En otras palabras, la carga positiva de los protones del núcleo se neutraliza con la negativa de los electrones.

Por lo general, los electrones externos no están unidos con firmeza al átomo del que forman parte. En algunos casos, la aplicación de calor puede producir un movimiento tan violento de las partículas, que algunos de los electrones exteriores son arrancados del cuerpo del átomo. En otros casos, la proximidad de otros cuerpos que llevan grandes cargas eléctricas arrancará algunos de los electrones. Así, un átomo puede perder electrones y, también ganar los de otro átomo.

Cuando un átomo pierde un electrón, sus cargas eléctricas ya no se equilibran o neutralizan entre sí. Queda con un exceso de carga positiva. Y si un átomo gana un electrón, tiene un exceso de carga negativa. Si se frota ebonita con un paño de lana, en realidad se están sacando electrones del paño y cediéndolos a la ebonita. Los electrones de los átomos que componen la tela están unidos con menos firmeza a sus átomos que los de la ebonita; como resultado, la lana queda con exceso de carga positiva, y la ebonita ha obtenido carga negativa en demasía. Exactamente lo inverso ocurre en el caso de la varilla de vidrio que se ha frotado con seda.

Los electrones que circulan alrededor del aglomerado central, son tanto más numerosos cuanto mayor es el átomo, es decir, cuanto mayor es su peso comparado con el del hidrógeno, que se toma como unidad. En el más pesado de todos los que conocemos en la Tierra, que es el uranio, llega a 92.

En consecuencia, no existen dos clases de electricidad, como creyeron los primeros experimentadores; sólo hay una. El cambio de carga sobre un objeto se debe al exceso o deficiencia de electrones. Cuando un cuerpo los tiene en exceso, decimos que posee carga negativa. Y si tiene deficiencia, decimos que posee carga positiva.

Pero al considerar la materia formada exclusivamente por protones y electrones, que son condensaciones enormes de energía eléctrica, encontramos que ambos corpúsculos se nos presentan como unos productos elaborados, cuyo método de construcción cae fuera del alcance de la razón humana; parece, pues, que la ciencia actual ha llegado al último eslabón de la estructura del Universo, que es el de la existencia de la masa de ambos; es sólo aparente, pues como antes hemos dicho, es una masa de origen electromagnético que depende de su velocidad; la idea más exacta que de ellos podemos formarnos, es que los electrones y los protones son, respectivamente, puntos de convergencia de líneas de fuerzas eléctricas, de las que el espacio está lleno. Cada vez que estos puntos del espacio varían de posición, se produce “un chorro” de ondas eléctricas que se propaga a la velocidad de la luz, o sea de 300,000 kilómetros por segundo, cuyas longitudes de onda dependen de la “sacudida” que ha experimentado. Estas ondas son las que transmiten por el espacio las vibraciones de aquellos corpúsculos eléctricos, en forma de inmensos conjuntos de radiaciones de energía.

## 1.5. LA ELECTRICIDAD

Así pues, a la pregunta de qué es la electricidad, la ciencia actual responde: *la electricidad circulando por los conductores, es el electrón o corpúsculo eléctrico negativo libre, o parcialmente liberado, del corpúsculo eléctrico positivo o protón, en quien reside lo que llamamos “la masa de los cuerpos” y que nos da la sensación de la materia.* Los fenómenos magnéticos son los electrones girando alrededor de su eje en el interior de los átomos de los imanes a lo largo de las espiras circulares, cuando las corrientes eléctricas producen efectos magnéticos. El conjunto de cargas positivas y negativas, es decir, de protones y electrones, en sistemas perfectamente definidos como los sistemas estelares y planetarios que pueblan el universo, constituyen lo que nosotros llamamos cuerpos simples y compuestos, en todas sus infinitas y variadas manifestaciones. Los movimientos de los electrones al girar vertiginosamente en sus órbitas y al saltar de unas a otras por diversas causas exteriores, producen ondas electromagnéticas que, según su longitud, tienen propiedades diferentes, y en orden decreciente de longitud de onda. Las llamamos: energía eléctrica, ondas hertzianas, calor, luz, rayos ultravioleta, rayos X y rayos cósmicos.

El universo es pues, un fantástico aglomerado de fuerzas eléctricas inmensas, regido por leyes maravillosas, cuya energía, de efectos formidables y extraordinariamente rápidos, llena el espacio sin límites y se manifiesta a nuestros sentidos y a nuestros aparatos de medida, en forma de materia o de radiaciones...

Pero, sea cual fuese la idea más cercana a la verdad sobre la naturaleza íntima de la electricidad, no es el propósito de estas líneas, extendernos más sobre este tema, sino concretarnos a obtener provecho de los fenómenos eléctricos en sus múltiples y útiles transformaciones, pues de su conocimiento se deriva su aplicación, por lo tanto, es necesario darnos perfecta cuenta de lo que observamos, para poderlo aplicar con propiedad y conocimiento de causa; solamente procediendo así, es posible utilizar la electricidad sin tener aversión por considerarla peligrosa para obtener de ella todo el fruto requerido. Es necesario saber para poder proceder, pues de otro modo equivaldría a poner en manos de un niño inexperto un revólver cargado, con los posibles resultados fatales; pero si se tiene idea sobre los fenómenos eléctricos, no nos parecerá la electricidad algo misterioso o peligroso, sino algo maravillosamente útil en las manos del hombre. Lo peligroso en verdad, es ignorar. Acerquémonos sin aversión alguna a los múltiples fenómenos eléctricos, pues es imposible aprovechar una fuerza cuando se desconocen sus componentes.

En la vida práctica, se presentan constantemente problemas cuya solución no es fácil para aquellos que no han tenido estudios profundos y constantes sobre la materia de que se trata, o que cuando menos han descuidado el fondo, atendiendo tan sólo a la forma.

## 1.6. CONDUCTOR

Ya se ha aprendido que la corriente eléctrica es el flujo de electrones. Los materiales que permiten el movimiento libre de los electrones se llaman *conductores*. El alambre de cobre es considerado como un buen conductor porque tiene muchos electrones libres. Los átomos de cobre se mantienen ligados debido a la estructura que el cobre forma cuando es un sólido. Los electrones de la órbita exterior del átomo del cobre no se encuentran muy fuertemente ligados y se pueden liberar con facilidad del átomo.

La energía eléctrica se transmite a través de los conductores por medio del movimiento de los electrones libres que emigran de un átomo a otro dentro del conductor. Cada electrón se mueve desde una distancia muy corta hacia un átomo vecino en donde sustituye a uno o más de sus electrones expulsándolos de su órbita exterior. Los electrones reemplazados repiten el proceso con otros átomos cercanos hasta que el movimiento de los electrones se ha transmitido a través de todo el conductor. Si la cantidad de electrones que se puede mover en un material es mayor para una fuerza aplicada determinada, entonces el conductor que se tiene es mejor. La plata es el mejor conductor pero comúnmente usamos el cobre, que le sigue en calidad, ya que es más barato. Poco antes hemos comenzado a usar el aluminio; cuando se usa correctamente es casi tan buen conductor como el cobre, pero mucho más barato. Los que siguen son el zinc, latón y hierro. En realidad, la mayor parte de los metales comunes son relativamente buenos conductores. El agua salada y soluciones similares de sales o ácidos son también buenos conductores de electricidad. El carbón, es también un buen conductor.

Cuando algunos metales son enfriados a unos  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  (escala centígrada) éstos muestran superconductividad. Bajo tales condiciones, estos metales no oponen fundamentalmente resistencia al flujo de los electrones. Se está desarrollando un uso práctico de la superconductividad en los motores eléctricos criogénicos (superfríos) y para los potentes electroimanes empleados en el trabajo de fusión nuclear.

## 1.7. AISLADOR

Los materiales que tienen muy pocos electrones libres son aisladores. En estos materiales, se requiere de una gran cantidad de energía para extraer a los electrones fuera de la órbita del átomo. Aun entonces, sólo se pueden librar pocos a la vez. Actualmente no existe una cosa tal como un aislador perfecto. En consecuencia, no hay una división bien definida entre los conductores y los aisladores; los aisladores se pueden considerar como malos conductores. Los materiales tales como el vidrio, mica, hule, plásticos, cerámica y esquistos se consideran entre los mejores aisladores. El aire seco es también un buen aislador, otro nombre para aislador es *dieléctrico*.

Le puede sorprender saber que los aisladores son tan importantes como los conductores, porque sin ellos no sería posible mantener a los electrones fluyendo en las zonas en que deseamos y evitarlos en donde no se requieren.

## **1.8. SEMICONDUCTOR**

Como el nombre lo sugiere, un semiconductor es un material que tiene algunas características tanto de los aisladores como de los conductores. En la actualidad, estos materiales semiconductores se han hecho en extremo importantes como la base de los transistores, diodos y otros dispositivos del estado sólido. Los semiconductores están hechos comúnmente de germanio o silicio, pero también se usan el selenio y el óxido de cobre, tanto como otros materiales. Para convertir estos materiales en semiconductores se les añade impurezas cuidadosamente controladas durante la fabricación. La cuestión importante acerca de los semiconductores no es el hecho de que estén en un punto medio entre los aisladores y los conductores, sino el que cuando estén hechos apropiadamente, conducirán electricidad en un sentido mejor que en el otro.

## **1.9. PRODUCCIÓN DE LA ELECTRICIDAD**

La fuente más común de electricidad y en realidad, la de casi toda la energía eléctrica que usamos es la que se obtiene por la interacción de los conductores con los campos magnéticos. La segunda fuente más común incluye a la acción química y el ejemplo que ha visto con más probabilidad es el de la batería. Otras fuentes de energía para generar electricidad son en orden descendente según su importancia, la luz, el calor, la presión y fricción. Recuerde que, generar electricidad es convertir otras formas de energía en la diferencia de potencial que se requiere para producir un flujo de corriente.

### **1.9.1. ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR ENERGÍA FRICCIONAL**

Se aprendió anteriormente que la electricidad estática (o por fricción) se puede producir frotando dos materiales distintos. La fuente de energía en este caso proviene de los músculos de su brazo que a su vez, producen la separación de las cargas. Una de las aplicaciones de la electricidad por fricción o estática, es en el dispositivo empleado en la investigación atómica llamado generador de Van de Graaf que genera pequeños rayos luminosos.

Aunque actualmente no se genera electricidad estática por fricción, la electricidad estática tiene algunas aplicaciones importantes. Una de las más importantes está en el uso de la electricidad estática en los precipitadores electrostáticos para eliminar el carbón y la ceniza muy fina y otras partículas de los gases que salen de las chimeneas.

Otra aplicación importante de la electricidad estática es su uso en el desarrollo de la copiadora xerográfica -Xerox, IBM, etc. Los efectos electrostáticos se usan en las técnicas para la impresión de las copias que son los duplicados de los originales.

Otra aplicación útil de la electricidad estática es la de los procesos de pintura electrostática para pintar grandes volúmenes en líneas de ensamble, aun los objetos de formas tan irregulares como las carrocerías para automóviles, gabinetes para refrigeradores, etc.

### **1.9.2. ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR PRESIÓN**

La electricidad producida por presión se llama piezoeléctrica, la cual es generada por ciertos materiales cristalinos. Los cristales son arreglos de átomos ordenados en contraste con los materiales no cristalinos cuyos átomos son modelos dispersos. Los materiales cristalinos pueden ser elementos puros o compuestos. Dos ejemplos de cristales que existen en la naturaleza son el cuarzo, que es el mayor componente de la arena común de playa y el diamante, que es la forma cristalina del carbón. Los materiales más comúnmente empleados para la producción de la piezoelectricidad son el cuarzo, el titanato de bario (una cerámica).

Si bien el uso real de la presión como fuente de electricidad (piezoelectricidad) está limitado en aplicaciones de muy baja potencia, se le encontrará en distintos tipos de equipo. Micrófonos de cristal, los fonógrafos de cristal y equipos de sonar que emplean cristales para generar cargas eléctricas por presión. En estas aplicaciones la energía mecánica proviene de la presión por sonido o energía acústica que mueve a un diafragma que está en forma mecánica acoplado al cristal.

### **1.9.3. ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR CALOR**

Si se calienta uno de los extremos de una porción de un metal, tal como el cobre, los electrones tienden a alejarse de la terminal caliente hacia la terminal fría. Si bien esto es cierto en la mayoría de los materiales, algunos, como el hierro, se comportan de otra manera; esto es, los electrones tienden a fluir hacia la terminal caliente. Entonces, si se trenzan un alambre de hierro con uno de cobre para formar una unión, la cual se calienta, el flujo de electrones dará como resultado una diferencia de cargas entre las terminales libres de los alambres. (También se debe mencionar que si se aplica frío, los electrones fluirán, pero en dirección opuesta).

Ola cantidad de carga producida depende de la diferencia de temperaturas entre la unión y las terminales opuestas de los dos alambres. Una diferencia de temperatura más grande da como resultado una carga mayor.

A una unión de este tipo se le llama termopar y producirá electricidad siempre que se le aplique calor.

#### **1.9.4. ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR LUZ**

La electricidad se puede producir (o controlar) usando a la luz como fuente de energía. Esto ocurre porque los materiales como el potasio, sodio, germanio, cadmio, cesio, selenio y silicio, emiten electrones cuando son excitados por la luz bajo condiciones adecuadas. A esta emisión de electrones se le llama efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico se emplea de tres maneras. La luz produce fotoemisión; el rayo luminoso incidente hace que la superficie emita electrones, los cuales se agrupan para formar una corriente eléctrica. La luz produce un cambio en la forma en que un material conduce electricidad. A esto se le llama efecto fotoconductor. El tercer efecto es el efecto fotovoltaico; la energía del rayo de luz incidente se convierte directamente en un flujo de electrones. Aunque los efectos fotoconductor y fotoemisor son muy útiles, particularmente en los sistemas electrónicos, la única fuente de cantidades significativas de electricidad por luz comprende el principio del efecto fotovoltaico. Las celdas solares que se usan para la potencia de los vehículos y satélites espaciales son de este tipo.

#### **1.9.5. ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR ACCIÓN QUÍMICA**

Las baterías son la fuente más común de electricidad por acción química. Una pila de combustión es otro dispositivo que se usa para generar electricidad por acción química. Las pilas de combustión tienen la ventaja de ser ligeras y de larga duración pero son demasiado caras y en consecuencia, en la actualidad se usan exclusivamente para aplicaciones militares y programas espaciales. En las pilas de combustión se combinan en forma directa gases como el hidrógeno y oxígeno para formar agua y la energía liberada por esta reacción se usa directamente para generar electricidad.

### **1.9.6. ELECTRICIDAD PRODUCIDA POR MAGNETISMO**

El método más común para producir la electricidad que se utiliza como corriente eléctrica es el que emplea el magnetismo. La fuente de electricidad debe ser capaz de mantener una diferencia de potencial grande debido a que esa carga se emplea para suministrar corriente eléctrica.

Casi toda la energía eléctrica empleada, excepto para equipos de emergencia y portátiles operados con baterías, proviene originalmente de un generador de una planta eléctrica. El generador puede ser accionado por una fuerza hidráulica, una turbina de vapor con calentamiento de carbón, petróleo, gas o energía atómica o un motor de combustión interna. No importa la manera de accionar el generador, la energía eléctrica que produce es el resultado de la acción entre los alambres y los imanes dentro del generador. Recuerde, que la electricidad no produce potencia por sí misma, sino que la conduce.

*CAPITULO II*  
*CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS*  
*DE ENERGIA ELECTRICA*

## 2.1. SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA

Con el invento del transformador por Gaulard y Gibbs en 1883 se hizo posible la elevación eficiente y económica de la tensión utilizando sistemas de corriente alterna. Por esta razón el sistema de corriente alterna para la generación y transmisión desplazó al de corriente continua, permitiendo la transmisión de grandes cantidades de energía eléctrica a grandes distancias. En la distribución, el uso de la corriente alterna se ha generalizado también, aunque sobrevivieron hasta fechas recientes algunos sistemas de distribución de corriente continua en algunos sectores de ciertas ciudades. Por otra parte la superioridad del motor de corriente continua sobre el de corriente alterna para las aplicaciones de tracción, hizo que se haya mantenido hasta la fecha sistemas de tracción de corriente continua. Sin embargo actualmente se prefiere hacer la alimentación con corriente alterna y realizar la conversión de alterna a continua en las mismas locomotoras.

Los primeros sistemas de corriente alterna fueron monofásicos. En 1884 Gaulard realizó una transmisión de corriente alterna monofásica, en la región de Turín (Italia). En 1886, en Estados Unidos, y en 1887 entró en servicio un sistema de transmisión y distribución con corriente alterna en la ciudad de Lucerna (Suiza) y en 1888 en Londres.

En 1883 Telsa inventó las corrientes polifásicas, y en 1887 patentó en Estados Unidos un sistema de transmisión trifásico.

La primera línea de transmisión trifásica se construyó en 1891 en Alemania, con una longitud de 180 Km. y una tensión de 12,000 volts.

El sistema de corriente alterna trifásico se desarrolló rápidamente y es actualmente de empleo general, ya que presenta la ventaja de que la potencia total suministrada es constante, siempre que el sistema trifásico sea equilibrado, mientras que en un sistema monofásico la potencia suministrada es pulsante. Además, para una misma potencia, un generador o un motor monofásico es más grande y por lo tanto más caro que el correspondiente trifásico.

Se compara a continuación, desde el punto de vista del costo de los conductores, un sistema monofásico de dos hilos con un sistema trifásico de tres hilos (Fig. 2.1) y un sistema monofásico de tres hilos con un sistema trifásico de cuatro hilos (Fig. 2.2), suponiendo que se transmite la misma potencia, con las mismas pérdidas, a la misma distancia y con la misma tensión a tierra; esta última condición determina el aislamiento en las líneas aéreas y en los cables monofásicos.

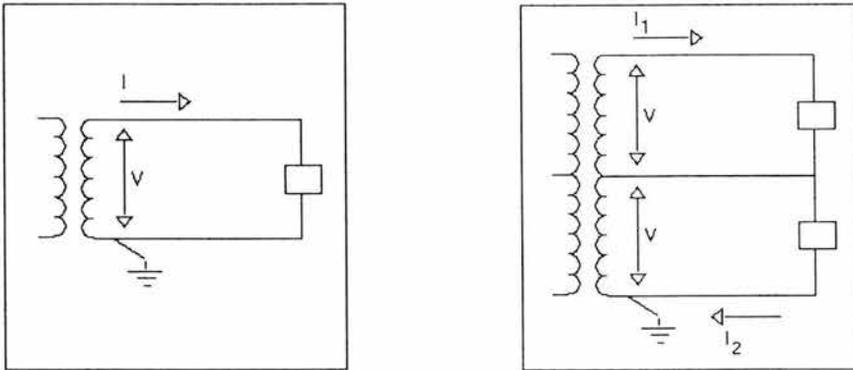


Fig. 2.1. Sistemas monofásicos de dos y tres hilos

Llamamos:

$P$  = potencia real transmitida

$p$  = pérdidas por efecto joule

$V$  = tensión a tierra

$I_1, I_2, I_3, I_4$  = corrientes que circulan por los conductores como se indica en las figuras.

$R_1$  = resistencia de cada conductor, sistema de una fase, dos hilos

$R_2$  = resistencia de cada conductor, sistema de una fase, tres hilos

$R_3$  = resistencia de cada conductor, sistema de tres fase, tres hilos

$R_4$  = resistencia de cada conductor, sistema de tres fase, cuatro hilos

Se supone que la carga conectada está equilibrada y que el factor de potencia de las cargas es el mismo en todos los casos.

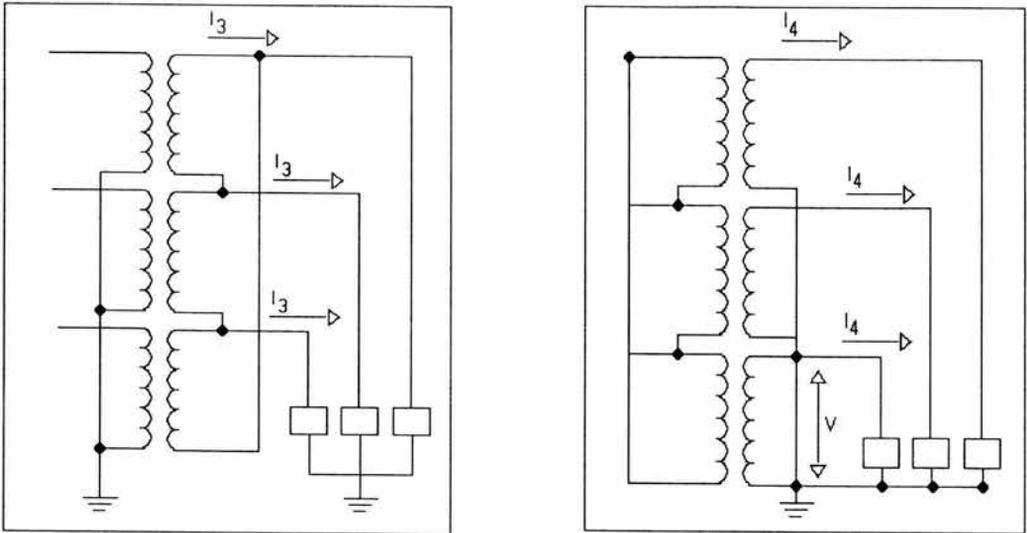


Fig. 2.2. Sistemas trifásicos de tres y cuatro hilos

Para el caso del sistema monofásico de dos hilos:

$$P = VI \cos \phi \qquad I_1 = \frac{P}{V \cos \phi}$$

$$p = 2R_1 I_1^2 = \frac{2R_1 P^2}{V^2 \cos^2 \phi}$$

Para el caso del sistema trifásico de tres hilos:

$$P = 3VI_3 \cos \phi \qquad I_3 = \frac{P}{3V \cos \phi}$$

$$p = 3R_3 I_3^2 = \frac{3R_3 P^2}{9V^2 \cos^2 \phi}$$

Igualando las pérdidas en los dos casos anteriores

$$\frac{2R_1 P^2}{V^2 \cos^2 \phi} = \frac{3R_3 P^2}{9V^2 \cos^2 \phi}$$

$$\frac{R_3}{R_1} = 6$$

Para la misma longitud y la misma resistividad, el área de la sección recta de los conductores es inversamente proporcional a la resistencia y el peso y por lo tanto el costo de los conductores es directamente proporcional al área. El peso total de los conductores del sistema trifásico es la cuarta parte del peso de los conductores del sistema monofásico.

Se comparará ahora el costo de los conductores de un sistema monofásico de tres hilos con un sistema trifásico de cuatro hilos. Las secciones del tercer hilo de sistema monofásico y del cuarto hilo del sistema trifásico son, respectivamente, la mitad de la sección de los conductores de fase correspondientes.

Si las cargas están equilibradas no circulará ninguna corriente por los neutros.

Para el caso del sistema monofásico de tres hilos se tiene:

$$P = 2VI_2 \cos \phi \qquad I_2 = \frac{P}{2V \cos \phi}$$

$$P = 2R_2 I_2^2 = \frac{2R_2 P^2}{4V^2 \cos^2 \phi}$$

Para el caso del sistema trifásico de cuatro hilos, si no circula corriente por el neutro se tendrá la misma expresión para las pérdidas que la hallada para el sistema trifásico de tres hilos:

$$P = \frac{3R_4 P^2}{9V^2 \cos^2 \phi}$$

$$\frac{R_4}{R_2} = \frac{3}{2}$$

Tomando en cuenta la existencia del conductor neutro en ambos sistemas, cuya sección es la mitad de la sección de los conductores de fase:

$$\frac{\text{Pesoconductores } 3\phi, 4\text{hilos}}{\text{Pesoconductores } 1\phi, 3\text{hilos}} = \frac{2 \times 35}{3 \times 25} = \frac{7}{75}$$

o sea, el sistema trifásico de cuatro hilos resulta algo más económico desde el punto de vista de los conductores.

Actualmente se usan sistemas de corriente monofásicos únicamente en algunos sistemas de distribución, especialmente en Estados Unidos y para la alimentación de sistemas de tracción eléctrica. En todos los casos estos sistemas monofásicos se alimentan desde sistemas trifásicos.

Por lo que hace a los sistemas trifásicos, se usan tres conductores siempre que el desequilibrio entre las potencias de las tres fases es pequeño, que es el caso en las aplicaciones de transmisión. En los sistemas de distribución se usa frecuentemente el cuarto hilo, especialmente en los circuitos de baja tensión.

En lo que se refiere a la frecuencia eléctrica utilizada en los sistemas de corriente alterna, inicialmente se prefirieron frecuencias bajas para disminuir las reactancias inductivas de las líneas y por razones de diseño de los motores de tracción, lo que hizo que se extendiera el uso de las frecuencias de 25 Hz. Posteriormente se fue imponiendo el uso de frecuencias más elevadas, de 50 Hz y 60 Hz, debido a que una frecuencia mayor permite utilizar circuitos magnéticos de menor sección para una potencia dada, lo que da como resultado aparatos de menor tamaño y más baratos.

## 2.2. POTENCIA ACTIVA.

La potencia activa o efectiva es la que se utiliza para ejecutar trabajo en un circuito eléctrico y es máxima cuando la corriente y el voltaje están en fase y disminuye a medida que se adelanta el voltaje a la corriente o viceversa. Esta disminución se debe al desarrollo de potencia negativa o reactiva en el circuito, la cual no sirve para ejecutar trabajo útil y se devuelve al generador.

Podemos decir que el factor de potencia disminuye, a medida que se hace más grande la diferencia de fase de la corriente y el voltaje, puesto que la potencia efectiva o activa disminuye en tales circunstancias. Como la potencia activa o efectiva es igual a la potencia aparente, multiplicada por el factor de potencia, claro es que si la potencia efectiva se reduce, es debido a que el factor de potencia es de valor más pequeño de lo que era previamente. La potencia aparente permanece fija, por la razón de que los valores efectivos de corriente y voltaje no cambian.

En la práctica se mide el factor de potencia con un Medidor de Factor de Potencia, o bien se puede calcular, con cierta aproximación, si se comparan los voltamperios (multiplicando las lecturas de un voltímetro y un amperímetro), con los watts que indique el wattímetro, como lo indicamos antes. En términos matemáticos se le llama "coseno del ángulo de atraso o adelanto" al factor de potencia.

Cuando el voltaje va delante de la corriente se dice que el circuito tiene un factor de potencia de atraso. Y cuando la corriente va adelante del voltaje, se dice que el factor de potencia está adelantado.

La potencia de una corriente alterna puede definirse expresando que es el producto del voltaje por la proyección ortogonal de la intensidad sobre el voltaje, bajo el ángulo de desfase que exista entre los dos.

Tenemos el voltaje  $E$  y la corriente  $I$  que están desfasados en un ángulo, ver la fig. 2.1. La proyección de la intensidad  $I$  sobre el voltaje  $E$  nos indica el valor por el cual debemos multiplicar ésta para hallar la potencia y vemos que este valor es igual a  $I$  por  $\cos \varphi$ . Luego el valor de la potencia de una corriente alterna vendrá expresado por:

$$E \times I \times \cos \varphi$$

donde  $\cos \varphi$  representa, como hemos visto, el factor de potencia.

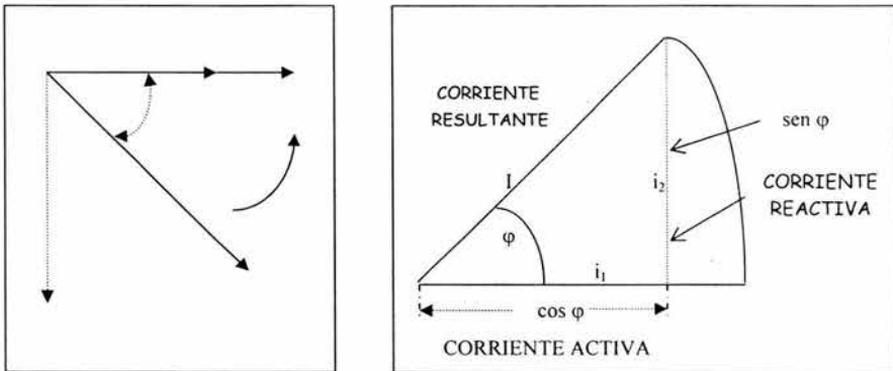


Fig. 2.1

A medida que el desfase va siendo mayor, el  $\cos \varphi$  va disminuyendo de valor, hasta que llega a anularse cuando el ángulo  $\varphi$  vale  $90^\circ$ . En este caso, se dice que la corriente y el voltaje están en cuadratura y entonces la potencia es nula, puesto que, como  $\cos 90^\circ = 0$ , tendremos:

$$E \times I \times \cos 90^\circ = 0$$

Vemos, pues, que en un circuito de corriente alterna no toda la intensidad produce watts. En el diagrama vectorial de la fig.1 se puede considerar que la intensidad  $I$  es la resultante en magnitud de  $i_1$  e  $i_2$ .

De estos dos componentes,  $i_1$ , que es la que coincide con la tensión  $E$  y cuyo valor con relación a  $I$  viene determinado por el  $\cos \varphi$ , del ángulo que forma con el voltaje, se le denomina corriente variada o que produce watts, e  $i_2$ , que está en cuadratura con el voltaje  $E$  y viene determinada por el valor del seno del mismo ángulo, se le llama corriente reactiva, devariada, magnetizante o de imanación.

Puesto que  $i_1$  e  $i_2$  son los catetos de un triángulo rectángulo y recordando el teorema de Pitágoras, tendremos que:

$$I = \sqrt{i_1^2 + i_2^2}$$

Vemos la importancia capital que en circuitos de C.A. tiene el denominado factor de potencia y muy especialmente para las centrales generadoras y distribuidoras de energía eléctrica, las cuales han dedicado y dedican una especial atención a este asunto.

En la casi totalidad de los circuitos de utilización de C.A. domina la inductancia a consecuencia sobre todo, de la autoinducción de las bobinas de los motores y transformadores, llegando en algunos casos a ocasionar un desfase en retraso de la corriente respecto al voltaje, tan marcado, que muchas veces el factor de potencia de la red es excesivamente bajo, no compensando ni en mucho los efectos de la autoinducción, la capacitancia de las líneas. Los hilos de las líneas de distribución forman las armaduras de un condensador cuyo dieléctrico es el aire.

### **2.3. POTENCIA REACTIVA.**

La potencia reactiva es la que se consume para la imanación de los solenoides o bobinas de los aparatos eléctricos, como son el crear los circuitos magnéticos de los electroimanes de los motores y transformadores y aun de las mismas líneas y que no se convierte en trabajo útil, es decir, en KWH. Por ello se le llama también potencia. En este caso, la intensidad está desfasada en retraso, respecto al voltaje y desde luego la determina el valor del SENO DE  $\varphi$ .

Al hablar de potencia aparente, potencia activa y potencia reactiva, no significa precisamente que se trate de tres clases diferentes de potencia eléctrica.

Esta clasificación viene determinada por las características funcionales de los fenómenos que ocurren en la composición de intensidades y voltajes, en corriente alterna.

En realidad y principalmente con relación a la capacidad de generación, transformación y transporte, la potencia es una, cuyo valor intrínseco viene determinado por la suma geométrica de lo que nombramos POTENCIA ACTIVA y POTENCIA REACTIVA, es decir, lo que llamamos POTENCIA APARENTE y cuyo valor expresa realmente la potencia puesta en movimiento en cada caso correcto de que se trate, aunque no toda se convierta en trabajo.

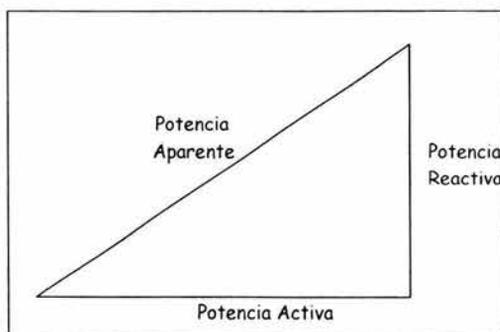


Fig. 2.2

En los aparatos de medida de energía, electromagnéticos o electrodinámicos, en corriente alterna, ya sean instantáneos o en función del tiempo, sus indicaciones son siempre, de hecho, proporcionales al coseno del ángulo existente en el circuito de utilización entre las componentes, intensidad y voltaje y por lo tanto sólo es posible obtener directamente de los aparatos el valor intrínseco de la energía o sea lo que llamamos potencia aparente, en el caso de que el ángulo en cuestión sea nulo, exactamente como una corriente continua.

En corriente alterna sólo es factible, como ya hemos dicho, obtener directamente de los aparatos de medida los valores de la potencia activa y potencia reactiva, valores que son caracterizados por los del COSENO Y SENO, respectivamente, del ángulo existente en el circuito de utilización, pero no los valores de la potencia aparente, pues para ello tenemos que valernos de ciertos artificios, que nos permitan con cierta aproximación y con un campo muy limitado cada vez, obtener su valor en función del tiempo y variación del ángulo, en el circuito de utilización

## **2.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

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 de servicio, de regulación de la tensión y de control de frecuencias requeridas.

### **2.4.1. CARACTERÍSTICAS 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, residencial).

En general una carga absorbe potencia real y potencia reactiva; es el caso por ejemplo de un motor de inducción. Naturalmente, las cargas puramente resistivas 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 en el sistema. Aunque la conexión y desconexión de las cargas individuales es un fenómeno aleatorio, la potencia total varía en función del tiempo siguiendo una curva que puede predeterminarse con bastante aproximación y que depende del ritmo de las actividades humanas en la región servida por el sistema.

## **2.5. FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

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 las plantas generadoras, en el caso de las plantas hidroeléctricas y mareomotrices o de las plantas geotérmicas, está determinada por el lugar donde se dan las condiciones naturales para realizar una conversión económica de la energía en energía eléctrica (incluyendo en la evaluación de la economía del proyecto el costo de la transmisión de la energía eléctrica hasta los lugares de consumo). En general este tipo de desarrollo 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. Esto seguirá siendo aplicable para las plantas generadoras con turbinas de gas, que se usan para operar durante las horas de demanda máxima y durante emergencias. En cambio para las plantas con turbinas de vapor la utilización de grandes unidades generadoras, que permite reducir el costo por Kw. instalado, conduce a instalarlas en lugares donde puede disponerse de agua suficiente para la refrigeración (si esto no es posible se utilizan torres de enfriamiento, pero esta solución encarece la instalación), donde puedan obtenerse terrenos a un costo razonable y pueda disponerse de combustible barato. Todos estos factores y los problemas de contaminación atmosférica contribuyen a alejar este tipo de plantas de los centros urbanos y por lo tanto hacer necesaria la instalación de un sistema de transmisión de alta tensión.

En las plantas nucleares el costo del transporte del material de fisión es despreciable, y no existe emisión de gases de combustión a la atmósfera, pero como en el caso anterior, el gran tamaño de las unidades, la necesidad de agua de refrigeración y consideraciones de seguridad hacen que tampoco se instalen en la proximidad de los centros de consumo.

## 2.6. SISTEMAS DE TRANSMISIÓN Y DE DISTRIBUCIÓN

En la Fig. 2.3 se representan esquemáticamente los principales elementos de un sistema de energía eléctrica.

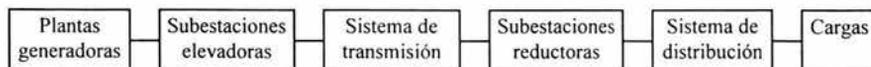


Fig. 2.3. Representación esquemática de un sistema de energía eléctrica.

En general, como ya se dijo, las plantas generadoras están alejadas de los centros de consumo y conectadas a éstos a través de una red de alta tensión, aunque algunas plantas generadoras pueden estar conectadas directamente al sistema de distribución.

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 o repartición, utilizando un nivel de tensión intermedio.

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

- \* Subestaciones elevadoras de las plantas generadoras.
- \* Subestaciones de interconexión de la red de alta tensión.
- \* Subestaciones reductoras para alimentar los sistemas de subtransmisión o de distribución.

## **2.7. CALIDAD DEL SERVICIO**

El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen correctamente. La calidad del suministro de energía eléctrica queda definida por los siguientes tres factores: continuidad del servicio, regulación del voltaje y control de la frecuencia.

## **2.8. CONTINUIDAD DEL SERVICIO**

La energía eléctrica ha adquirido tal importancia en la vida moderna, que una interrupción de su suministro causa trastornos y pérdidas económicas insoportables.

Para asegurar la continuidad del suministro debe tomarse las disposiciones necesarias para hacer frente a una falla en algún elemento del sistema. A continuación se mencionan las principales disposiciones:

- \* Disponer de la reserva de generación adecuada para hacer frente a la posible salida de servicio, o indisponibilidad, de cierta capacidad de generación.
- \* Disponer de un sistema de protección automático que permita eliminar con la rapidez necesaria cualquier elemento del sistema que ha sufrido una avería.
- \* Diseñar el sistema de manera que la falla y desconexión de un elemento tenga la menor repercusión posible sobre el resto del sistema.
- \* Disponer de los circuitos de alimentación de emergencia para hacer frente a una falla en la alimentación normal.
- \* Disponer de los medios para un restablecimiento rápido del servicio, disminuyendo así la duración de las interrupciones, cuando éstas no han podido ser evitadas.

Es conveniente analizar la influencia de la topología del sistema y del esquema de conexiones adoptado para las subestaciones, sobre la continuidad del servicio.

Por lo que hace a la topología de los sistemas, éstos pueden clasificarse en tres tipos: radial, anillo y red.

En un sistema radial (Fig. 2.4) las cargas tienen una sola alimentación, de manera que una avería en la alimentación produce una interrupción del suministro.

Con un sistema en anillo (Fig. 2.5) se tiene una doble alimentación y puede interrumpirse una de ellas sin causar una interrupción del suministro.

Con una red (Fig. 2.6) se aumenta el numero de interconexiones y consecuentemente la seguridad del servicio.

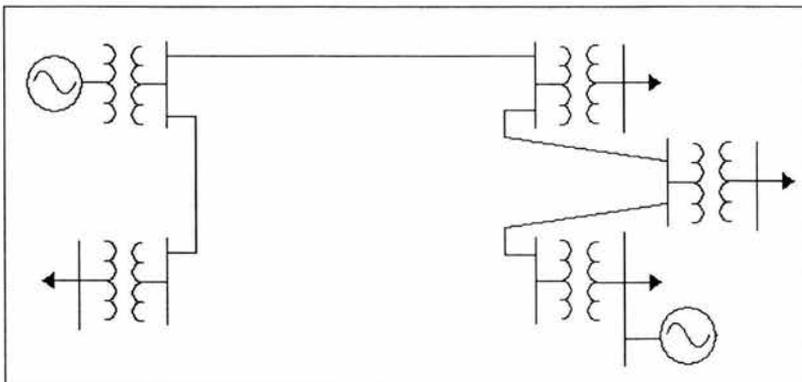


Fig. 2.4. Sistema radial

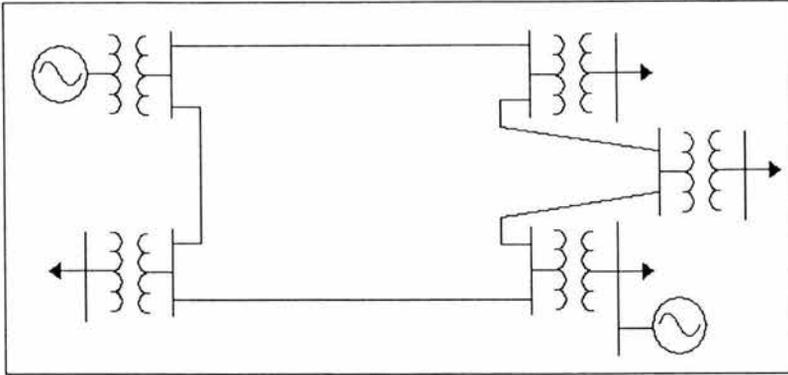


Fig. 2.5. Sistema de anillo

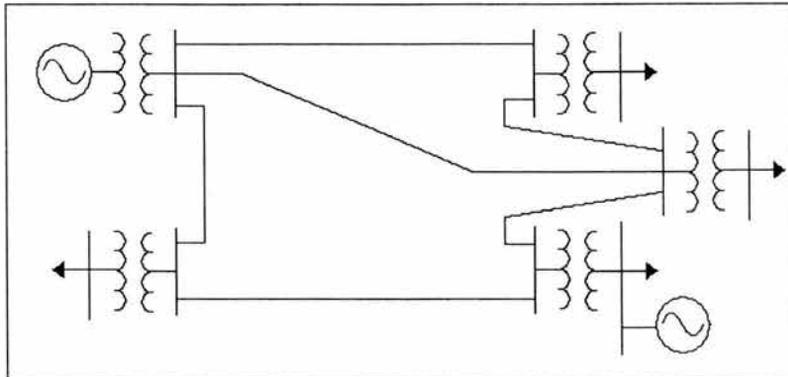


Fig. 2.6. Red

En el esquema de conexiones con un solo juego de barras colectoras, que es el que requiere el mínimo de equipo, una falla en las barras colectoras, eliminada por una protección adecuada que haga abrir los interruptores correspondientes, causa la interrupción de todas las líneas y transformadores conectados a las barras. Por otra parte la desconexión para realizar el mantenimiento o la reparación de uno de los interruptores causa la desconexión de la línea o el transformador correspondiente.

En el esquema con doble juego de barras colectoras y una protección automática para cada juego de barras, una falla en las barras causa la desconexión de la mitad de las líneas y transformadores. La revisión de un interruptor causa también la interrupción de la línea o el transformador correspondiente.

El sistema de doble juego de barras colectoras principales y un juego de barras colectoras auxiliares es similar al caso anterior por lo que respecta a su comportamiento en funcionamiento normal, pero la existencia del tercer juego de barras y de un interruptor adicional, permite utilizar éste para sustituir a cualquiera de los otros interruptores en caso de que necesiten desconectarse, sin interrumpir ninguna línea ni ningún transformador.

En el arreglo en anillo, se requiere el mismo número de interruptores que con el arreglo con un solo juego de barras colectoras, pero una falla en las barras no causa más que la desconexión del transformador conectado en esas barras. La limitación del arreglo en anillo es que no se presta fácilmente a una ampliación, la adición de una línea y un transformador requiere la instalación de un tercer juego de barras colectoras.

En el arreglo llamado de interruptor y medio una falla en las barras colectoras, provistas de la protección automática adecuada, causa la desconexión del juego de barras afectado por la falla sin desconectar ninguna línea ni ningún transformador. El arreglo de interruptor y medio requiere más equipo que el de anillo. Por otra parte el arreglo de interruptor y medio se presta fácilmente a ampliaciones posteriores.

## **2.9. REGULACIÓN DE VOLTAJE**

Los aparatos que funcionan con energía eléctrica están diseñados para operar a un voltaje determinado y su funcionamiento será satisfactorio siempre que el voltaje aplicado no varíe más allá de ciertos límites.

En general los motores de inducción están diseñados para trabajar satisfactoriamente con variaciones de  $\pm 10\%$  del voltaje nominal.

El equipo electrónico está diseñado generalmente para operar con una tolerancia de  $\pm 5\%$  del voltaje.

Todo lo anterior hace ver la importancia de la regulación del voltaje en un sistema eléctrico. Una variación de  $\pm 5\%$  del voltaje en los puntos de utilización, con respecto al voltaje nominal, se considera satisfactoria; una variación de  $\pm 10\%$  se considera tolerable.

## **2.10. CONTROL DE LA FRECUENCIA**

Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una frecuencia determinada, dentro de cierta tolerancia. No se ha llegado a una normalización internacional; los países de Europa, la mayor parte de los de Asia y África y algunos de Sudamérica han adoptado una frecuencia de 50 Hz. En Estados Unidos y otros países del continente americano los sistemas eléctricos funcionan a 60 Hz. Se emplean, además, en algunas partes, frecuencias de 16.66 Hz y 25 Hz en sistemas de tracción eléctrica.

En general, el equipo eléctrico de un sistema, principalmente los generadores y los transformadores, está diseñado para funcionar a una frecuencia determinada y lo mismo puede decirse de los aparatos de utilización; el diseñarlos para poder funcionar en un rango de frecuencias mayor; por ejemplo a 50 Hz y 60 Hz, aumenta su costo.

El rango de las variaciones de frecuencia que pueden tolerarse en un sistema depende tanto de las características de los aparatos de utilización, como del funcionamiento del sistema mismo.

Las cargas resistivas son, evidentemente, insensibles a las variaciones de frecuencia. En cambio las cargas constituidas por motores eléctricos que mueven distintos tipos de máquinas giratorias son afectadas en mayor o menor grado por las variaciones de frecuencia. La variación de la frecuencia causa una variación del mismo signo de la potencia consumida, que para algunas aplicaciones, puede significar una variación del 3% al 10% de la potencia consumida, para una variación de la frecuencia del 1% con respecto a su valor nominal.

Tomando en cuenta todos estos factores puede decirse que desde el punto de vista del buen funcionamiento de los aparatos de utilización es suficiente controlar la frecuencia con una precisión del uno por ciento.

Desde el punto de vista del funcionamiento del sistema, debe tenerse en cuenta que si los generadores conectados al sistema están girando a la velocidad correspondiente a la frecuencia nominal esto significa que existe un equilibrio entre la potencia real producida por los generadores y la potencia real absorbida por las cargas más las pérdidas del sistema.

Al producirse una variación de la carga conectada al sistema, se produce un desequilibrio que se refleja en una variación de la velocidad de rotación de las máquinas y en consecuencia de la frecuencia. Los reguladores de velocidad o gobernadores de cada turbina registran esta variación y actúan sobre las válvulas de admisión de fluido a la turbina, llegándose a un nuevo estado de equilibrio. Sin embargo este nuevo estado de equilibrio se establece a una frecuencia ligeramente distinta de la nominal, debido a las características de operación de los reguladores de velocidad. El lograr esto requiere un control de la

frecuencia mucho más preciso que el que sería necesario de acuerdo con las características de las cargas. Por esta razón los sistemas modernos controlan la frecuencia con una precisión del orden de  $\pm 0.05$  Hz.

Entre las características que debe cumplir la frecuencia de un sistema, puede incluirse su pureza o sea que el porcentaje de armónicas sea despreciable. Esto requiere, en primer lugar, que los generadores proporcionen una tensión lo más aproximada posible a una tensión sinusoidal. En segundo lugar hay que limitar a valores tolerables la aparición de armónicas en otros puntos del sistema, como pueden ser los circuitos magnéticos de los transformadores; una disminución excesiva de la frecuencia o un aumento de la tensión pueden causar la saturación del circuito magnético y la deformación de la onda de la tensión inducida.

La presencia de armónicas causa pérdidas adicionales y puede afectar el funcionamiento de ciertos tipos de aparatos; puede producir también fenómenos de resonancia que pueden dañar el equipo.

En general las armónicas de las ondas de tensión existentes en un sistema de energía eléctrica, representan un porcentaje suficiente reducido con relación a la onda fundamental para no causar problemas. Cuando éstos se presentan se debe casi siempre a la producción de armónicas en algún aparato de un consumidor.

## **CAPITULO III**

### **OPERACIÓN DEL SISTEMA**

### **3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA**

En la planeación de los sistemas de distribución una de las características importantes que establece el criterio de diseño, es lo que se conoce como la característica de la carga que varía según el tipo de usuarios ya que hay criterios distintos según sea de tipo industrial, residencial o rural por mencionar algunas en términos generales.

Con el objeto de comprender mejor el lenguaje y la terminología usada en la planeación y diseño de redes de distribución se establecen los siguientes conceptos y definiciones.

#### **3.1.1. ÁREA TÍPICA DE CARGA.**

Se entenderá como área típica de carga a una parte o sección de una población que tiene características más o menos uniforme en cuanto a las construcciones, nivel económico de los usuarios y tipo de actividades que se desarrollan. Esta definición y determinación de las áreas típicas de carga permite con relativa facilidad levantamientos estadísticos sobre la base de muestreos que permiten obtener la carga total del área y normalizar las soluciones de tipo técnico.

#### **3.1.2. MUESTREO DE CARGA.**

Un muestreo de carga consiste en seleccionar de las áreas típicas de carga previamente clasificadas cuando menos 3 cuadras (o más según sea el tamaño del área) para obtener una muestra representativa que contenga como mínimo la siguiente información: número de consumidores y el consumo total en el mes de mayor registro de la muestra en KWH.

Para que la muestra sea representativa se debe registrar esta información por lo menos 5 años antes del estudio, con esto se podrá obtener con cierto grado de confianza el índice de crecimiento de cada área, y así diseñar los sistemas y esquemas de distribución para un determinado número de años.

### 3.1.3 DENSIDAD DE CARGA.

Este concepto se puede establecer en dos formas, una es como carga en KVA ó MVA por unidad de área (Km<sup>2</sup>) que es un método generalizado y la otra que corresponde propiamente a un diseño de detalle que establece la densidad de carga el numero de KW por cada 100 m de calle para suministrar el servicio.

Si se parte del muestreo de carga descrito en el párrafo anterior, la información que se dispone son KWH por cada 100 metros y entonces se deben convertir a KW como sigue:

$$KW = KWH \left( 0.1076 + \frac{0.1114}{N} \right) - 1.286$$

Donde:

KW = Demanda diversificada.

N = Numero de consumidores considerado.

KWH = Consumo promedio del muestreo por cada 100 metros.

Si desea aplicar la expresión anterior para determinar el índice de crecimiento (IC), en la expresión anterior se sustituye el numero de consumidores y el consumo en KWH del mes que hubiera tenido el mayor consumo al año actual de una muestra y se obtendrán los KW de demanda una calle o cuadra por analizar, la densidad de carga en KVA/100 metros requiere de la estimación del factor de potencia promedio de manera que

$$\frac{KVA}{100\text{metros}} = \frac{KW}{\cos \varphi} \times 100$$

Para cada área típica en la que se ha determinado la densidad de carga, para cada año bajo estudio se puede determinar el índice de crecimiento como:

$$IC = \left( \frac{KW_1}{KW_n} \right)^{\frac{1}{n}} - 1.0$$

Donde:

IC = Índice de crecimiento.

KW<sub>1</sub> = Densidad de carga del primer año.

KW<sub>n</sub> = Densidad de carga del último año.

n = Numero de años en que se toma la muestra.

### 3.1.4. PRONOSTICO DE CARGA.

Todos los métodos de pronostico se basan en la observación de un conjunto de puntos extrapolándolos a partir de datos o reportes anteriores, esto requiere que los datos estadísticos sean tan precisos como sea posible y que cubran un margen suficientemente amplio y confiable, por lo que las compañías suministradoras de energía eléctrica deben disponer en sus departamentos de planeación, oficinas o grupos de trabajo que obtenga los datos estadísticos de los distintos tipos de consumidores en forma rápida y correcta ya que no hay ningún pronostico valido si se hace uso de información incorrecta.

Con el objeto de eliminar las variaciones en los datos se emplean las llamadas curvas de extensión, y en la actualidad existen muchos métodos que hacen uso de programas de computadora. En los sistemas de distribución se hace el pronostico de carga basándose en dos índices conocidos como:

a) Crecimiento vertical.

Este crecimiento se refiere al aumento que se produce en la demanda en un área que ya cuenta con servicio eléctrico y que puede ser motivado por los siguientes factores:

Construcción de conjuntos habitacionales y fraccionamientos, creación y/o ampliación de centros comerciales, cambios climatológicos bruscos, modificación en la forma de vida y costumbres de los consumidores.

b) Crecimiento horizontal.

Este crecimiento se refiere al aumento en la demanda para el suministro de la energía eléctrica debido a la creación de conjuntos habitacionales, colonias, ampliación de colonias, creación de fraccionamientos y nuevos conjuntos habitacionales, electrificación rural, pozos de agua potable y estaciones de ferrocarril.

### 3.2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES.

Los términos comúnmente usados en la planeación y diseño de redes de distribución corresponden por lo general a los siguientes conceptos y definiciones:

- ⇒ Carga instalada.- Es la suma de las potencias nominales de los aparatos y equipos que se encuentran conectados en un área determinada, se expresa por lo general en KVA ó en MVA.
- ⇒ Demanda.- Es la potencia que consume la carga medida por lo general en intervalos de tiempo (por ejemplo cada hora) y expresada en KW, KVA, o kiloamperes a un factor de potencia determinado.
- ⇒ Densidad de carga.- Es el cociente de la carga instalada y la longitud o el área de la zona considerada, se expresa en KVA/metro, KVA/Km<sup>2</sup> ó MVA/Km<sup>2</sup>.
- ⇒ Demanda máxima.- Es la máxima demanda que se tiene en una instalación o en un sistema durante un periodo de tiempo especificado por lo general en horas.
- ⇒ Factor de forma y factor de carga.- En la mayoría de los casos la carga no es constante durante el año, ya que la demanda de la energía eléctrica varía con la estación del año, por eventos especiales transmitidos por radio y televisión, por aumento de demanda, etc. cumpliéndose también esto para los sistemas de transmisión.

De acuerdo con las curvas de demanda, los valores eficaces de la curva anual se pueden determinar en forma gráfica o analítica, definiéndose el factor de forma (F.F.) para la curva anual como:

$$F.F. = \frac{\text{Valor eficaz de la curva de carga anual.}}{\text{Valor promedio de la curva de carga anual.}}$$

y el factor de carga (F.C.) como:

$$F.C. = \frac{\text{Valor promedio anual de la carga.}}{\text{Máximo valor de la carga en el año.}}$$

- ⇒ Factor de demanda (F.D.). - Es el cociente de la demanda máxima de un sistema y la carga instalada en el mismo.

$$F.D. = \frac{\text{Demanda máxima.}}{\text{Carga instalada.}}$$

→ Factor de diversidad (F.H.). - Es el cociente de la suma de las demandas máximas individuales en las distintas partes de un sistema y la demanda máxima del sistema completo.

$$F.H. = \frac{\text{Suma de las demandas máximas individuales.}}{\text{Demanda máxima del sistema.}}$$

→ Factor de simultaneidad (F.S.). - Es una cantidad menor o igual a la unidad y se obtiene como el recíproco del factor de diversidad.

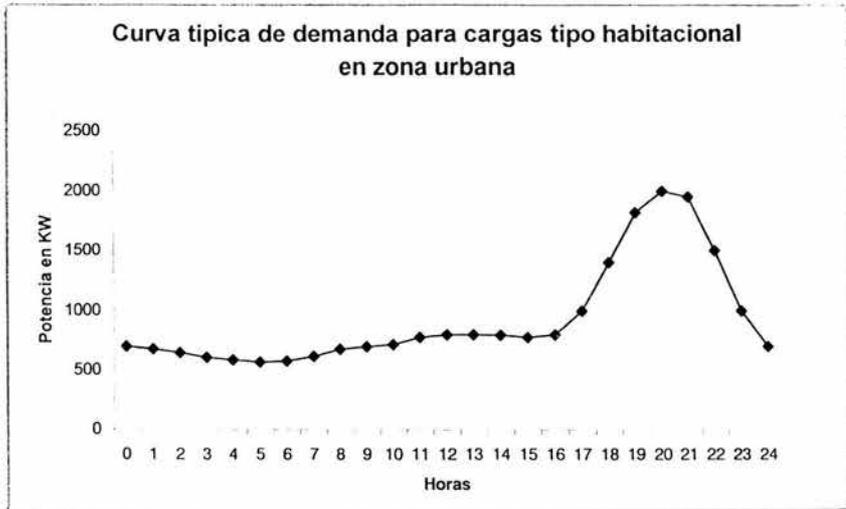
$$F.S. = \frac{1}{F.H.}$$

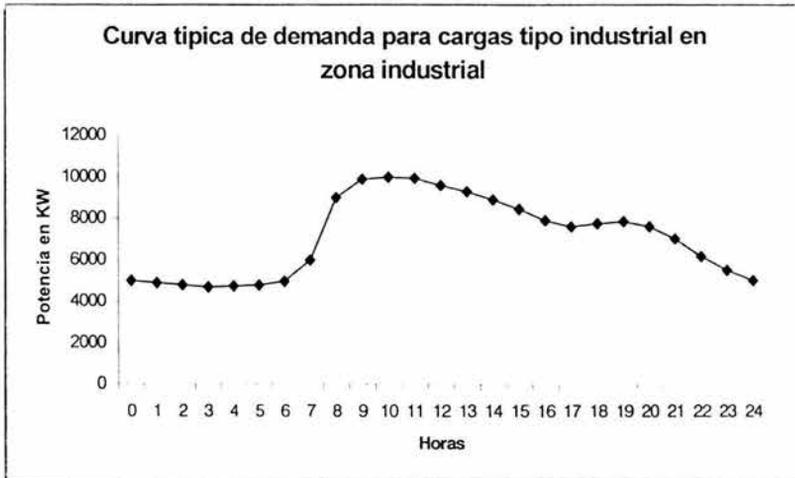
→ Demanda máxima diversificada promedio.- Cuando la curva de demanda de un sistema se obtiene como la suma de las demandas de los distintos elementos que lo constituyen, se define la demanda diversificada promedio como el cociente entre la demanda máxima de un sistema entre el número de elementos que lo constituyen, esta demanda se puede determinar en la forma siguiente para zonas urbanas o semiurbanas:

Se selecciona una zona o área parecida en características a la que se encuentra bajo estudio, y se efectúan mediciones de demanda en los alimentadores secundarios, se obtienen las curvas de demanda y se determinan los cocientes entre las demandas máximas y el número de servicios de cada alimentador expresándose los resultados en KW/manzana ó bien KW/lote, entendiéndose por “manzana” o “lote” a un área base delimitada por cuatro calles y que puede tener un área variable.

De acuerdo con las normas de distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLFC) en México, para las distintas zonas se tienen los siguientes tipos de cargas y características:

- A.- Residenciales (fraccionamientos y conjuntos habitacionales).
- B.- Comerciales.
- C.- Industriales.
- D.- Turísticas.
- E.- Rurales (centros de población, agropecuarios y mineros).





*CAPITULO IV*  
*SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA*

#### **4.1. SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP).**

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), es el conjunto de centrales generadoras, de líneas de transmisión interconectadas entre sí y de sistemas de distribución esenciales para el consumo de energía eléctrica.

El Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) está formado por tres partes principales: generación, transmisión y distribución; siendo:

La GENERACIÓN, es donde se produce la energía eléctrica, por medio de las centrales generadoras, las que representan el centro de producción, y dependiendo de la fuente primaria de energía, se pueden clasificar en:

- ⇒ Centrales Hidroeléctricas
- ⇒ Centrales Termoeléctricas
- ⇒ Centrales Geotermoeléctricas
- ⇒ Centrales Núcleo eléctricas
- ⇒ Centrales de Ciclo Combinado
- ⇒ Centrales de Turbo-Gas
- ⇒ Centrales Eólicas
- ⇒ Centrales Solares

Las características de las centrales eléctricas se relacionan con la subestación y la línea de transmisión en función de la potencia, la distancia a que se transmite y al área por servir.

- ⇒ LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, son los elementos encargados de transmitir la energía eléctrica, desde los centros de generación a los centros de consumo, a través de distintas etapas de transformación de voltaje; las cuales también se interconectan con el sistema eléctrico de potencia (SEP). Los voltajes de transmisión utilizadas en este país son: 115, 230 y 400 KV.

Una de las formas de clasificar las líneas de transmisión, es de acuerdo a su longitud, siendo:

- a) Línea corta de menos de 80 Km.
- b) Línea media de entre 80 y 240 Km.
- c) Línea larga de 240 Km. y más

- ⇒ SUBESTACIONES ELÉCTRICAS, en función a su diseño son las encargadas en interconectar líneas de transmisión de distintas centrales generadoras, transformar los niveles de voltajes para su transmisión o consumo.

Las subestaciones eléctricas por su tipo de servicio se clasifican en:

- ⇒ Subestaciones Elevadoras
- ⇒ Subestaciones Reductoras
- ⇒ Subestaciones Compensadoras
- ⇒ Subestaciones de Maniobra O Switcheo
- ⇒ Subestación Principal del Sistemas De Distribución
- ⇒ Subestación de Distribución
- ⇒ Subestaciones Rectificadoras
- ⇒ Subestaciones Inversoras

Sin duda la denominación de una subestación como transmisión o distribución es independiente de las tensiones involucradas, y está determinada por el fin a que se destinó. El objetivo a cumplir por una subestación es determinante en su ubicación física. Para esto, las subestaciones de transmisión están ubicadas alejadas de los centros urbanos, esto facilita, el acceso de líneas de alta tensión y la localización de terrenos lo suficientemente grandes para albergar en forma segura los delicados equipos para el manejo de alta tensión.

Por otra parte las subestaciones de distribución deben construirse en función del crecimiento de la carga, es decir, deben estar ubicadas en los centros de carga de áreas urbanizadas para, de esta forma, asegurar la calidad y continuidad del servicio al usuario.

Las subestaciones de distribución son alimentadas desde las subestaciones de transmisión con líneas o cables de potencia a la tensión de 230 o 85 kV, es lógico suponer que esta tensión no debe considerarse como de transmisión ni distribución para esta condición intermedia, se desarrolla el concepto de subtransmisión.

Los niveles de tensión para su aplicación e interpretación se consideran conforme lo indican las tarifas para la venta de energía eléctrica en su sección de aspectos generales, siendo:

- a) Baja tensión es el servicio que se suministra en niveles de tensión menores o iguales a 1 KV.
- b) Media tensión en el servicio que se suministra en niveles de tensión mayores a 1 KV., pero menores o iguales a 35 kV.
- c) Alta tensión a nivel subtransmisión es el servicio que se suministra en niveles de tensión mayor a 35 kV., pero menores a 220 kV.

- d) Alta tensión a nivel transmisión es el servicio que se suministra en niveles de tensión iguales o mayores a 220 kV.

Actualmente en nuestro país, la industria eléctrica está incrementando día con día su actividad, ya que tiene que satisfacer la demanda de su gran población. Es por esto, que el Sector Eléctrico tiene que desarrollar nuevas técnicas y métodos para su utilización en el suministro de energía eléctrica; ya que al haber más actividad, es inminente la urgencia de una mejor optimización de los sistemas eléctricos.

#### **4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.**

En función de su construcción estos se pueden clasificar en:

- ➔ Sistemas aéreos.
- ➔ Sistemas subterráneos.
- ➔ Sistemas mixtos.

**Sistemas aéreos**, estos sistemas por su construcción se caracterizan por su sencillez y economía, razón por la cual su utilización está muy generalizada. Se emplean principalmente para:

1. Zonas urbanas con:
  - a) carga residencial
  - b) carga comercial
  - c) carga industrial
2. Zonas rurales con:
  - a) carga doméstica
  - b) carga de pequeñas industrias (bombas de agua, molinos, etc.)

Los sistemas aéreos están constituidos por transformadores, cuchillas, apartarrayos, cortacircuitos fusibles, cables desnudos, etc.: los que se instalan en postes o estructuras de distintos materiales.

La configuración mas sencilla para los sistemas aéreos es del tipo arbolar, la cual consiste en conductores desnudos de calibre grueso en el principio de la línea y de menor calibre en las derivaciones a servicios o al final de la línea. Cuando se requiere una mayor flexibilidad y continuidad del servicio es posible utilizar configuraciones más elaboradas.

Los movimientos de carga se llevan a cabo con juegos de cuchillas de operación con carga, que son instaladas de manera conveniente para efectuar maniobras tales como: trabajos de emergencia, ampliaciones del sistema, conexión de nuevos servicios, etc. En servicios importantes tales como: Hospitales, edificios públicos, fábricas que por la naturaleza de su proceso de producción no permiten la falta de energía eléctrica en ningún momento; se instalan dos circuitos aéreos, los cuales pueden pertenecer

a la misma subestación de distribución, o de diferentes subestaciones, esto se realiza independientemente a que la mayoría de estos servicios cuentan con plantas de emergencia con capacidad suficiente para alimentar sus áreas más importantes.

En éste tipo de sistema se encuentra muy generalizado el empleo de seccionadores, como protección de la línea aérea, para eliminar la salida de todo el circuito cuando hay una falla transitoria.

**Sistemas subterráneos**, estos sistemas se construyen en zonas urbanas con alta densidad de carga y fuertes tendencias de crecimiento, debido a la confiabilidad de servicio y la limpieza que estas instalaciones proporcionan al paisaje. Naturalmente, este aumento en la confiabilidad y en la estética involucra un incremento en el costo de las instalaciones y en la especialización del personal encargado de construir y operar este tipo de sistema.

Los sistemas subterráneos están constituidos por transformadores tipo interior o sumergible, cajas de conexión, interruptores de seccionamiento, interruptores de seccionamiento y protección, cables aislados, etc.: los que se instalan en locales en interior de edificios o en bóvedas, registros y pozos construidos en banquetas.

Los principales factores que se deben analizar al diseñar un sistema subterráneo son :

- ➔ Densidad de carga
- ➔ Costo de la instalación
- ➔ Grado de confiabilidad
- ➔ Facilidad de operación
- ➔ Seguridad

**Sistemas mixtos**, este sistema es muy parecido al sistema aéreo, siendo diferente únicamente en que los cables desnudos sufren una transición a cables aislados. Dicha transición se realiza en la parte alta del poste y el cable aislado es alojado en el interior de ductos para bajar del poste hacia un registro o pozo y conectarse con el servicio requerido. Este tipo de sistema tiene la ventaja de eliminar una gran cantidad de conductores, favoreciendo la estética del conjunto, disminuyendo notablemente el número de fallas en el sistema de distribución y por ende aumentando la confiabilidad del mismo.

#### **4.3. PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.**

Los principales elementos componentes de un sistema de distribución son :

- a) Alimentadores primarios de distribución.
- b) Transformadores de distribución.
- c) Alimentadores secundarios.
- d) Acometidas.
- e) Equipo de medición.

#### **4.4. ELEMENTOS SECUNDARIOS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.**

Entre los elementos secundarios de una red de distribución se tienen:

1. Cuchillas.
2. Reactores.
3. Interruptores.
4. Capacitores.
5. Fusibles.
6. Restauradores.
7. Seccionadores.

#### 4.4.1. CUCHILLAS.

Las cuchillas son los elementos que sirven para seccionar o abrir alimentadores primarios de distribución, su operación es sin carga y su accionamiento de conectar y desconectar es por pértiga, abriendo o cerrando las cuchillas una por una o en grupo según el tipo de la misma; su montaje en poste puede ser horizontal o vertical.

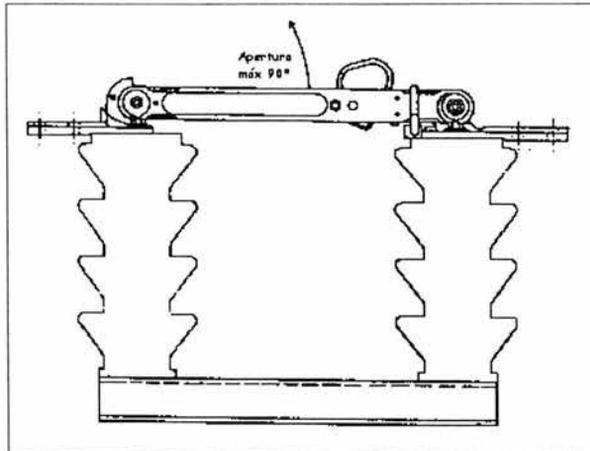


Figura 4.1 Cuchilla 23-601

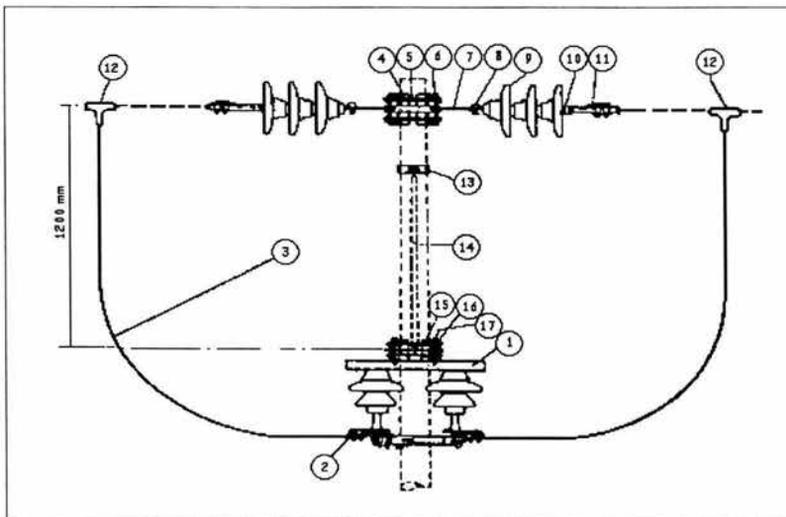


Figura 4.2 Montaje de cuchilla 23-601

Referencia	Nombre
1	Cuchilla 23601
2	Zapata C 1/0 ó 4/0 Cu
3	Cable Cud 1/0 ó 4/0
4	Dado L 47
5	Tornillo máquina 5/8" x 14"
6	Cruceta 43R
7	Tornillo ojo 16 x 178
8	Gancho con bola
9	Aislador S 52-5
10	Calavera con ojo
11	Grapa T 2/0 ó 556 A
12	Conector canal T 336-4/0 Al Conector canal H 1/0 -1/0 Al
13	Abrazadera 7 BB
14	Tornapunta 10
15	Dado L 47
16	Cruceta 40
17	Tornillo maquina 5/8" x 1 1/2"

**CARACTERISTICAS:**

a) Generales

Cuchilla desconectadota en aire, servicio exterior, tipo pértiga (loadbuster), apertura simple, un polo, tiro sencillo con seguro.

b) Eléctricas

Tensión nominal	23 kv
Tensión de aguante en seco a baja frecuencia	70 kv
Tensión de aguante en húmedo a baja frecuencia	60 kv
Corriente nominal	600 A
Corriente de corta duración 3 s	25 kA
Tensión de aguante al impulso por rayo a 0 m.s.n.m. (NBAI)	150 kv
Distancia crítica mínima de flameo	280 mm
Distancia mínima de fuga	610 mm
Las áreas de contacto deben estar plateadas	
Masa aproximada	35 kg

**APLICACIÓN:**

Instaladas en la red aérea de 23 kv, permite por medio del interruptor portátil para abrir con carga (loadbuster), desconectar cargas hasta de 600 amperes, y por medio de pértiga, conectar y desconectar sin carga la troncal o ramal de un alimentador. Se instalan en poste CR ó CR-E

**CLAVE DEL NOMBRE:**

23, (dos primeras cifras)	=	23,000 V, Tensión nominal del sistema.
6, (tercera cifra)	=	600 A, Corriente nominal.
01, (cuarta y quinta cifra)	=	Número progresivo de identificación.

#### 4.4.2. INTERRUPTORES.

Los interruptores, son dispositivos mecánicos que permiten conectar o desconectar una o repetidas veces, con carga un alimentador primario de distribución, son instalados en poste o estructura en juegos de tres interruptores, son operados en grupo con mecanismo recíprocante de operación manual.

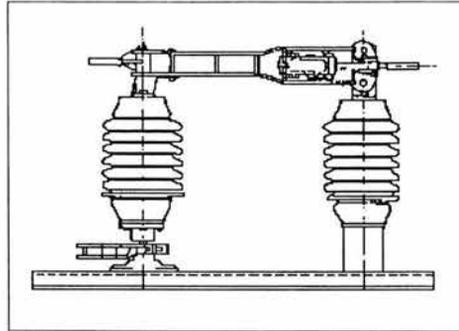


Figura 4.3 Interruptor en aire 23-601

#### **CARACTERISTICAS:**

a) Generales

Interruptor de operación para acoplamiento en grupo trifásica manual con carga, con cámara de extinción, servicio exterior, simple apertura.

b) Eléctricas

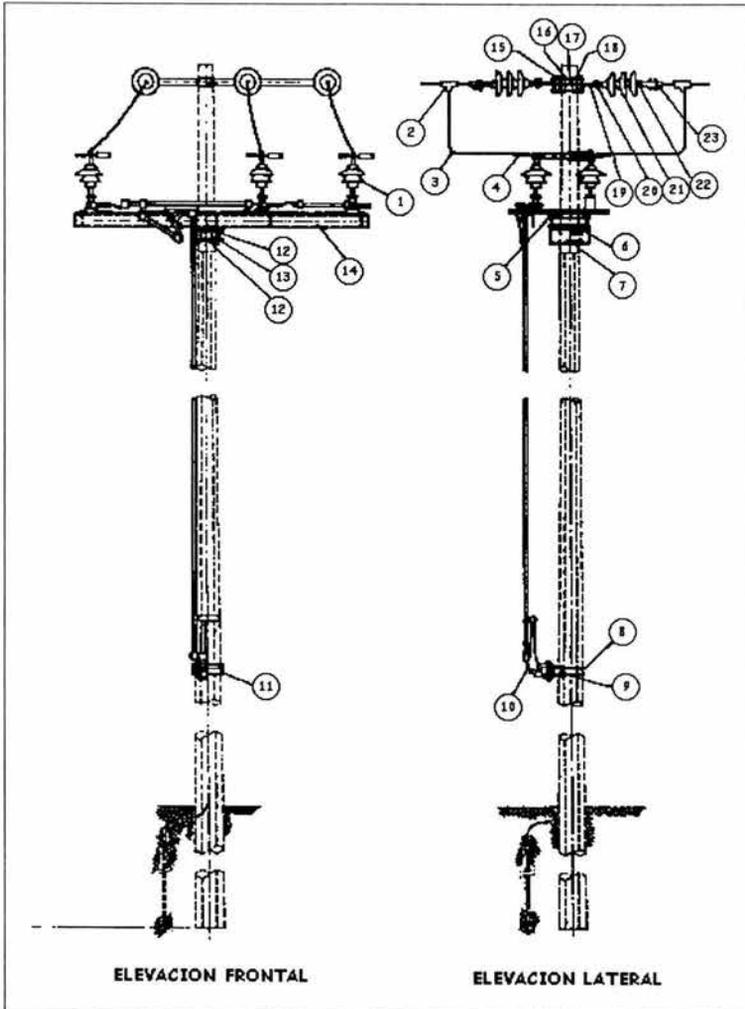
Tensión nominal	23 kv
Tensión de aguante en seco a 60 Hz (1 min)	70 kv
Tensión de aguante en húmedo a 60 Hz (10 s)	60 kv
Tensión de aguante al impulso por rayo a 0 m.s.n.m.	150 kv
Corriente nominal	600 A
Corriente de corta duración 3 s	25 kA
Corriente de interrupción con carga	600 A
Frecuencia nominal	60 Hz
Distancia crítica mínima de flameo	280 mm
Distancia mínima de fuga	610 mm

#### **APLICACIÓN:**

Permite conectar, desconectar o seccionar con carga, un ramal aéreo de 23 kv, hasta de 600 A

**CLAVE DEL NOMBRE:**

- 23, (dos primeras cifras) = 23,000 V, Tensión nominal del sistema.
- 6, (tercera cifra) = 600 A, Corriente nominal.
- 01, (cuarta y quinta cifra) = Número progresivo de identificación.



**Figura 4.4 Montaje de interruptores en aire 23-601**

<b>Referencia</b>	<b>Nombre</b>
1	Interruptor en aire 23-601
2	Conector canal T 336 - 4/0 Al Conector derivación H 1/0 – 1/0
3	Cable Cud 4/0 ó 1/0
4	Zapata C 4/0 ó 1/0 Cu-2
5	Tornillo máquina ½" x 1 ½"
6	Tornillo máquina 5/8" x 16"
7	Cruceta soporte 40
8	Abrazadera 9U
9	Dado L 48
10	Mecanismo de mando para interruptor en aire 23-601 tipos 1 ó 2
11	Soporte PI
12	Tornillo máquina 5/8" x 14"
13	Dado L 46
14	Cruceta 4 I 23-601
15	Dado L 45 ó L 46
16	Tornillo máquina 5/8" x 12"
17	Separador
18	Cruceta 43 R
19	Tornillo ojo 16 x 178
20	Gancho con bola
21	Aislador S 52-5
22	Calavera con ojo
23	Grapa T 2/0 A ó 556 A

#### 4.4.3. CAPACITORES.

Los capacitores, son dispositivos cuya función primordial es introducir capacitancia, corrigiendo el factor de potencia en alimentadores primarios de distribución.

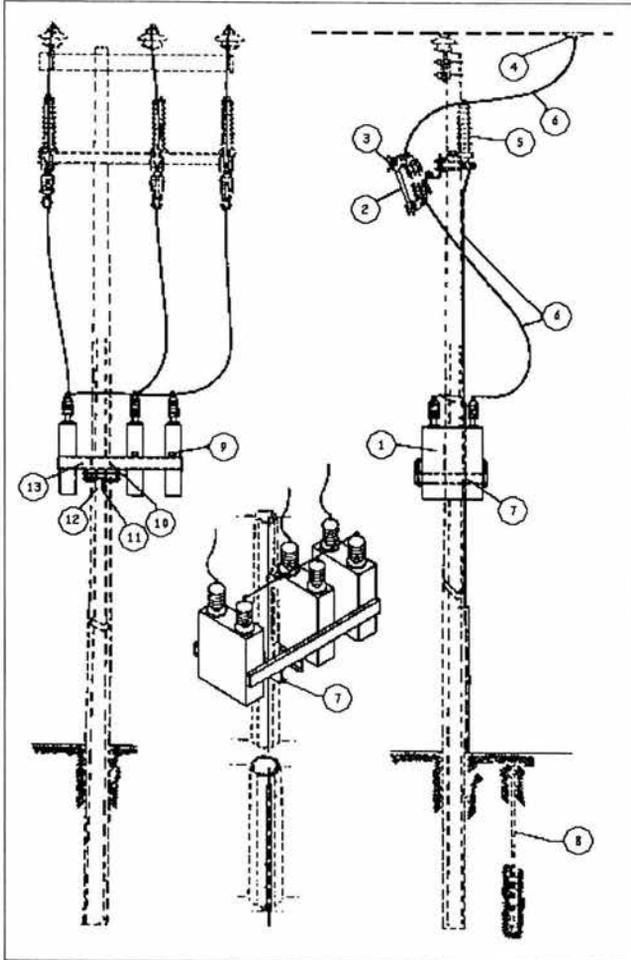


Figura 4.5 Montaje de banco de capacitores

#### APLICACIÓN:

Instalado en poste CR-12 con montajes, tierra poste C, paso 23, y apartarrayos cortacircuitos fusible 23 y conectado a un alimentador aéreo de 23 kv; permite liberar capacidad, reducir las pérdidas, mejorar la regulación y corregir el factor de potencia de dicho alimentador.

Referencia	Nombre
1	Capacitor
2	Eslabón fusible K-20
3	Cortacircuitos fusible D 23-112
4	Conector canal T 336-1/0 Al
5	Apartarrayos DOM 23
6	Cable Cud 1/0
7	Cruceta 4 S C
8	Tierra 1
9	Tornillo máquina 1/2" x 1 1/2"
10	Tornillo máquina 5/8" x 10"
11	Tornillo máquina 5/8" x 12"
12	Dado 46 ó 47
13	Cruceta 4-3 C

#### 4.4.4. FUSIBLES.

Los fusibles, son dispositivos de protección que interrumpen el paso de la corriente eléctrica fundiéndose cuando el amperaje es superior a su valor nominal, protegen transformadores de distribución y servicios interiores de media tensión contra sobrecorriente y corriente de cortocircuito, van colocados dentro del tubo protector del cortacircuitos fusible.

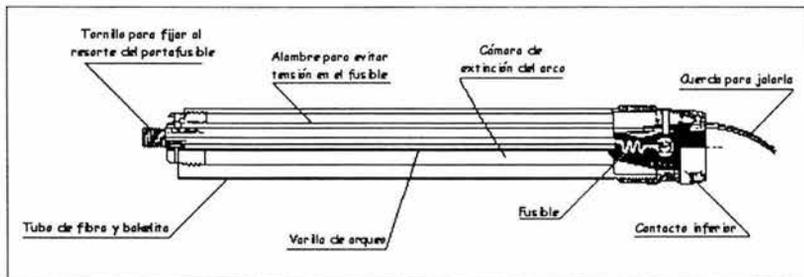


Figura 4.6 Fusible

#### USO:

Colocado dentro de tubo protector del portafusible, protege transformadores y servicios interiores de 23 kv contra sobrecorrientes, con capacidad interruptiva de corto circuito trifásico simétrico hasta 375 000 kVA.

#### 4.4.5. RESTAURADORES.

Los restauradores, son equipos que sirven para reconectar alimentadores primarios de distribución. Normalmente el 80 % de las fallas son de naturaleza temporal, por lo que es conveniente restablecer el servicio en la forma más rápida posible para evitar interrupciones de largo tiempo. Para estos casos se requiere de un dispositivo que tenga la posibilidad de desconectar un circuito y conectarlo después de fracciones de segundo.

Los restauradores son dispositivos autocontrolados para interrumpir y cerrar automáticamente circuitos de corriente alterna con una secuencia determinada de aperturas y cierres seguidos de una operación final de cierre ó apertura definitiva. En caso de que la falla no fuera eliminada, entonces el restaurador opera manteniendo sus contactos abiertos. Los restauradores están diseñados para interrumpir en una sola fase o en tres fases simultáneamente.

Los restauradores monofásicos tienen control hidráulico y los trifásicos pueden estar controlados hidráulicamente ó electrónicamente. Los siguientes requisitos son básicos para asegurar la efectiva operación de un restaurador:

1. La capacidad normal de interrupción del restaurador deberá ser igual o mayor de la máxima corriente de falla.
2. La capacidad normal de corriente constante del restaurador deberá ser igual o mayor que la máxima corriente de carga.
3. **El mínimo valor de disparo seleccionado deberá permitir al restaurador ser sensible al cortocircuito que se presente en la zona que se desea proteger.**

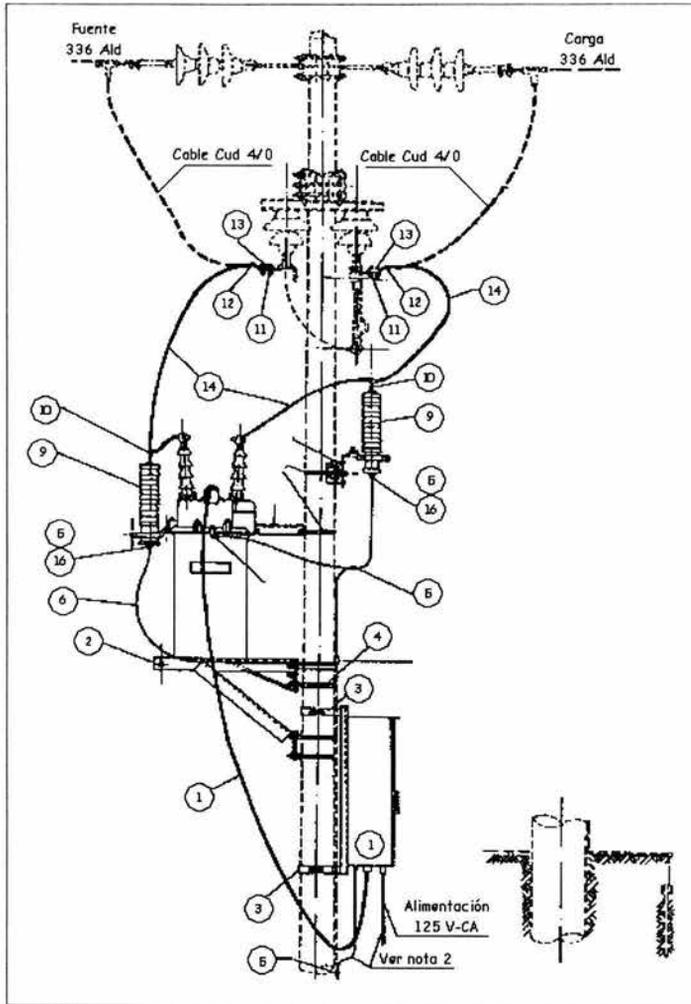


Figura 4.7 Restaurador automático

- Nota 1.-** Para el funcionamiento adecuado del restaurador, se requiere que el valor máximo de resistencia a tierra sea de  $10\Omega$ .
- Nota 2.-** La caja de control y el neutro del transformador de alimentación, deben conectarse a la tierra común, del restaurador y apartarrayos de protección.
- Nota 3.-** El transformador de alimentación debe estar máximo, a un tramo (50 mts.) del restaurador; o instalar uno monofásico de 5 kVA a la misma distancia señalada

Referencia	Nombre
1	Restaurador automático, caja de control y cable de conexión de 3m de longitud
2	Plataforma #2
3	Abrazadera 8 BL
4	Abrazadera 8 U
5	Conector canal C 1/0 – 1/0 Cu
6	Cable Cud 1/0
7	Abrazadera 7 U
8	Cruceta 40
9	Apartarrayos IOM – 23
10	Conector canal T 1 – 4/0 Cu
11	Solera puente 6 Cu
12	Zapata C 4/0 Cu – 2
13	Tornillo máquina 1 ½" x ½"
14	Cable Cud 4/0
15	Sujetador R – S 23
16	Zapata tierra C 1 – 1/0 C
17	Conector de tierra del tanque

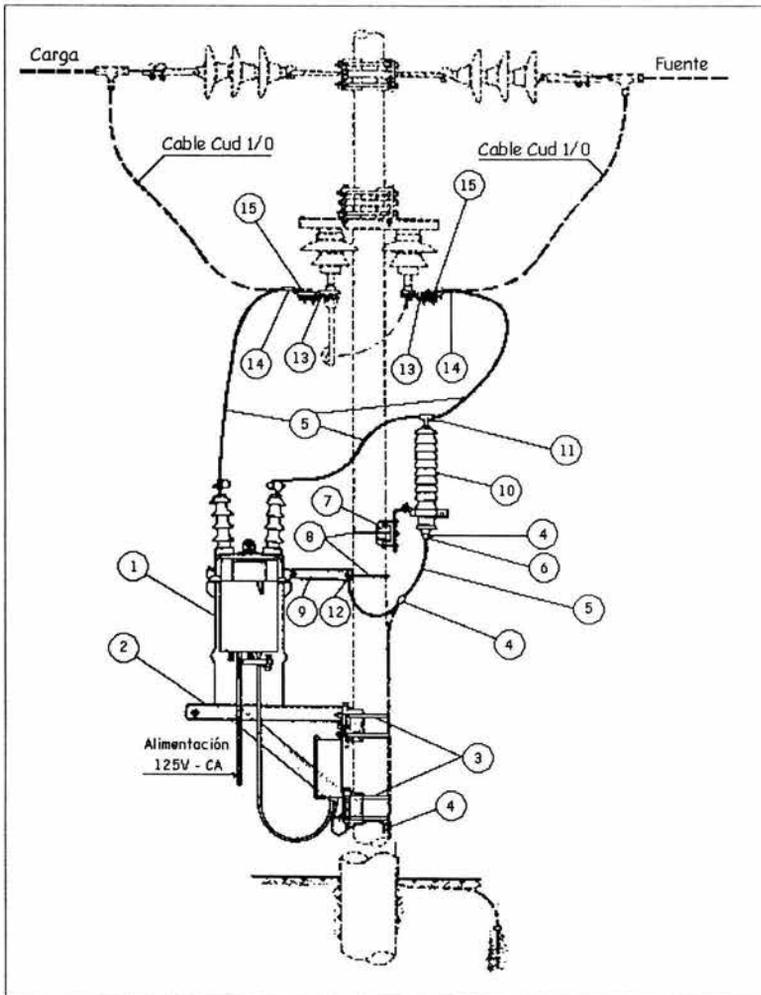
#### 4.4.6. SECCIONADORES.

Los seccionadores, son elementos que no están diseñados para interrumpir corrientes de cortocircuito ya que su función es el de abrir circuitos en forma automática después de contar y responder a un numero predeterminado de impulsos de corriente de igual a mayor valor que una magnitud previamente predeterminada, abren cuando el alimentador primario de distribución queda deserregizado, tratándose de la desconexión de cargas se puede hacer en forma manual. En cierto modo el seccionador permite aislar sectores del sistema de distribución llevando un conteo de las operaciones de sobrecorriente del dispositivo de respaldo.

Es importante hacer notar que debido a que interrumpe corrientes de corto circuito, no tienen una curva característica de tiempo-corriente por lo que no intervienen en la coordinación de protecciones, pudiéndose instalar entre dos dispositivos de protección.

Por su principio de operación el medio aislante de interrupción puede ser aire, aceite o vacío y en cuanto al control es similar al caso de los restauradores o sea puede ser hidráulico, electrónico ó electromecánico.

Por lo general el registro de las sobretensiones se efectúa cuando la corriente a través del seccionador cae bajo de un valor de alrededor del 40 % de la corriente mínima con que se activa al seccionador.



**Figura 4.8 Seccionador automático**

<b>Referencia</b>	<b>Nombre</b>
1	Seccionador Automático
2	Plataforma #2
3	Abrazadera 8 U
4	Conector canal C 1/0 – 1/0 Cu
5	Cable Cud 1/0
6	Zapata tierra C 1 – 1/0 C
7	Cruceta 40
8	Abrazadera 7 U
9	Sujetador R – S 23
10	Apartarrayos DOM 23
11	Conector canal T 1 – 1/0 Cu
12	Zapata tierra C 1 – 1/0 L
13	Solera puente 6 Cu
14	Zapata C 1/0 Cu – 2
15	Tornillo máquina 1 ½" x ½"

*CAPITULO V*  
*PROTECCIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN*  
*AÉREAS*

## 5.1. INTRODUCCIÓN.

Desde el punto de vista de las redes eléctricas por lo general se le da una importancia notable en la planeación, diseño, construcción y operación a la generación, transformación y transmisión debido a que se requiere tener altos índices de confiabilidad en el transporte y producción de la energía eléctrica y con este mismo criterio se establecen los esquemas de protección y la inversión que se hace en estos esquemas es decir, que en la elección de la protección que debe de llevar un sistema eléctrico intervienen factores que en un momento dado fijan el criterio a seguir y que en particular para los sistemas de distribución se pueden mencionar los siguientes:

- a) Magnitud de la carga, grado de importancia y características de la misma.
- b) Tipos de fallas a que se puede ver expuesta la instalación.
- c) Costo de las posibles alternativas de protección en función del grado de confiabilidad deseado.
- d) Dispositivos de protección usados.

Para el caso de las redes de distribución aéreas se pueden mencionar como típicas las siguientes fallas:

1. Flameos externos y fallas de aislamiento debidas a descargas atmosféricas.
2. Fallas debidas a problemas de contaminación ambiental.
3. Envejecimiento de aislamientos por calentamiento excesivo.
4. Sobretensiones por maniobras de interruptores o debidas al fenómeno de ferresonancia.
5. Fenómenos de corrosión en aislamiento
6. Ruptura de conductores, aisladores y postes a causa de choques automovilísticos, sismos, caída de árboles, viento, etc.
7. Errores humanos en construcción y operación.

Si se toma en consideración que aproximadamente el 50% de la inversión en los sistemas eléctricos de potencia se hace en lo que corresponde a distribución, se justifica poner la debida atención a todo este tipo de estudios de protección.

Dependiendo de la naturaleza de las fallas se pueden clasificar como:

- I. **Temporales.** Son aquellas que se pueden interrumpir en periodos de tiempo breves antes de que puedan causar daños esta interrupción se hace normalmente con dispositivos de protección. Algunas de las causas que provocan estas fallas temporales son: flameo de aisladores debido a descargas atmosféricas, caídas de ramas de árbol sobre los conductores, contacto entre conductores, arcos por contaminación, etc. este tipo de fallas temporales es típica de las redes de distribución y se debe contar con los elementos de protección apropiados para aislarlas de otra manera pueden resultar permanentes.
- II. **Permanentes.** Corresponden a este tipo de fallas a las que prevalecen sin que influya la rapidez de desconexión de los dispositivos de protección o las maniobras que se realicen para establecer el servicio cuando se presentan las desconexiones temporales, en las redes de distribución aéreas caen dentro de esta categoría la caída de conductores, el contacto entre conductores de fases distintas, etc. y en las redes de distribución subterránea la mayoría de las fallas son permanentes debido a que generalmente se deben a fallas de aislamiento en los cables o equipo.

Es conveniente considerar en la selección del tipo de protección por aplicar en una red de distribución dos aspectos importantes.

- a) El tipo de carga e importancia de la red de distribución.
  - b) La función de los dispositivos de protección y la política económica.
- a) **El tipo de carga e importancia de la red de distribución.** Es un aspecto relacionado con el tipo de usuarios y la importancia que tiene la continuidad en el suministro de la energía eléctrica o sea que pueden tener un criterio diferente de diseño y protección usuarios de tipo residencial (casas habitación y fraccionamientos), edificios públicos, hospitales, centros comerciales, áreas industriales, etc., dependiendo de esto también depende el valor de la corriente de corto circuito.
  - b) **La función de los dispositivos de protección y la política económica.** Tiene relación con la estadística que se lleva de la naturaleza de las fallas en las redes de distribución, específicamente en el caso de las redes de distribución aérea se sabe que del orden del 80% de las fallas son temporales por lo que la rápida restauración del servicio debería ser importante normalmente, esto significa que se requeriría de restauradores, sin embargo su costo es elevado y probablemente no se justificará en ciertas redes de distribución en donde la economía de la instalación es importante por el tipo de usuarios a que se presta servicio ya que es necesario considerar la inversión en las instalaciones en función del tipo de usuario, cosa que desde el punto de vista social no debería suceder ya que en teoría todo mundo debería tener el mismo tipo de servicio.

## **5.2. DISPOSITIVOS DE PROTECCION EMPLEADOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.**

En la ingeniería de distribución como en otras actividades de la ingeniería eléctrica se debe diseñar sistemas para proporcionar servicio a los usuarios al menor costo, servicio, seguridad y buenos requerimientos de operación lo que significa una buena selección de los equipos y aparatos a emplear en la instalación. Desde un punto de vista de la protección en redes de distribución, dado que se tiene restricciones económicas es necesario seleccionar los dispositivos de protección apropiados a las funciones que van a desempeñar y efectuar una adecuada coordinación debido a que se deben cumplir los requerimientos de un buen sistema de protecciones que debe ser seguro, selectivo y confiable básicamente.

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes en las redes de distribución están diseñados no solo para interrumpir corriente de corto circuito, también desempeñan otras funciones como la interrupción de corrientes de sobrecarga con la función primordial de aislar las fallas permanentes de las áreas no falladas.

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes que se usan en forma mas común en las redes de distribución son:

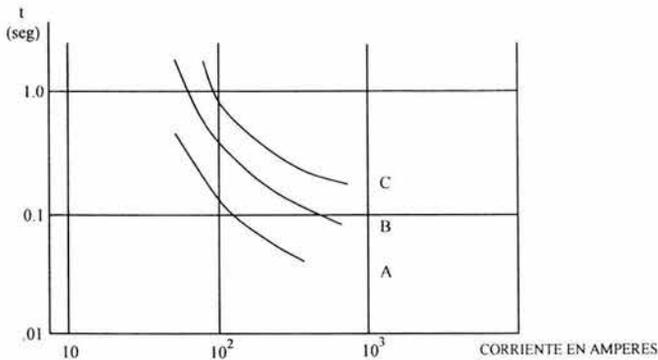
- Restauradores
- Corta circuitos fusible
- Seccionadores

## **5.3. RESTAURADORES.**

Ya que en las redes de distribución del orden de un 80% de las fallas son de naturaleza temporal por lo que es conveniente restablecer el servicio en la forma mas rápida posible para evitar interrupciones largas e innecesarias y en este caso se requiere de un dispositivo que tenga la posibilidad de desconectar un circuito y reconectarlo después de fracciones de segundo. Los restauradores se diseñan para interrumpir una fase o tres fases simultáneamente pudiendo tener accionamiento hidráulico o electrónico pudiendo ser desde el punto de vista de extinción del arco: en aceite ó en vacío y operando con disparo monofásico con bloqueo trifásico o disparo trifásico con bloqueo monofásico.

De acuerdo con los principios de diseño para el restaurador son dispositivos auto controlados para interrumpir y cerrar automáticamente circuitos de corriente alterna con una secuencia determinada de aperturas y cierres seguido de una operación final de cierre ó apertura definitiva, por lo general los restauradores son de operación de apertura definitiva pudiendo tener 4 aperturas y 3 recierres.

En la siguiente figura se muestra una curva característica típica tiempo-corriente observándose tres curvas, una A de disparo instantáneo y las B y C con retardo.



### 5.3.1. FUNCIONAMIENTO DE UN RESTAURADOR.

El restaurador opera en forma semejante a un interruptor trifásico de una subestación, ya que sus contactos móviles son accionados por un vástago común, conectado y desconectado en forma simultánea.

El proceso de apertura y recierre se puede describir brevemente como sigue:

1. Cuando ocurre una falla, la bobina de disparo se energiza y actúa sobre un trinquete mecánico que hace caer los contactos móviles.
2. Los contactos móviles disponen de resortes tensionados, de tal forma que la apertura es rápida. Al caer los contactos móviles energizan la bobina de recierre que se encuentra calibrada para operar a un cierto intervalo de tiempo.
3. La bobina de recierre acciona un dispositivo mecánico que opera los contactos móviles, conectándose nuevamente los contactos fijos.
4. Si la falla es transitoria, el restaurador queda conectado y preparado para otra operación; si la falla es permanente, repetirá el proceso anterior hasta quedar fuera, según sea el número de recierres para el cual se ha calibrado.

La interrupción del arco eléctrico tiene lugar en una cámara de extinción (aceite, al vacío o en hexafluoruro de azufre HF<sub>6</sub>) que contiene a los contactos.

Los restauradores operan en capacidades interruptivas relativamente bajas y tensiones no muy elevadas. Normalmente están contruidos para funcionar con tres operaciones de recierre y cuatro

aperturas, con un intervalo de tiempo entre una y otra y calibrado de antemano; en la última apertura el cierre debe ser manual ya que indica que la falla es permanente.

### **5.3.2. CURVAS CARACTERISTICAS CORRIENTE-TIEMPO PARA RESTAURADOR RAPIDO "A" Y DE RETARDO "B Y C".**

La curva de disparo es para la característica de interrupción de fallas temporales evitando la operación de los dispositivos de protección del lado de carga (generalmente fusibles) mientras que las curvas de operación con retardo sirven para coordinar la interrupción de fallas permanentes o permiten la operación de los dispositivos de operación del lado de carga de manera tal que para fallas que se mantengan durante un cierto tiempo el restaurador abre en forma permanente generalmente permiten al menos dos disparos para coordinar la protección.

Desde el punto de vista de selección de los restauradores los parámetros importantes de especificación son: capacidad de interrupción corriente nominal, corriente mínima de disparo tensión nominal (o máxima de diseño) y número de operación de cierre y apertura, así como la frecuencia.

Para su designación los restauradores se clasifican de acuerdo a:

#### **1. El medio de interrupción**

El medio de interrupción se refiere al medio en el cual se produce la extinción o auxilia a la extinción del arco eléctrico y pueden ser por lo general.

- ➔ Aceite aislante.
- ➔ El vacío.
- ➔ Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

#### **2. En cuanto al número de fases los restauradores pueden ser.**

- ➔ Monofásicos.
- ➔ Trifásicos.

#### **3. En cuanto al sistema de control.**

- ➔ Con control de tipo hidráulico.
- ➔ Con control de tipo electrónico en forma automatizada.

Un aspecto importante a considerar en la selección y aplicación de restauradores es su característica de operación mediante la relación tiempo-corriente y que de hecho parte de la definición propia de lo que es un restaurador que según la norma ANSI 37.60 publicación 1974 lo define como:

**“Un dispositivo auto controlado que permite abrir y cerrar en forma automática un circuito de corriente alterna con una secuencia de aperturas y cierres deseadas seguida de una operación de cierre o apertura definitiva. Siendo la mayoría de los restauradores fabricados de manera que tengan una apertura definitiva”.**

Las características de operación por lo general se muestran como una curva tiempo-corriente, para restauradores con bobina serie y sin bobina serie estas curvas tienen un buen número de variantes y son usadas normalmente con propósitos de coordinación de protecciones.

Las secuencias de operación normalmente usadas en los restauradores que se aplican para la protección de las redes de distribución caen por lo general dentro de las siguientes:

Tipo de secuencia de maniobra	Característica de la maniobra
A	2 interrupciones rápidas y 2 con retardo.
B	1 interrupción rápida y 3 con retardo.
C	1 interrupción rápida y 2 con retardo.
D	2 interrupciones rápidas y 1 con retardo.

Las características de aplicación en general para estas secuencias de operación se dan a continuación, obteniéndose condiciones semejantes para las que se indican.

Tipo se secuencia de maniobra	Ventajas	Comentarios sobre la aplicación
A	El esquema de dos interrupciones rápidas y dos con retardo permite la coordinación con los relevadores que accionan interruptores en aceite y también una buena coordinación con los fusibles	Con esta secuencia de maniobra se ha observado estadísticamente que interrumpe el 90% de las fallas durante la operación rápida, el 5% a la tercera operación por protección a un fusible y el 5% para apertura definitiva cuando las fallas son permanentes.
B	El esquema de 1 disparo rápido y 3 retardos permite una buena coordinación entre restauradores y fusibles cuando se encuentran en serie.	El 80% de las fallas se interrumpen con la operación rápida del restaurador permitiendo un mayor tiempo de operación del fusible que por lo general funde en le primer tiempo.

## 5.4. FUSIBLES.

En cualquier tipo de instalación eléctrica ya sea residencial o comercial así como en las redes de distribución se requiere protección contra sobrecargas o corto circuito, una forma de hacerlo es instalando en el circuito un punto débil que responda a las condiciones de exceso de temperatura y esto constituye el principio de funcionamiento del fusible y cuyas funciones en las instalaciones eléctricas es:

- ➔ Abrir el circuito eléctrico el cual se encuentra conectado cuando existe una sobrecarga o corto circuito, protegiendo de esta manera a la instalación y al mismo equipo.
- ➔ Proporcionar seguridad de funcionamiento al quedar instalado en el circuito eléctrico al cual va a proteger.

De acuerdo con estas funciones los elementos fusible deben cumplir con los siguientes requerimientos de diseño:

- ➔ Limitan los efectos de las sobre corrientes en las instalaciones eléctricas a un mínimo grado.
- ➔ En condiciones normales al no permitir sobre corrientes en las instalaciones, no permiten sobre calentamientos y consecuentemente prolongan la vida de la instalación.
- ➔ Deben satisfacer las condiciones técnicas y económicas que lo justifiquen como elemento de protección.
- ➔ Deben operar en periodos de tiempo relativamente cortos cuando se presenten las sobre corrientes.

Existen tres tiempos característicos de operación de un fusible.

1. MMT o tiempo mínimo de fusión (Minium Meeting Time) es el intervalo que existe entre la aparición de la falla y el momento en que el elemento es roto por fusión y se establece el arco eléctrico.
2. Tiempo de arqueo (Arcing Time) es el intervalo durante el cual persiste el arco eléctrico.
3. MCT o tiempo máximo de limpieza (Máximum Clearing Time) es el intervalo de tiempo entre la aparición de la falla y la apertura total del elemento fusible; es la suma del tiempo mínimo de fusión y el tiempo de arqueo.

Para coordinación de elementos fusibles, debe considerar los siguientes aspectos:

1. El elemento fusible no debe operar a causa de corrientes de carga, debe ser capaz de mantener el flujo de la corriente de carga máxima sin calentarse al grado de modificar sus características originales.
2. Para coordinar sus tiempos de operación con los del equipo adyacente, debemos estar consientes de que para valores cercanos al MMT el fusible perderá sus características de diseño y aun cuando el elemento no sea fundido no se apegara a sus tiempos originales.
3. La falla no es liberada hasta que se rebasa el valor de MCT.

Para elementos fusibles utilizados para protección de subestaciones y líneas de subtransmisión, es necesario especificar el voltaje de operación

En la aplicación de elementos fusibles deben considerarse: Las características de los dispositivos de protección adyacentes a este y las del circuito buscando la correcta operación y discriminación de la falla a través de la coordinación de los tiempos de operación.

Desde el punto de vista de la velocidad de fusión de un fusible que en realidad da una idea de la rapidez con que responde el elemento fusible a la magnitud de la sobre corriente que se presente, se puede definir esta velocidad de fusión como la relación que existe entre la corriente mínima de fusión a 0.1 seg. y la corriente mínima de fusión a 300 o 600 seg. De acuerdo con esto los elementos (eslabones) fusibles se acostumbra clasificarlos como:

- **Elemento fusible T (lento).** Las características que establecen la diferencia entre un tipo de fusible y otro son su velocidad de fusión y su corriente nominal los llamados eslabones fusibles lentos (T) son aquellos cuya velocidad de fusión se encuentra en el rango de 10 a 13 y su capacidad de conducción de corriente nominal va de 6 hasta 200 A en valor eficaz.
- **Elemento fusible K (rápido).** A estos elementos fusibles se les conoce como rápidos por que tienen una velocidad de fusión que va de 6 a 8.1 teniendo una capacidad de conducción de corriente nominal que está comprendida en el rango de 6 a 200 A en valor eficaz. El valor de corriente nominal de un fusible se refiere a valores de corriente eficaz expresada en amperes que conduce el fusible sin que se presente ninguna elevación de temperatura en alguna de las partes que lo constituyen.

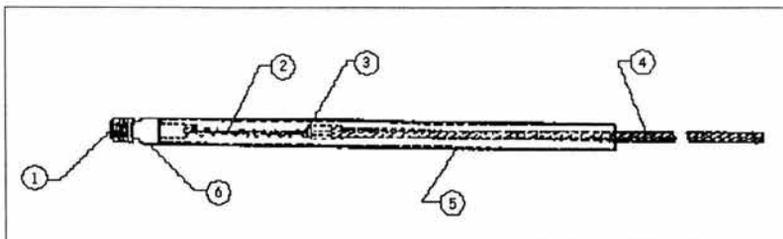


Figura 5.1 Eslabón fusible K.

**CARACTERISTICAS:**

a) Generales

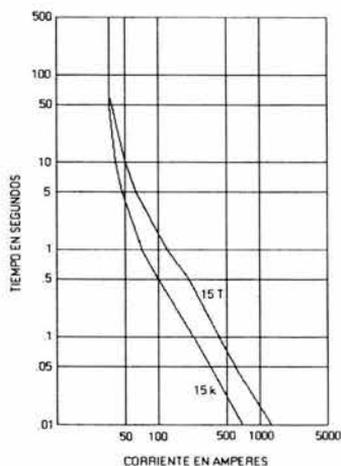
Servicio	Exterior
Tipo	Expulsión
Tensión nominal de operación	6 ó 23 kv
Frecuencia nominal	60 Hz

b) De operación

Altitud de instalación	2300 m.s.n.m.
Temperatura ambiente	De 0°C a 40°C
Corriente de interrupción nominal	12 kA asimétricos

Referencia	Nombre	Descripción
1	Cabeza del eslabón	Debe tener recubrimiento electrolítico de plata.
2	Elemento fusible	Con periodo de fusión corto y punto de fusión a 960°C.
3	Terminal inferior	Debe servir para sujetar al eslabón fusible y su alambre Tensor con el cable flexible.
4	Cable flexible de cobre	Debe ser torcido con recubrimiento de estaño y de un calibre adecuado.
5	Tubo protector	De alta resistencia mecánica y con revestimiento interior para extinción del arco, servicio intemperie.
6	Terminal superior	Debe estar marcada de acuerdo al eslabón fusible.

Eslabón fusible	Corriente nominal (A)	Corriente de fusión (A)						Relación de velocidad de fusión
		Para 5 min.		Para 10 seg.		Para 0.1 seg.		
		Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	
K1	1	2.0	2.4	2.1	10.0	11.0	58.0	5.5
K2	2	4.0	4.8	4.4	10.0	22.0	58.0	5.5
K3	3	6.0	7.2	6.4	10.0	34.0	58.0	5.6
K5	5	10.0	12.0	11.0	15.0	58.0	70.0	5.8
K6	6	12.0	14.4	13.5	20.5	72.0	86.0	6.0
K8	8	15.0	18.0	18.0	27.0	97.0	116.0	6.5
K10	10	19.5	23.4	22.5	34.5	128.0	154.0	6.6
K12	12	25.0	30.0	29.5	44.0	166.0	199.0	6.6
K15	15	31.0	37.2	37.0	55.0	215.0	258.0	6.9
K20	20	39.0	47.0	48.0	71.0	273.0	328.0	7.0
K25	25	50.0	60.0	60.0	90.0	350.0	420.0	7.0
K30	30	63.0	76.0	77.5	115.0	447.0	546.0	7.1
K40	40	80.0	96.0	98.0	146.0	565.0	680.0	7.1
K50	50	101.0	121.0	126.0	188.0	719.0	862.0	7.1
K65	65	128.0	153.0	159.0	237.0	918.0	1100.0	7.2
K80	80	160.0	192.0	205.0	307.0	1180.0	1420.0	7.4
K100	100	200.0	240.0	258.0	388.0	1520.0	1820.0	7.6



DIFERENCIA DE RESPUESTA PARA FUSIBLES TIPO "K" Y TIPO "T"

## **5.5. CORTA CIRCUITOS FUSIBLE.**

Desde el punto de vista del reglamento de obras e instalaciones eléctricas los fusibles que operan con tensiones superiores a 600 volts son considerados como de alta tensión encontrándose dos formas ó tipos para su aplicación en las redes de distribución aéreas una de estas formas es la que se denomina cortacircuitos y la otra los fusibles de potencia.

El cortacircuito está diseñado principalmente para ser instalado a la intemperie y está constituido por una estructura soporte y el elemento fusible permitiendo:

- ➔ Instalarse a la intemperie en instalaciones aéreas generalmente montado en la cruceta de los postes.
- ➔ Se instala por lo general en el lado primario de los alimentadores en las redes de distribución aérea empleándose fusibles tipo expulsión en tubo de fibra y eventualmente con el elemento sin la protección de tubo de fibra (canilla). El fusible que se encuentra en tubo de fibra se coloca en el interior de la canilla que tiene contactos eléctricos en ambos extremos.

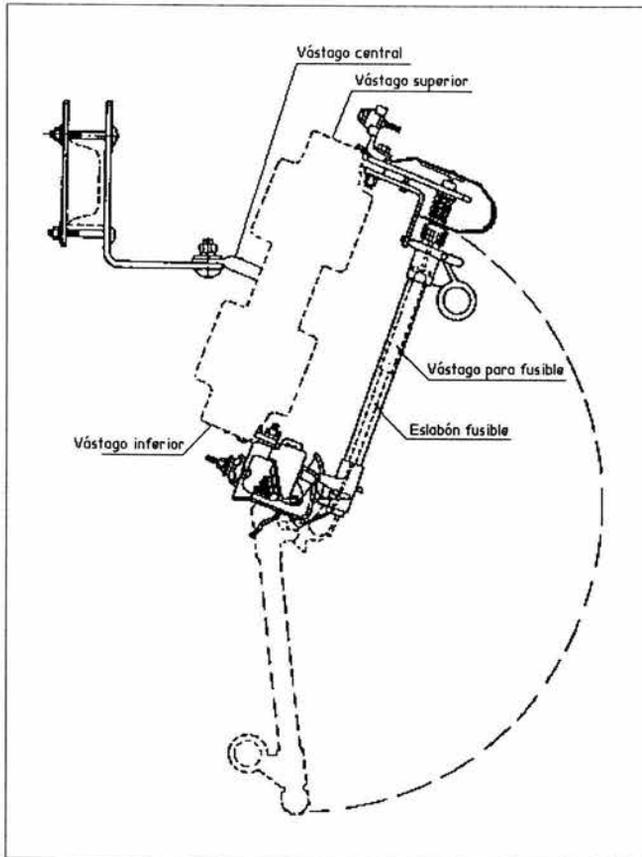


Figura 5.2 Cortacircuito fusible D 23-112.

**CARACTERISTICAS:**

a) Generales

Tipo

Desconector indicador

Servicio

Intemperie

Posición de montaje

Inclinado

Apertura

180°

Altitud de instalación

2300 msnm

Temperatura ambiente

-10°C a +40°C

El cortacircuito fusible debe estar diseñado para operar con pértiga, e interruptor portátil para abrir con carga (loadbuster).

b) Eléctricas

Tensión de operación	23 kV
Tensión de aguante de impulso por rayo a tierra y entre terminales	150 kV a 0 msnm
Corriente nominal	100 A
Corriente interruptiva asimétrica, con factor de asimetría de 1.5	12 kA

c) De los materiales

- El aislador debe ser de porcelana de alta resistencia mecánica.
- Los vástagos de unión entre el soporte y el aislador y los de las terminales superior e inferior, deben insertarse y fijarse solidamente dentro de barrenos apropiados, a un costado y en los extremos del aislador, sin abrazaderas.
- Todas las tuercas deben tener arandelas de presión. El vástago de unión con el soporte, debe llevar arandela dentada.
- El diseño de contactos y mordazas debe permitir dar una presión permanente que acepte la capacidad conductiva designada, sin sobrecalentamiento. Los contactos fijo y móvil tanto de la parte superior como inferior, deben platearse.
- Las terminales deben ser del tipo mecánico, con ranuras paralelas, para dos conductores, con acabado y recubrimiento estañado.
- Las dimensiones de las terminales, superior e inferior deben ser tales, que puedan sujetar conductores desde alambres de cobre o aluminio con un área transversal de No. 6 AWG, hasta cable de cobre, aluminio ACSR con un área de sección transversal máxima de No. 2 AWG.
- Los materiales empleados deben ser de tal naturaleza, que además de cumplir los requisitos anteriores, sean resistentes a la oxidación

**CLAVES DEL NOMBRE:**

D	=	Tipo distribución.
23	=	23000 V, tensión nominal.
1	=	(tercer dígito) 100 A.
12	=	12000 A, asimétricos.

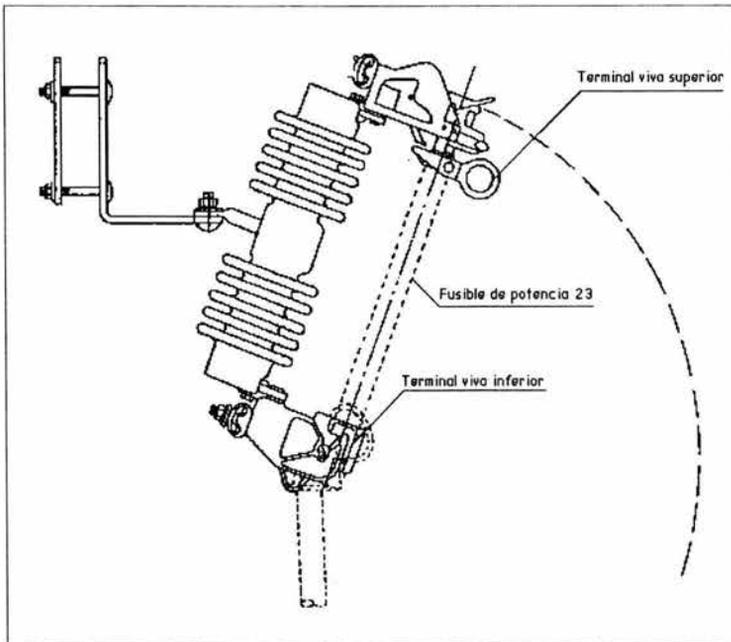


Figura 5.3 Cortacircuito fusible 23-220.

**CARACTERISTICAS:**

a) Generales.

Tipo	Desconector indicador
Servicio	Intemperie
Posición de montaje	Inclinado
Apertura	90° ó 180°
Altitud de instalación	2300 msnm
Temperatura ambiente	-10°C a +40°C

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

El cortacircuito fusible debe estar diseñado para operar con pértiga, e interruptor portátil para abrir con carga (loadbuster).

b) Eléctricas.

Tensión nominal de operación	23 kV
Tensión nominal de diseño	25.8 kV
Tensión máxima de diseño	27 kV
Corriente nominal	200 A
Capacidad interruptiva asimétrica, con un factor de asimetría de 1.6	20000 A
Frecuencia nominal	60 Hz

c) De los materiales.

Deben ser resistentes a la oxidación y a la corrosión galvánica.

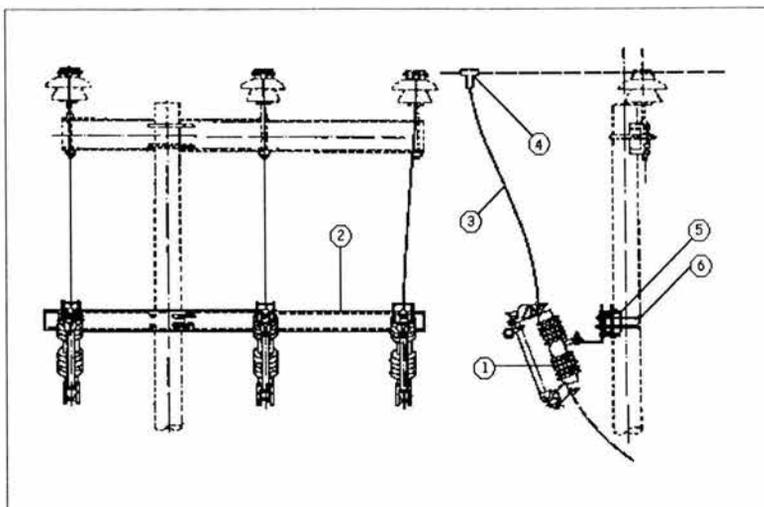
Aislador: El vástago de unión entre el soporte y el aislador, debe estar insertado y fijado sólidamente dentro de un taladro apropiado en un costado del aislador y sin abrazaderas.

Herrajes: Todas las tuercas deben tener roldanas de presión y el vástago de unión con el soporte debe llevar roldana estriada.

Contactos y terminales: El diseño de contactos y mordazas debe permitir dar una presión permanente que acepte sin sobrecalentamiento, la capacidad conductiva designada.

**CLAVE DEL NOMBRE:**

D	=	Tipo distribución.
23	=	23000 volts, tensión nominal.
2	=	(tercera cifra) 200 A.
20	=	(ultimas cifras) 20 kA (Capacidad de cortocircuito asimétrico).



**Figura 5.4 Cortacircuito fusible 23.**

Referencia	Nombre
1	Cortacircuito fusible D 23-112 Cortacircuito fusible D 23-220
2	Cruceta 40
3	Cable Cud 1/0
4	Conector canal H 1/0 – 1/0 Al Conector canal T 336 – 1/0 Al
5	Dado L 45 ó 47
6	Abrazadera 5U ó 7U

## 5.6. FUSIBLES DE POTENCIA.

Los fusibles de potencia constituyen otro de los elementos de protección contra sobre corrientes en las redes de distribución y su aplicación en cierto modo es semejante a la de los cortacircuitos solo que está mas orientada hacia las subestaciones eléctricas convencionales (no tipo poste) pudiéndose usar en interiores o a la intemperie está constituido por un soporte, una estructura del fusible y una unidad fusible.

Para la aplicación se requiere la determinación de los llamados parámetros de selección que básicamente son los mismos que para los cortacircuitos fusible y que básicamente son los siguientes:

- ⇒ Tensión nominal.
- ⇒ Tensión de conexión a tierra del sistema a que se conectara el fusible o cortacircuitos.
- ⇒ Relación X/R y valor máximo del corto circuito en el punto de su instalación.
- ⇒ Corriente de carga.

La serie de valores de corrientes nominales preferidos para fusibles de potencia es:

0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300 y 400.

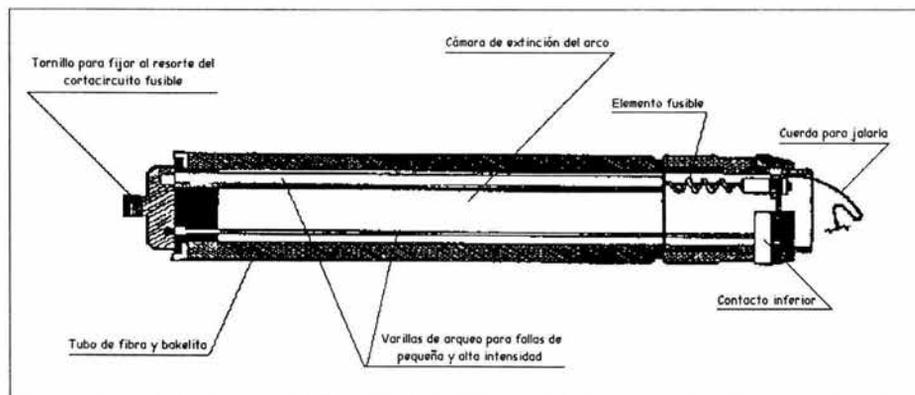


Figura 5.5 Fusible de potencia.

### CARACTERISTICAS:

- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| a) Generales                 |                                 |
| Servicio                     | Intemperie                      |
| Tipo                         | Elemento fusible intercambiable |
| Tensión nominal de operación | 23 kV                           |
| Tensión máxima de diseño     | 25.8 kV                         |
| Frecuencia nominal           | 60 Hz                           |
| Altitud de instalación       | 2300 m.s.n.m.                   |

## **5.7. SECCIONADORES.**

Los seccionadores son elementos que no están diseñados para interrumpir corrientes de corto circuito ya que sirven para abrir circuitos en forma automática después de contar y responder a un número predeterminado de impulsos de corriente de igual a mayor valor que una magnitud previamente determinada, abren cuando el circuito principal queda desenergizado, tratándose de la desconexión de cargas se puede hacer en forma manual.

En cierto modo el seccionador permite aislar sectores de la red de distribución llevando un conteo de las operaciones de sobre corriente del dispositivo de respaldo. Es importante hacer notar que debido a que no interrumpen corrientes de corto circuito, no tienen curva característica tiempo-corriente por lo que no intervienen en la coordinación de protecciones, pudiéndose instalar entre dos dispositivos de protección.

Por su principio de operación el medio aislante de interrupción puede ser aire, aceite, vacío o hexafluoruro de azufre y en cuanto al control se refiere es similar al caso de los restauradores o sea puede ser hidráulico, electromecánico o electrónico.

Por lo general el registro de las sobre corrientes se efectúa cuando la corriente a través del seccionador cae debajo de un valor de alrededor del 40% de la corriente mínima con que se activa al seccionador.

Los valores típicos para especificación de un seccionador son:

- ⇒ Tensión máxima de diseño.
- ⇒ Corriente de conducción.
- ⇒ Corriente de interrupción.

### **5.7.1. FUNCIONAMIENTO DE UN SECCIONADOR.**

El seccionador siempre se instala en serie con un restaurador o con un interruptor con mecanismo de recierre.

Cuando ocurre una falla en el circuito que protege el seccionador, si la magnitud de la corriente de falla que fluye a través de éste, es lo suficiente alta, el seccionador la detecta y esta preparado para contar el número de veces que el restaurador opera. Durante el tiempo que el circuito esté abierto, el contador de operaciones se mueve un paso a la posición de disparo.

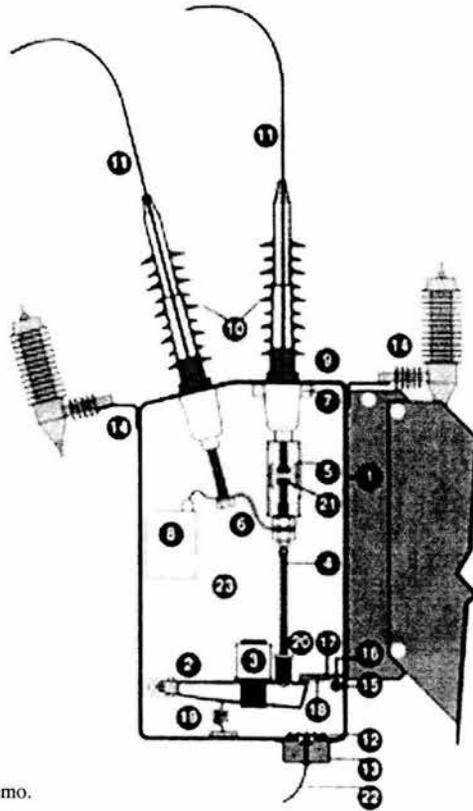
Si la falla es eliminada mientras el restaurador esta abierto, el contador del seccionador regresará a su posición normal después que se cierre el circuito.

Sin embargo si la falla persiste, cuando el circuito este nuevamente energizado, el contador de la corriente de la falla en el seccionador se preparará para contar nuevamente la apertura del restaurador.

Si el restaurador esta calibrado para abrir en la “n” (número de veces) operación de disparo, el seccionador se calibrará para disparar durante el tiempo que el circuito esté abierto después de la n-1 operación de apertura del restaurador.

Puesto que el seccionador abre sus contactos cuando el restaurador está abierto, nos podemos dar cuenta que el seccionador no es un dispositivo que interrumpe corrientes de falla.

## 5.8. COMPONENTES DEL EQUIPO RECONECTADOR.



1. Tanque.
2. Placa del mecanismo.
3. Solenoide de cierre.
4. Barra impulsora de contacto.
5. Interruptor de vacío.
6. Conexión flexible.
7. Transformador de corriente.
8. Transformador de tensión (opcional).
9. Bushings aislantes según normas DIN 47 636-630.
10. Bushings aislantes de EPDM/Goma siliconada.
11. Cables protegidos.
12. Módulo de entrada del cable de comunicación (SCEM).
13. Entrada del cable de comunicación.
14. Soporte para la instalación de los descargadores.
15. Solenoide de apertura.
16. Armadura de la barra de apertura.
17. Barra de apertura.
18. Enganche.
19. Resorte de apertura.
20. Resorte de contacto.
21. Contactos.
22. Cable al gabinete de control.
23. Gas de Hexafluoruro de azufre (SF6).

### 5.8.1. FUNCIONAMIENTO.

El Reconectador posee interruptores de vacío (5) contenidos en un tanque de acero inoxidable grado marino 316, totalmente soldado y sellado (1), especialmente diseñado para el montaje sobre poste. Dicho tanque está lleno de gas de hexafluoruro de azufre (SF6) (23), el cual tiene excelentes propiedades de aislación eléctrica, lo cual da por resultado un equipo compacto y con un mínimo de mantenimiento. El gabinete de control, el cual se instala a poca altura para facilitar el acceso, es el que aloja al Panel de Control del operador y a la unidad de microelectrónica. Dicho gabinete cumple con las funciones de protección y controla y monitorea al reconectador. Se conecta al reconectador mediante un cable umbilical enchufable (22). El reconectador junto con el gabinete de control constituyen un equipo de monitoreo y control a distancia. El reconectador se cierra mediante un impulso de corriente controlada que proviene de un capacitor que se encuentra en el gabinete de control y que se transmite a través del solenoide de cierre (3) éste atrae la placa (2), la cual, a su vez, cierra los contactos (21) en el interruptor de vacío (5) mediante las barras impulsoras (4). Los contactos, a su vez, se mantienen en posición cerrada por medio de las lengüetas del enganche (18) que se apoyan en la barra de apertura (17). La apertura de los contactos se logra mediante la liberación de un impulso de corriente controlada desde un capacitor y a través de la bobina de apertura (15). Dicho impulso atrae a la armadura de la barra de apertura (16) que hace girar a esta última (17) y libera el enganche (18). El resorte de apertura (19) y los resortes de contacto (20) aceleran esta apertura de los contactos (21). La presencia de la conexión flexible (6) está destinada a permitir que ocurra el movimiento de dichos contactos. Asimismo, los bushings aislantes (9) sirven para aislar el tanque (1) de los conductores, y proporcionan un doble sello para el tanque. Dichos bushings brindan la aislación necesaria, y sirven de soporte para los sensores de tensión, que están encapsulados, y para los transformadores de corriente (7). Estos bushings cumplen con la norma DIN 47 636-630 (opción roscada), lo cual permite otro tipo de conexión de cables si se lo deseara. Los bushings de material polimérico (10) y los 3 metros de cable de aluminio de 185 mm<sup>2</sup> para 400 A con aislación al agua (11), se proveen en forma standard para realizar el montaje en sitio. Esta disposición de los elementos permite tener un reconectador de dimensiones compactas, pero que, al mismo tiempo, se puede conectar a un sistema conductor ya sea aislado o desnudo, según sean las necesidades. Este sistema de conexiones totalmente aisladas permite que el equipo esté a salvo de fallas provocadas por los pájaros y otras especies de vida silvestre. El soporte para el montaje de los descargadores (14) brinda mayor comodidad y practicidad a la instalación, (también se puede proveer el reconectador para montaje en subestación). Se requiere una fuente de alimentación de tensión auxiliar de 110, 220, 240 ó 415 V para alimentar la unidad. Si ésta no fuera conveniente, existe la opción de compra de un transformador interno de tensión (8). El gabinete de control se conecta mediante un cable umbilical (22) a la parte inferior del tanque del Reconectador a través de un dispositivo cubierto (12 y 13). Un indicador de tamaño adecuado y de conexión directa al mecanismo del equipo muestra la posición de los contactos (Abierto/Cerrado) de un modo confiable, y es fácilmente visible desde el piso a 100 m de distancia. El reconectador se puede abrir

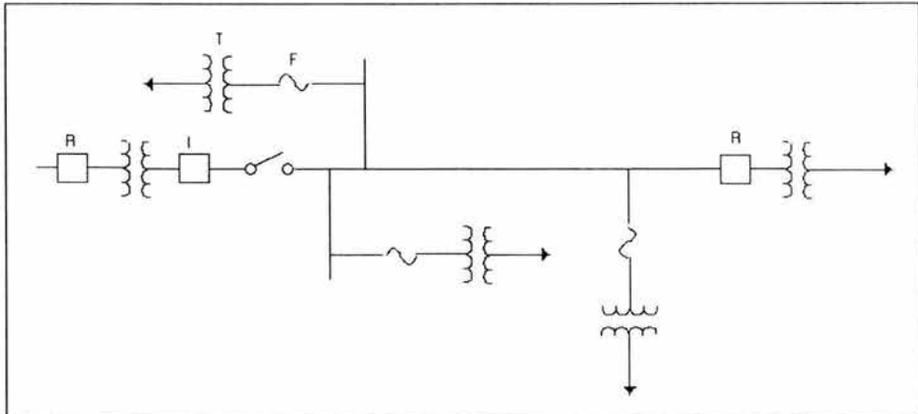
desde el piso mediante el uso de una pértiga. Posteriormente, dicho reconectador se puede bloquear aislando las bobinas de apertura y de cierre desde el Panel de Control del Operador.

### **5.8.2. GABINETE DE CONTROL Y COMUNICACIONES.**

El Gabinete de control se ha diseñado específicamente para trabajar instalado en postes al aire libre y, por lo general, se hace el montaje a poca altura para facilitar el acceso al mismo. El Gabinete se caracteriza por su diseño hermético pero bien ventilado, para minimizar los aumentos de temperatura provocados por la irradiación solar. Las baterías, capacitores, transformador de la línea principal, interruptores de baja tensión, Módulo de Control y Protección (CAPM), Panel de Control del Operador y radio o módem del usuario se han montado en el panel interno del gabinete. Estos componentes se han ubicado cuidadosamente; en consecuencia, aquéllos que generan calor se han colocado en la parte superior, mientras que las baterías se encuentran en la parte inferior, para tenerla en el lugar más fresco. De este modo, se puede lograr que su vida útil supere los 5 años. Se puede tener acceso al Panel de Control del Operador en todo tipo de condiciones meteorológicas, a través de una puerta con cerradura en la parte delantera del Gabinete de control. Todos los respiraderos tienen malla de alambre para evitar la entrada de insectos, y la malla interior está sellada contra la exterior con una extrusión de goma. Todas las partes electrónicas se encuentran muy bien protegidas contra la humedad y la condensación, con lo que se asegura una larga vida útil en ambientes de clima tropical. Se puede instalar un calefactor opcional para aquellos ambientes de climas más fríos. Los módulos electrónicos incorporan las funciones de un relé protector de sobrecorriente, de un relé por falla a tierra, de un relé de recierre y de una Unidad Terminal Remota (RTU). Además, dichos módulos electrónicos miden la corriente de línea, la tensión, la potencia activa y reactiva y las corrientes de falla, y almacenan estos datos para su transmisión o para analizarlos fuera de línea (off-line). Una característica especial del reconectador la constituyen la fuente de alimentación ininterrumpida microprocesada incorporada, que permite el funcionamiento ininterrumpido no sólo del equipo y del relé de protección, sino también de la radio o módem para comunicaciones. No se requieren otras fuentes de alimentación para conectar este reconectador a un Sistema SCADA o Sistema de Distribución Automatizada del usuario. Gracias al cuidadoso diseño de este Gabinete de control, la eficiencia de todas sus partes es extremadamente elevada, y se garantiza un período de mantenimiento del funcionamiento de la batería de 5 días con posterioridad a una falla de la fuente auxiliar, con la batería bien cargada, (con exclusión de las funciones de telemetría o uso de la radio o módem). La arquitectura utilizada tiene la ventaja de que el funcionamiento del reconectador es independiente del suministro de alta tensión, del suministro auxiliar y del estado de la batería. Gracias a las sofisticadas técnicas de manejo del suministro de energía, se garantiza el funcionamiento del reconectador siempre y si se llegara a perder la alimentación auxiliar, la alarma se transmite en forma remota. En el interior del módulo de comunicaciones se puede instalar una radio o un módem especial. Se incluye un módem V23 FSK en dicho compartimento de comunicaciones como equipamiento estándar.

## 5.9. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

Los transformadores de distribución instalados en las redes aéreas se pueden proteger contra sobrecorrientes en distintas formas dependiendo de factores diversos tales como: tipo de conexión de la red (radial o de malla), importancia de la carga o de su localización dentro de la red así como del criterio de la coordinación de las protecciones. Un esquema típico de los elementos en la red eléctrica es la que se muestra a continuación.



- T – Transformador
- R – Restaurador
- I – Interruptor
- F – Corta circuito fusible

Por lo general los elementos de protección contra sobre corriente en los transformadores de distribución se encuentran localizados en el lado de alta tensión por lo que cuando ocurren fallas en el secundario del transformador (a cierta distancia del devanado de bajo voltaje) debido a la impedancia propia del transformador y a la del cable, la protección del primario no detecta la falla como real mas bien la ve como una sobrecarga y esto hace que un buen porcentaje de los transformadores de distribución dañados tengan como origen de la falla la presencia de corto circuito en el secundario y en ciertos casos haga necesaria la aplicación de dispositivos de protección contra sobre corriente en este devanado.

En la protección de transformadores que operan en las redes de distribución aéreas, es necesario considerar que con cierta frecuencia estarán sometidos a sobrecargas y una pregunta que surge es que tanto se puede sobrecargar un transformador de distribución durante su operación considerando la diversidad de condiciones de carga a que se encuentran sometidos dependiendo del numero de usuarios.

La capacidad de disipación del calor de una maquina eléctrica es la capacidad de sobrecarga que puede tener en el caso particular de los transformadores de distribución se puede tomar como referencia la norma ANSI 57.92 que se refiere a la "Guía para carga de transformadores sumergidos en aceite" y que da en la tabla siguiente algunos valores de carga de corto tiempo permisibles para la protección por sobre corrientes.

<b>Tensión nominal de operación 23 000 V</b>	
kVA del transformador	Eslabón Fusible
45	K2
75	K3
112.5	K5
150	K6
225	K10
300	K12
500	K20

Nota: Se considera como tensión de operación 21 500 V.

### 5.9.1. SOBRE CARGA PERMISIBLE EN TRANSFORMADORES.

Periodo de tiempo	Número de veces la corriente nominal del transformador (sobre carga)
2 seg.	25.0
10 seg.	11.3
30 seg.	6.7
60 seg.	4.75
5 min.	3.0
30 min.	2.0

Los transformadores de distribución también tienen una capacidad de conducción de corrientes de corto circuito durante lapsos de tiempo cortos y dependiendo también del valor de su impedancia, estos valores de corriente y su relación con la impedancia se encuentran normalizados en la norma ANSI para transformadores con tensiones iguales o inferiores a 13.8 KV.

### 5.10. PROTECCION DE BANCOS DE CONDENSADORES.

Es bastante común que en algunas redes de distribución aéreas se usen capacitores con propósitos de regulación de voltaje y de corrección de factor de potencia, razón por la que es necesario que en forma semejante a los transformadores se protejan convenientemente a los bancos de condensadores para evitar fallas internas que pueden tener su origen en otras pero que al final de cuentas producen un efecto negativo en la operación de la red misma.

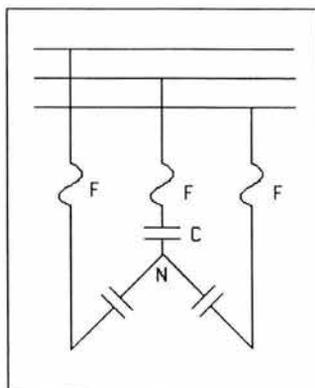
Como política de operación y los mismos fabricantes de capacitores recomiendan que en las redes de distribución se pueden operar a máxima carga y una sobre capacitancia máxima de 115% sin tener problema y en permitir una sobre tensión del 110% y por esto el factor combinado es del 25%, lo que permitirá ofrecer un mejor servicio siendo el factor del 25% el que resulta satisfactorio.

Además de la protección de los bancos de condensadores contra sobre corrientes por corto circuito o sobrecargas es necesario considerar que no puede iniciar su operación en cualquier forma, ya que también se presentan las corrientes de inserción inicial. Con una corta duración y de respuesta senoidal y que en este caso depende del tamaño del capacitor y de otros factores como la corriente inicial de inserción que produce una respuesta senoidal amortiguada de alta frecuencia cuyas características dependen del tamaño e impedancia de fuente del capacitor.

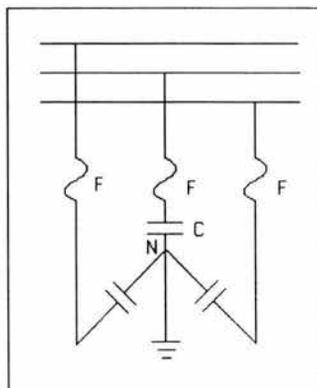
Cuando ocurre un corto circuito y se presenta una corriente de falla en el banco de condensadores expresado como un valor  $I^2t$  mayor que la corriente de inserción. Expresado el resultado de las corrientes similares en casos parecidos para cada zona.

Debido a que los condensadores se encuentran contruidos por medio por medio de grupos de paquetes que están conectados en paralelo de manera que cuando uno falla ocurre en un paquete, tiende a propagarse y la corriente del capacitor se incrementa causando la mayoría de las veces una sobre corriente aumentando también la tensión de los paquetes no fallados pudiéndose presentar la ruptura dieléctrica del capacitor al tanque del banco. Esta ruptura es la que constituye la base de la protección y se maneja probabilisticamente por medio de la curva "conocida como de probabilidad de ruptura a tanque".

En cuanto a la conexión los bancos de condensadores en redes de distribución aéreas, generalmente es auxiliar valioso su conocimiento para la protección, estando conectados estos bancos en general en delta o en estrella como se indica en las figuras siguientes



Conexión estrella con neutro  
flotante



Conexión estrella con neutro sólido  
a tierra

*CAPITULO VI*  
*COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE*  
*PROTECCION*

## 6.1. LINEAMIENTOS BASICOS.

Estudios estadísticos efectuados en sistemas de distribución aérea han demostrado que hasta el 95% de las fallas son transitorias.

Las causas típicas de dichas fallas pueden resumirse en:

- ⇒ Conductores que por acción del viento se tocan.
- ⇒ Descargas atmosféricas sobre algún aislador.
- ⇒ Animales que puentean alguna superficie conectada a tierra con los conductores o conductores entre si.
- ⇒ Ramas de árboles, antenas, láminas, etc.
- ⇒ Sobrecargas momentáneas que producen ondas de corriente las que pueden hacer operar los dispositivos de protección.
- ⇒ Contaminación ambiental.
- ⇒ Vandalismo.

La experiencia real de fallas nos ha demostrado que en el primer recierre se elimina hasta el 88% de ellas, en el segundo un 5% adicional y en el tercero un 2% mas, quedando un promedio del 5% de fallas permanentes.

Para la ubicación correcta del equipo de protecciones deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

1. El primer punto lógico a proteger será la salida del alimentador.
2. Idealmente el origen de cada ramal deberá considerarse como punto de seccionalización con el objeto de limitar el retiro de servicio al menor segmento practico del sistema.
3. Se debe tomar en cuenta la facilidad de acceso al equipo de protección que se instale.
4. La decisión definitiva sobre el grado de protección debe quedar sujeta a una evaluación técnico-económica que tome en cuenta la inversión inicial en los equipos contra los ahorros en costo y beneficio a largo plazo.

Los factores que deben tomarse en cuenta para la aplicación apropiada del equipo de protección se pueden resumir en:

- ⇒ Distancia y calibre de conductores a lo largo del circuito que se desea proteger.
- ⇒ Voltaje del sistema.
- ⇒ Corrientes nominales de carga en las ubicaciones del equipo de protección.
- ⇒ Niveles de falla máxima y mínimos en los puntos que se desean proteger.
- ⇒ Valores mínimos de operación.
- ⇒ Características operativas (curvas tiempo-corriente) y secuencia seleccionada en los equipos de protección.

- ⇒ En los equipos de protección se deben considerar ciertos márgenes de capacidad, tales que cubran los futuros crecimientos de carga o probables modificaciones del sistema.
- ⇒ Normalmente, a medida que las distancias desde la subestación aumenta, se utilizan equipos menos caros y menos sofisticados.

Existen dos principios básicos que deben tomarse en cuenta en la coordinación de dispositivos de protección.

1. El dispositivo de protección mas cercano debe eliminar una falla permanente o transitoria antes que el dispositivo de respaldo, adyacente al lado del alimentador interrumpa el circuito en forma definitiva.
2. Las interrupciones del servicio motivadas por fallas permanentes, deben ser restringidas a una sección del circuito lo mas pequeña y por el tiempo menor que sea posible.

## **6.2. FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE LOS RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.**

La protección que actúa para disparar un interruptor cuando una cierta cantidad de corriente mayor que la normal fluye por una porción particular del sistema de potencia.

El tipo de relevador mas simple de sobrecorriente usa el principio de atracción electromagnético y es del tipo solenoidal. Los elementos básicos de este tipo de relevador son una bobina solenoidal, un núcleo de hierro y un embolo de acero o armadura el cual se mueve dentro del solenoide y soporta los contactos. Otro tipo de relevadores es el de armadura tipo bisagra.

Los relevadores de sobrecorriente también emplean el principio de inducción magnética. De acuerdo a la estructura que emplean se clasifican en:

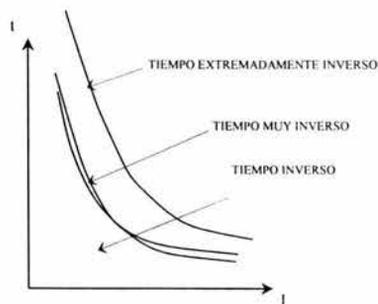
- ⇒ Armadura tipo disco de inducción de polos sombreados.
- ⇒ Armadura tipo disco de inducción de estructura de wattorímetro.
- ⇒ Armadura tipo copa de inducción

Para una característica de sobrecorriente instantánea se usan, ya sea el tipo de embolo o el de armadura tipo bisagra.

Cuando se desea tener 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 tiempo-corriente para variaciones múltiples de la corriente de iniciación de operación (corriente de pick-up).

Son tres los modelos más comúnmente usados para las características de tiempo-sobrecorriente, las cuales difieren en la relación a la cual el tiempo de operación del relevador disminuye cuando la corriente aumenta. Estos modelos de curvas se muestran en la figura 6.1, son conocidas como inversa, muy inversa y extremadamente inversa.

- Característica de tiempo inverso.- En los sistemas eléctricos en donde el valor de la corriente de corto circuito depende en gran parte de la capacidad de generación del sistema en el momento de falla, se consiguen mejores resultados con relevadores de característica inversa.
- Característica muy inversa.- En los sistemas eléctricos en donde el valor de la corriente de corto circuito que circula a través de un relevador depende principalmente de su posición relativa respecto al punto donde se ha producido la falla y muy poco de las características del sistema generador, se suele mantener una protección más adecuada con relevadores de característica muy inversa.
- Característica extremadamente inversa.- Esta característica hace a los relevadores particularmente adecuados para la protección de los alimentadores primarios de distribución, porque son los que mejor coordinan el disparo del interruptor con el fusible y reconectadotes.



**Figura 6.1** Curvas características tiempo corriente

Es importante recalcar 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 reestablecimiento (reset o dropout), 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 de dos formas, a saber:

- 1) Mediante el código de número NEMA (con referencia a las normas NEMA Nacional Electrical Manufacturers Assosiation):

No. de código	Descripción
50-1	Relevadores de sobrecorriente entre fases (cuya respuesta es
50-2	instantánea ante magnitudes de corriente elevadas).
51-1	Relevadores de sobrecorriente entre fases (ajuste de tiempo): para censar sobrecorrientes (cuyo valor se atenúa por la impedancia de la línea) hacia el punto más alejado de la S.E. 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)

- 2) Código de colores, empleado por LyF.  
1R; 2R relevador (es) rojo (s) unidad instantánea; fallas entre fases. 1A, 2A unidad (es)  
amarilla (s) de tiempo; fallas entre fases. NR, relevador (es) rojo (s) unidad instantánea; fallas a  
tierra NA, relevador (es) amarillo (s) unidad de tiempo; Fallas a tierra.

Adicionalmente es importante mencionar que, el relevador de recierre de LyF se apega al número NEMA correspondiente que es 79; debe quedar bloqueado siempre que los relevadores con ajuste instantáneo actúen. Dicho relevador hace posible efectuar hasta 3 “pruebas” (antes de la apertura definitiva sobre la línea), para tratar de mantener la continuidad en el servicio ante fallas transitorios. Por lo general se ajustan de la manera siguiente:

<b>Recierres</b>	<b>Intervalo de tiempo</b>
1º	0 segundos
2º	15 segundos
3º	30 segundos

### **6.3. SUBESTACIONES CON SISTEMAS DE PROTECCIÓN FUSIBLE RELEVADOR.**

Las subestaciones que emplean este sistema de protección son aquellas en las cuales sus bancos de transformación menor a los 12,000 KVA y no se justifica económicamente el empleo de un interruptor de potencia en el lado de alta tensión. Los transformadores cuentan con los siguientes dispositivos para su protección interna:

Relevadores de:

- |                        |     |
|------------------------|-----|
| a) Nivel               | 71Q |
| b) Presión             | 63P |
| c) Término de líquido  | 26Q |
| d) Término de devanado | 49Q |

Para estas capacidades el relevador 49T y el relevador 63P son substituidos por un dispositivo de desfogue tipo Cuello de Ganso obturado por un vidrio que se rompe a una presión crítica, permitiendo la salida gases provocados por falla interna. Ocasionalmente se tienen transformadores de potencia en estas capacidades que cuentan con tanque conservador y que poseen también el relevador de flujo y de presencia de gases (Buchholz). Para la protección externa del transformador de potencia se emplean fusibles de potencia en el lado de alta tensión y relevadores de sobrecorriente en el lado de baja tensión.

Son los fusibles de potencia los que realmente protegen al transformador y lo aíslan en caso de falla, además de respaldar la función de los relevadores del interruptor de baja tensión.

Los fusibles de potencia deben cumplir algunas condiciones para su elección como medio de protección primaria del transformador:

- a) Las curvas MMT y MCT del fusible deben quedar debajo de la curva de daño del transformador.
- b) El fusible deberá soportar las corrientes de magnetización (Inrush), es decir, la curva MMT quedara a la derecha de los siguientes puntos:  $3I_n = 10$  seg.;  $6I_n = 1$  seg.;  $12I_n = 0.1$  seg.;  $25I_n = 0.01$  seg.;  $I_n$  = corriente nominal (AO) del transformador.
- c) El fusible deberá soportar la corriente de carga fría. La carga fría es el resultado de la combinación de carga conectadas en el circuito y en el momento de energizar el transformador puede intervenir. La experiencia ha determinado que la curva MMT debe quedar a la derecha de los puntos:  $6I_n - 1$  seg.;  $3I_n - 10$  seg.
- d) La curva MMT se toma como frontera de coordinación para los elementos inferiores en la cascada.

Los relevadores de sobrecorriente de fases que operan sobre el interruptor de banco de baja tensión, protegerán al transformador de sobrecargas sometidas, evitando que operen los fusibles de potencia cuyo costo es elevado y de tiempo de reposición largo para estas anomalías que no son fallas internas del transformador. Otras de las funciones es respaldar la operación de los relevadores de fase de los circuitos, par el caso en que estos no operarán con falla en el alimentador.

El relevador 51NT para desconectar fallas a tierra, debe conectarse de T.C. de neutro del transformador de potencia ya que, al circular la corriente de falla directamente por el neutro del transformador, su reflejo a través del T.C. es mas fiel que en una conexión residual de una estrella. Cuando existe interruptor de alta tensión, este relevador actuara sobre el mismo para eliminar las fallas de fase a tierra del devanado de baja tensión del transformador.

Para el caso que describimos la función del relevador será despejar las fallas en el bus y respaldar la operación de los relevadores 51NT de los alimentadores. Las fallas del transformador las despejaran únicamente los fusibles de potencia.

Los relevadores que operan sobre el interruptor de banco de baja tensión, carecen de unidad instantánea (50) ya que siendo el bus la salida de los alimentadores el mismo punto eléctrico, operan simultáneamente con los relevadores del alimentador, no existiendo coordinación. Los relevadores para protección interna del transformador, no contar con equipo de desconexión en alta tensión pierden su utilidad, a menos que la S.E. cuente con control supervisorío que permita tomar medidas correctivas al emitirse señales de alarma por condiciones normales en la misma.

Los relevadores de sobrecorriente de fase del interruptor de banco en baja tensión deben ajustarse para un pick-up máximo del 200% de la capacidad nominal del transformador y su tiempo de operación para falla en la barra de baja tensión deberá tener de 0.3 – 0.4 seg. mas que el tiempo de operación que el esquema de protección del alimentador.

El relevador 51NT, debido a que no se afecta con la corriente de carga, es posible ajustarlo a un valor entre el 10 y el 70% de esta.

El tiempo de operación deberá seleccionarse en forma similar al de los relevadores de fase.

#### **6.4. SUBESTACIÓN CON SISTEMA DE PROTECCIÓN RELEVADOR - RELEVADOR.**

Para este sistema de protección se emplean generalmente los bancos de transformación con capacidad superior a los 12,000 KVA, aunque no es raro encontrar subestaciones con transformadores de 7,500 KVA con este sistema de protección.

Para protección interna estos transformadores, utilizan los siguientes relevadores:

- |                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| a) De nivel                      | 71Q |
| b) De presión                    | 63P |
| c) De flujo y presencia de gases | 63T |
| d) Térmico de líquido            | 26Q |
| e) Térmico de devanado           | 49T |

Los relevadores 63P, 63T y 71Q operan sobre el interruptor de banco de alta tensión, desenergizando el transformador. Los relevadores 63T y 71Q tienen un arreglo de detección de condiciones anormales leves o severas. El primer paso se utiliza para mandar una señal de alarma y el segundo como se indio, de desconexión. Los relevadores 26Q y 49T, actúan de manera preventiva, es decir, no desenergizan el transformador pero dan una señal de alarma, con el fin de que se elimine la causa de su operación.

Si se cuenta con control supervisorio, únicamente el disparo del interruptor de alta tensión será por 63T y 63P. El relevador 49T, se utiliza para controlar automáticamente los pasos de ventilación forzada de transformadores.

Para la protección externa del transformador, éste cuenta generalmente con dos esquemas: Diferencial de corriente y sobrecorriente. El primero brinda la protección más eficiente por sus características de selectividad y velocidad. El segundo actúa como respaldo del primero y a la vez protege contra sobrecargas peligrosas y respalda la operación de los esquemas de los alimentadores. La protección diferencial de discos de inducción podrá aplicarse a subestaciones alejadas de las grandes fuentes de generación en donde la corriente de magnetización es despreciable.

Los relevadores con restricción de armónicas que son mas complejos y mas seguros deben usarse en donde haya probabilidad de una corriente de desmagnetización severa.

Para una operación confiable de esquema, debe considerarse lo siguiente:

- a) Diferencias en las características de los TC's (magnetización y saturación).
- b) El por ciento de errores de la relación de corriente secundaria a los taps de ajuste de los relevadores (mismatch).

$$M = \frac{\left( \frac{I_L}{I_H} \right) - (I_L - T_H)}{(S)(100)}$$

donde:

$I_L, I_H$  = Corriente secundarias que encuentran al relevador de los TC's de alta y baja tensión.

$T_L, T_H$  = Taps de ajuste de relevador para corriente secundaria de alta y baja tensión.

$S$  = El menor de los dos términos.

- c) Relación de transformación variable (cambiador de taps del transformador).
- d) Corrientes de magnetización del transformador.

Los tres primeros puntos se presentan para fallas externas, la operación errónea de un relevador diferencial debe evitarse verificando que el error sea menor al 10% para el valor máximo de falla externa y dando un margen de seguridad del 5 al 15% adicional al % de pendiente calculado.

## 6.5. ALIMENTADORES PRIMARIOS.

Podemos distinguir tres tipos básicos de alimentadores primarios:

- a) Tipo rural: con dos tipos de carga; la que alimenta pequeños poblados cuya carga se caracteriza por motores chicos (bombas, molinos, pequeñas industrias) y alumbrado y la que alimenta grandes sistemas de bombeo.
- b) Tipo urbano: aquel que tiene carga de alumbrado, pequeños y grandes comercios y pequeñas industrias; y
- c) Tipo industrial: urbano o rural que se caracteriza por grandes consumos de energía y por ende grandes motores.

Los alimentadores primarios por lo general operan en forma radial y en el caso de existir anillos, estos están normalmente abiertos operando como circuitos radiales alimentando la carga de diferentes subestaciones. La forma mas usual de protección para las fallas que se presentan en el alimentador primario es la de sobrecorriente, con un esquema formado por tres relevadores de fase alimentados a través de igual numero de TC's cuyos secundarios se conectan en estrella y un relevador residual que como su nombre lo indica se conecta al neutro común de la estrella formada.

Este esquema siempre cuenta con unidades de sobrecorriente de disparo instantáneo (50). También debe tener un relevador de recierre (79) que permita recerrar el interruptor cuando este abra por acción de los relevadores de sobrecorriente por una falla transitoria, que son las que se presentan en un gran porcentaje en comparación a otras fallas.

Si la falla es permanente el relevador tiene la habilidad de quedar bloqueado y abierto si después de un número predeterminado de operaciones para las que se programo (generalmente a 2.5 y 15 segundos) no se despeja esta falla. Si se cuenta con control supervisorio, su función ya no es necesaria y deberá bloquearse mientras este esté en operación.

Existen diversas curvas de operación para relevadores de sobrecorriente como ya se vio anteriormente y se considera que la curva es extremadamente inversa es la mas adecuada para una buena coordinación con fusibles y restauradores.

El ajuste de la unidad de disparo instantáneo de sobrecorriente, dependerá de si el siguiente dispositivo de protección sobre el alimentador es fusible o restaurador, como se indica en los lineamientos básicos.

Si el siguiente dispositivo es fusible se puede optar por:

1. Ajustar la unidad instantánea para ver la falla en el punto de ubicación de los fusibles en la primera operación de la protección, después bloquear su operación por medio de contactos auxiliares del relevador de recierre con el fin de que si la falla no se libre en esta ocasión opere la unidad 51 dando tiempo a que el fusible se queme.
2. Ajustar la unidad instantánea de manera que no vea la falla en la localización del fusible y seccionando la unidad de tiempo de forma tal que permita se funda este.

El criterio que puede aplicarse para asegurar que no sobrealcance y que es aplicable también para el caso de que el siguiente dispositivo de protección sea un restaurador es como sigue:

$$N = \frac{(K_s(1 - K_i) + 1)}{K_i}$$

donde:

N: Distancia en PU del tramo protegido.

$K_i$ : 1.3 (para instantáneas del tipo IIT, SC, IT)

$K_s$ :  $Z_s/Z_1$

$Z_s$ : Impedancia del sistema.

$Z_1$ : Impedancia del alimentador.

Los relevadores de sobrecorriente de fase se deberán ajustar a un tap que permita llevar el 200% de la corriente de carga máxima (nunca menor al 150%) y de manera que la corriente secundaria no sea mayor a 4 o 5 amperes y a la vez que la corriente de falla no sobrepase los 100 amperes secundarios.

El tiempo de operación del relevador palanca se obtiene de la coordinación respecto a los ajustes de los relevadores de respaldo; un valor típico de 0.2 seg. para falla en bus dadas las características generales de las curvas de los fabricantes de relevadores tanto para los de fase como los residuales.

El relevador de sobrecorriente residual, se ajustara en forma ya indicada para la unidad con retardo de tiempo se ajustara a un valor entre el 10% y el 20% de la corriente del transformador sin que sea superior al ajuste dado al 51NT, el tiempo de operación será de 0.2 segundos para falla en bus como se indico anteriormente.

Las curvas de estos relevadores deberán trazarse en papel logarítmico para verificar los tiempos de coordinación con los dispositivos de protección lado carga y lado fuente con que se cuenten y deberán trazarse también las curvas de daño de los equipos protegidos que nos permita asegurar y optimizar el sistema de protección.

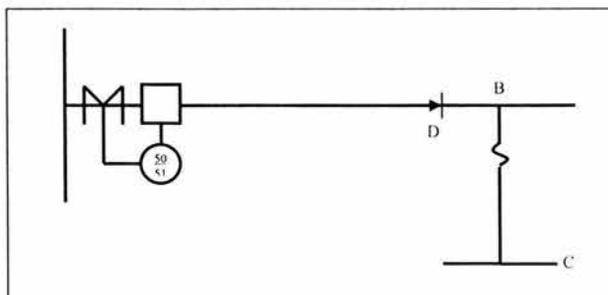
## **6.6. REDES DE DISTRIBUCIÓN.**

Una vez bien definidas algunas reglas para la coordinación en subestación y alimentadores primarios, veremos a continuación algunas reglas aplicables a los dispositivos utilizados en la protección de redes, como son los restauradores, fusibles y seccionadores.

### 6.6.1 COORDINACIÓN INTERRUPTOR-FUSIBLE DE LADO CARGA.

La coordinación de estos dispositivos ocurre normalmente encontrándose el interruptor dentro de la subestación.

En base a la curva tiempo-corriente del relevador del interruptor, podemos realizar la coordinación de protecciones observando las siguientes consideraciones: Si el ramal B-C es importante, se debe utilizar un restaurador o bien tratar de hacer el arreglo siguiente:

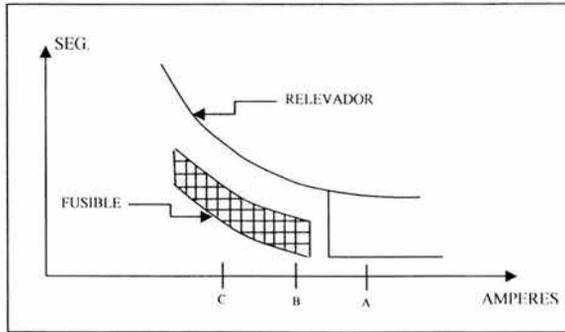


Con tal operación alternada del instantáneo (1 disparo instantáneo 2 disparo tiempo) cualquier falla en ese ramal, el primer disparo lo hace el relevador, a través del recierre, el interruptor vuelve a cerrar y si la falla persiste, se fundirá el fusible.

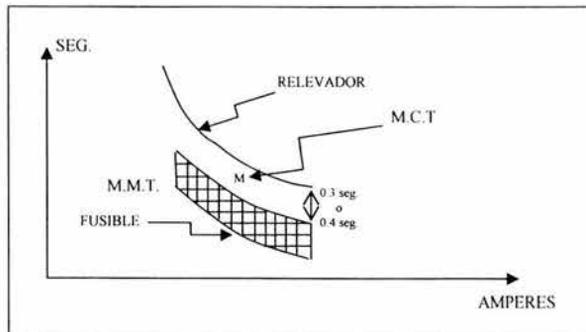
**VENTAJAS:** Como el 85% de las fallas puede ser eliminada en el primer disparo, es muy probable que por medio del recierre del interruptor quede todo normalizado y no sea necesario reponer fusible.

**DESVENTAJAS:** Es afectado mayor numero de consumidores por falla en un ramal en el caso de que esta sea transitoria, por lo tanto no es conveniente sensibilizar la operación por instantáneo en el relevador para todos los ramales con fusibles.

La otra consideración es aumentar la operación por instantáneo o bloquearlo.



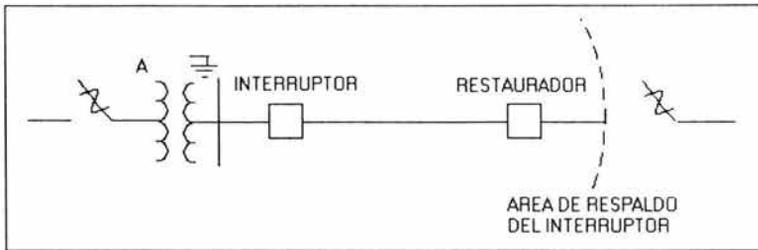
Para fallas en B-C se fundirá el fusible sin afectar todo el circuito. Los tiempos de coordinación se tratara de fijarlos entre 0.3 - 0.4 segundos



## 6.6.2. COORDINACIÓN INTERRUPTOR-RESTAURADOR.

La coordinación de estos dispositivos ocurre cuando en un circuito donde el interruptor actúa como respaldo normalmente dentro de la subestación.

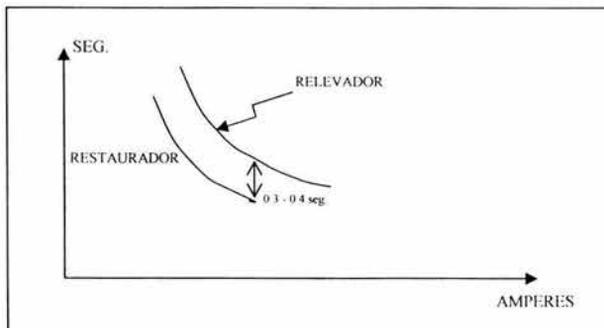
En el estudio de coordinación es necesario notar lo siguiente:



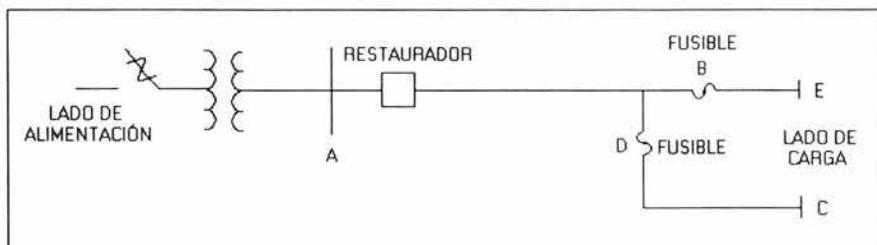
- Un interruptor abre y despeja la falla varios ciclos después que su relevador de sobrecorriente opera.
- El tiempo de reposición del relevador del interruptor es extremadamente largo y si la corriente de falla se reaplica antes de que el relevador se reponga completamente este avanza nuevamente hacia el punto de cierre desde la posición de reposición incompleta.

Hay que tomar en cuenta para una efectiva coordinación entre interruptor y restaurador, que la distancia entre ellos debe ser como mínimo de 3 kms o bien eliminar una operación lenta del restaurador.

Es conveniente dejar un tiempo de 0.3 – 0.4 segundos entre la curva acumulativa del restaurador y la característica del relevador.



### 6.6.3. COORDINACIÓN RESTAURADOR-FUSIBLE DEL LADO CARGA.



Para hacer posible la coordinación, el restaurador debe percibir todas las corrientes de falla en la zona protegida (desde el punto A hasta C y E).

Se obtiene máxima coordinación de estos dispositivos, ajustando el restaurador para una secuencia de dos operaciones rápidas seguidas por dos lentas.

#### SECUENCIA 2A 2B

**VENTAJAS:** Excelente coordinación, permite despejar hasta un 90% durante las operaciones rápidas y un 5% mas cuando el fusible opere.

**DESVENTAJAS:** Puede ocurrir el fenómeno de cascada limitada cuando los dos restauradores del mismo rango están conectados en serie y cada uno esta ajustado para dos operaciones rápidas y dos lentas.

#### SECUENCIA 2A 2C

**VENTAJAS:** Se amplía el rango de coordinación.

**DESVENTAJAS:** Tiempo total de operación mayor que con secuencia 2A 2B y la misma posibilidad de cascada limitada.

#### SECUENCIA 2A 2D

Las mismas ventajas y desventajas de la secuencia 2A 2C.

#### SECUENCIA 1A 3B, 1A 3C O 1A 3D

Se obtiene coordinación en menor grado que las anteriores, aunque permite despejar hasta un 85% de las fallas antes de que el fusible opere. Generalmente se usa cuando se instalan seccionizadores automáticos entre los fusibles y el restaurador.

### SECUENCIAS TODAS RÁPIDAS O TODAS LENTAS.

No es posible la coordinación selectiva, en vista de que con la secuencias, todas rápidas, no operaría el fusible y en secuencia, todas lentas, a la primera operación operaría el fusible.

Para la coordinación con elementos fusibles hay que tomar en cuenta dos reglas fundamentales:

- a) El punto máximo de coordinación, es el valor de corriente en la intersección de las curvas mínimas de fusión del elemento fusible con la curva de tiempo rápido de despeje del restaurador multiplicada por un factor k.

Tiempo de recierre (seg.)	Factor k para:	
	Una operación rápida	Dos operaciones rápidas
0.5	1.2	1.8
1	1.2	1.35
1.5	1.2	1.35
2	1.2	1.35

- b) El punto mínimo de coordinación es el valor de corriente en la intersección de las curvas máximas de fusión con el tiempo de despeje mínimo del restaurador o interruptor en su curva lenta.

#### 6.6.4. COORDINACIÓN RESTAURADOR-FUSIBLE DEL LADO ALIMENTACIÓN.

Todas las operaciones del restaurador deben ser más rápidas que la curva mínima de fusión del fusible. Además, la secuencia de operación del restaurador y el intervalo de recierre deben ser considerados.

Para la máxima corriente de falla disponible en un punto determinado del circuito, el tiempo mínimo de fusión del elemento fusible en el lado de alimentación del transformador debe ser mayor que el tiempo promedio de despejar de la curva lenta del restaurador, multiplicada por un factor específico.

Esto introduce otro grupo de factores k que varía con las secuencias de recierre y operación y del tipo de restaurador usado: a continuación se muestran valores para una marca de restaurador en particular.

Factores de multiplicación para elementos fusibles del lado de alimentación

Tiempo de recierre (seg.)	Factores de multiplicación		
	Dos operaciones rápidas y dos lentas	Una operación rápida y tres lentas	Cuatro operaciones lentas
0.4	2.7	3.7	3.7
0.5	2.6	3.1	3.5
1	2.1	2.5	2.7
1.5	1.85	2.1	2.2
2.0	1.7	1.8	1.9
4.0	1.4	1.4	1.45
10	1.35	1.35	1.35

La coordinación de los restauradores con los fusibles del lado carga, así como los de lado de alimentación utilizan las curvas características de tiempo-corriente del elemento fusible para cualquier tipo particular, en consecuencia, los elementos fusible usados en un plan de protecciones, deben contar con curvas características garantizadas. Cada estudio de coordinación identifica un tipo de elemento específico y el régimen de corriente que debe usarse para una coordinación correcta.

Cuando un elemento opera debido a una falla, el lindero debe reemplazar el elemento consumido por el mismo tipo y régimen de amperes, preferiblemente del mismo fabricante.

### 6.6.5. COORDINACIÓN RESTAURADOR-SECCIONALIZADOR.

Un seccionizador, cuenta la cantidad de veces que una corriente superior a su mínima actuante es interrumpida por un dispositivo de respaldo y después de una cantidad preseleccionada de recuentos abre sus contactos.

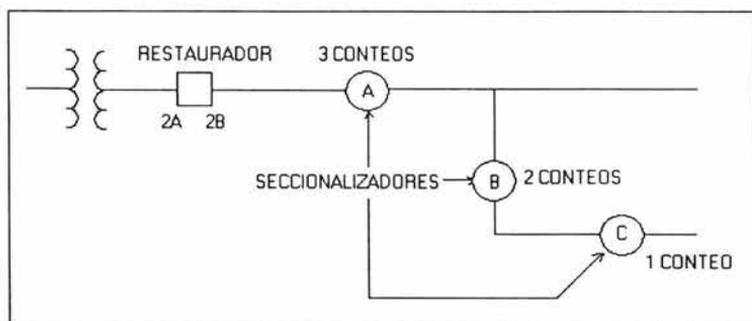
Cuando es debidamente utilizado, abrirá la línea estando desenrigizada. No tiene capacidad de ruptura para corriente de falla, aunque si tiene suficiente para abrir el circuito con carga normal.

Si la corriente que fluye a través del seccionizador es mayor de 160% de la capacidad nominal de su bobina y el dispositivo de respaldo interrumpe la corriente de falla, entonces el seccionizador efectuará una cuenta, repitiéndose el proceso hasta el momento al que a llegar a la cantidad preseleccionada de recuentos abrirá sus contactos quedando abierto debiéndose reponer manualmente.

Si la falla es transitoria, el seccionizador se repone a su estado original, para lo cual requiere un determinado tiempo, el cual para seccionizadores hidráulicos es aproximadamente un minuto y para los electrónicos puede preseleccionarse dicho tiempo.

Como los seccionizadores no tiene características de tiempo-corriente, su coordinación no requiere estudio de curvas pero para asegurar la coordinación con un restaurador es necesario analizar el tiempo de retención de cuenta del seccionizador.

La regla para la coordinación restaurador-seccionizador, es ajustar este ultimo a una cuenta menos que el restaurador y cada seccionizador adicional en serie, deberá ser ajustado para una cuenta menos que el anterior.



La secuencia 2A 2B en el restaurador es una buena selección para coordinar estos dos dispositivos, aunque si posteriormente al seccionizador se desea coordinar con un fusible no se considera la mas adecuada.

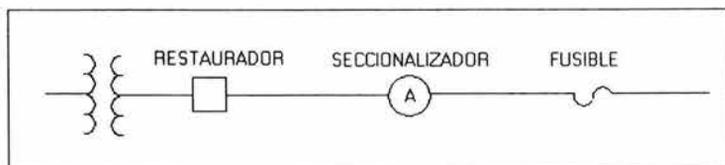
Con un restaurador hidráulico y un seccionalizador hidráulico se asegura la coordinación cuando tanto el restaurador como el seccionalizador utilizan bobinas con el mismo régimen continuo. La suma de los tiempos de corte y recierre del restaurador no deben exceder el tiempo de memoria el seccionalizador.

En el caso de corriente de entrada, cuando esta excede la corriente actuante del seccionalizador pero por debajo del restaurador, el seccionalizador cuenta y puede abrir el circuito innecesariamente. Este problema se elimina seleccionando las bobinas por encima de cualquier corriente de entrada probable.

Otra solución será instalar en el seccionalizador un accesorio de restricción de voltaje, el hace que el corte quede bloqueado mientras exista voltaje del lado de alimentación. Con este accesorio, puede instalarse un seccionalizador entre dos restauradores.

Ahora que si la corriente de entrada hace que el restaurador corte, el voltaje al seccionalizador se perderá y abrirá innecesariamente. Si se instala un accesorio de restricción de corriente de entrada en el seccionalizador el problema se elimina, ya que detecta si la falla ocurre antes o después del seccionalizador para que en caso de que sea después de esta, pueda operar normalmente, pero si la falla esta entre el restaurador y el seccionalizador se bloquee su operación.

### 6.6.6. COORDINACIÓN RESTAURADOR-SECCIONALIZADOR-FUSIBLE.



Las secuencias 1A 3B, 1A 3C y 1A 3D se consideran excelentes para la coordinación de estos tres dispositivos con las siguientes desventajas:

**DESVENTAJAS:** El fusible se funde y despeja la falla durante la primera operación demorada, aunque anteriormente el restaurador elimino el 85% de las fallas transitorias con la operación rápida. El tiempo de operación es mayor que con secuencia 2A 2B y puede haber daño en el conductor.

Con las secuencias 2A 2B, 2A 2C y 2A 2D no coordinan los tres dispositivos en vista de que en la primera operación demorada abriría el seccionizador ajustando para tres conteos y se fundirá el fusible.

La secuencia de coordinación debe ser como sigue:

- El restaurador y fusible se coordinan como fue descrito en el punto número 6.6.4, tomando en cuenta que el restaurador debe ajustarse con una secuencia de una operación rápida para tres lentas.
- Luego el restaurador y seccionizador se coordinan como fue descrito en el punto número 6.6.5.

Una secuencia de operación 2A 2B, 2A 2C o 2A 2D, es posible en el caso de que el seccionizador este equipado con accesorios de restricción de voltaje en vista de que la operación de un fusible mas allá de seccionizador, no hará en esté corte o que cuente, debido a que habrá voltaje todavía en el lado de alimentación del seccionizador.

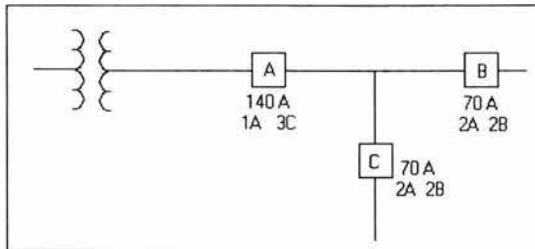
### 6.6.7. COORDINACIÓN RESTAURADOR-RESTAURADOR.

Para coordinar los restauradores hidráulicos, es necesario estudiar sus características tiempo-corriente y suponer que para una corriente alterna 60 Hz.

- Dos restauradores en serie con curvas tiempo-corriente con menos de 0.033 segundos de separación, siempre operarán simultáneamente.
- Si la operación es entre 0.2 y 0.033 segundos de diferencia, pueden operar simultáneamente.
- Si la separación es mayor de 0.2 segundos, los restauradores operarán independientemente.

Hay tres métodos básicos para efectuar su coordinación:

- Usando una combinación de tamaños de bobinas y secuencias de operación.



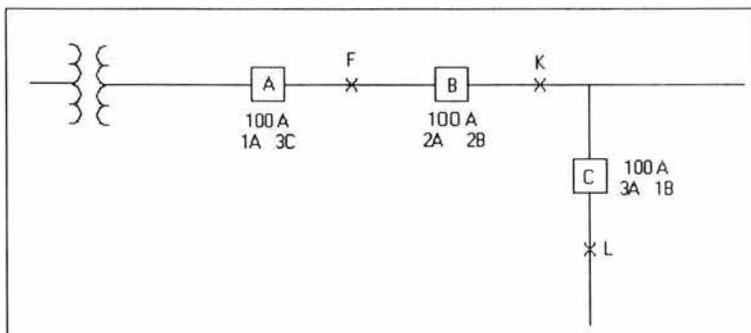
Este método es el más recomendable en la coordinación entre restauradores, debiendo ser usado siempre que sea posible, ya que elimina o al menos minimiza el efecto de cascada y puede mantener una buena coordinación con los fusibles de los ramales.

Para efectuar la coordinación, es necesario estudiar las curvas características de tiempo-corriente aplicando los métodos básicos de coordinación descritos en los incisos a y b.

Para la coordinación correcta de restauradores controlados electrónicamente, debe seguirse el siguiente procedimiento:

- Coordinar los restauradores por medio de sus curvas características tiempo-corriente y una selección adecuada de niveles de corte mínimo en forma similar como se describió para los restauradores hidráulicos.
- Elegir intervalos de recierre para que el restaurador protegido este cerrado o programado para cerrar cuando el protector este programado para cerrar.
- Seleccionar intervalos de reposición de tal modo que cada restaurador cumpla con la secuencia preseleccionada para todas las condiciones de falla.

2. Usar los mismos tamaños de bobina y diferentes secuencias de operación.

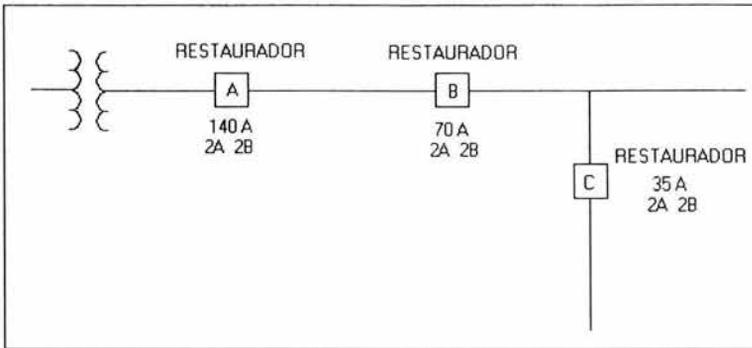


Si analizamos las posibles fallas permanentes en los puntos F, K y L de la figura anterior los restauradores operan de la siguiente forma:

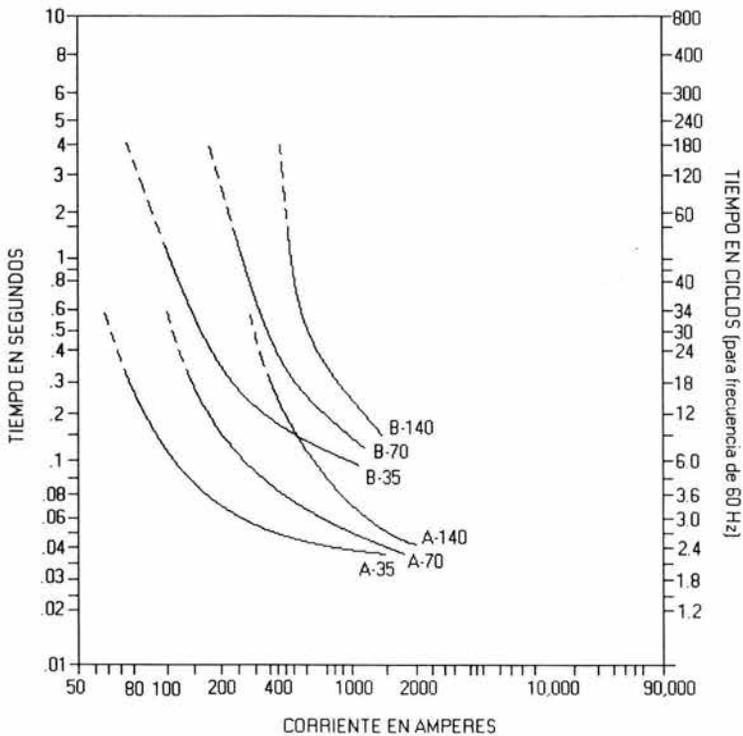
- ❖ Para una falla en F, solamente debe operar el restaurador A y despejar la falla abriendo el circuito.
- ❖ Para una falla en K, los restauradores A y B la detectan y operan simultáneamente en su primera operación rápida, la segunda operación la hace únicamente B en su curva rápida, la tercera operación la pueden hacer simultáneamente A y B en sus curvas lentas (tomando en cuenta que para A sería su segunda operación) y en la última, también puede operar simultáneamente en sus curvas lentas, pero como B tiene sus cuatro recierres, solamente recierra A, y B queda abierto para despejar la falla.
- ❖ Para una falla en L, los tres restauradores operan simultáneamente en su curva rápida A, en la segunda ocasión operan únicamente B y C en su curva rápida y A permanece sin operar, en la tercera ocasión operan simultáneamente los tres restauradores y C queda abierto, mientras que B se queda con 3 cuentas y A con 2 cuentas restableciéndose estos últimos para nuevas operaciones.

Por lo anterior se puede concluir que aunque se tienen algunas operaciones simultáneas puede asegurarse una coordinación efectiva.

3. Usar diferentes tamaños de bobinas y las mismas secuencias de operación.



Analizando el ejemplo mostrado en la figura que antecede en donde se quiere coordinar tres restauradores con la misma secuencia de operación 2A 2B y con diferentes tamaños de bobinas. Sus curvas características aparecen en la figura siguiente y en ellas podemos ver que para una corriente de falla de 1000 amp., tenemos:



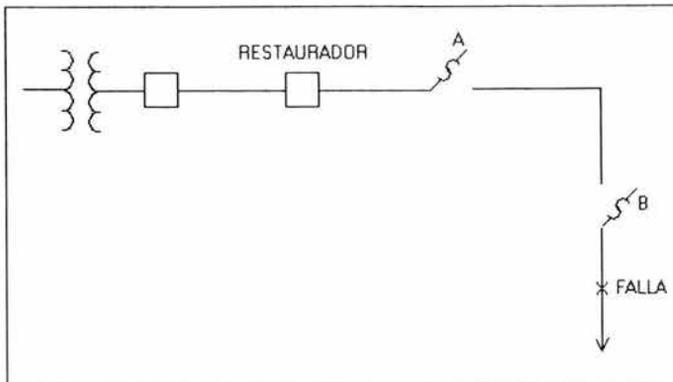
COORDINACIÓN DE CURVAS	SEPARACIÓN EN SEGUNDOS	OBSERVACIONES
A-35 / A-70	Menos de 0.033	Operan simultáneamente
A-70 / A-140	Idem.	Idem.
B-35 / B-70	0.067	Pueden operar simultáneamente
B-70 / B-140	0.117	Idem.

Para una falla de 500 Amp.

COORDINACIÓN DE CURVAS	SEPARACIÓN EN SEGUNDOS	OBSERVACIONES
A-35 / A-70	Menos de 0.033	Operan simultáneamente
A-70 / A-140	0..83	Pueden operar simultáneamente
B-35 / B-70	0.2	Operan independientemente
B-70 / B-140	0.5	Idem.

Podemos concluir que a nivel de 500 amp. de falla es posible coordinación entre los restauradores del ejemplo de la figura aunque puede experimentarse el efecto de cascada durante las operaciones rápidas.

### 6.6.8. COORDINACIÓN FUSIBLE-FUSIBLE.



La regla esencial para la coordinación Fusible-Fusible establece que el tiempo máximo de apertura de fusible B no debe exceder del 75% del tiempo mínimo del fusible A.

La relación de tiempo no debe ser mayor que 75R

$$(0.04 \times 100)/0.07 = 57\% < 75\%$$

por lo tanto esta coordinación del fusible B y A es satisfactoria.

### 6.6.9. PROTECCIÓN DEL CONDUCTOR.

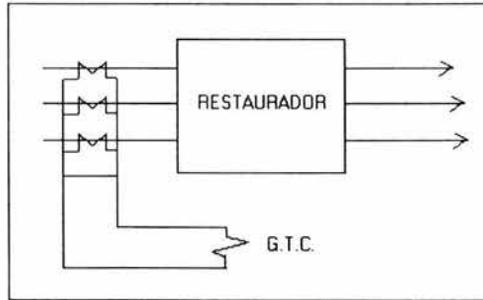
Es extremadamente importante que en todos los estudios de coordinación de los dispositivos de protección, se observe la duración y magnitud de las corrientes de falla, calibre y tipo de conductor ya que la falla debe despejarse antes de que el calor lo recueza y haga que cambie sus características mecánicas lo suficiente como para que la línea resulte peligrosa.

Los dispositivos de protección deben operar en curvas más rápidas que la curva de daños del conductor, lo que hace que en ciertas ocasiones, sobre todo en caso de sistemas muy recargados, se tenga que hacer un sacrificio en la coordinación para no afectar el conductor.

Un método para minimizar los daños del conductor en sistemas sobrecargados es utilizando un restaurador ajustado, para operaciones todas rápidas como respaldo de seccionadores automáticos de línea instalados en los ramales coordinados como se describió en el punto número 6.6.5.

### 6.6.10. DETECTOR DE FALLAS DE LINEA A TIERRA EN RESTAURADORES.

Los restauradores instalados deben poseer un arreglo que detecte las fallas de línea a tierra. Los de tipo electrónico normalmente ya vienen dotados de dicho arreglo, pero , aquellos de tipo electromecánico será necesario proveerles del arreglo siguiente:



Donde los TC's se conectan como se muestra y con la RTC adecuada (generalmente 100/5) para detener la coordinación correspondiente. Comúnmente el valor de pick-up para la bobina GTC (Ground Trip Coil) es de 23 amp.; los ajustes de las operaciones y curvas que se emplean para este tipo de bobinas lo determinan el estudio de coordinación y de acuerdo con las características del equipo en cuestión.

Si se emplea  $RTC = 100/5$  y el pick-up es de 2.3 amp., la corriente primaria mínima que hará operar a este arreglo será de  $100/5 \times 2.3 = 46$  amp., el retardo de operación lo proporcionan las características propias del equipo.

## *Bibliografía*

VALKENBURGH, Van. ELECTRICIDAD BASICA. México 1983. Compañía editorial continental.

DE CELIS VERIZ, Francisco. MANUAL ELEMENTAL DE ELECTRICIDAD. México 1990.  
Ed. Arana Hnos.

ENCICLOPEDIA DE LAS CIENCIAS. Vol. 5. México 1987. Ed. Cumbre.

ING. PASCUAL MARTINEZ, Tomas. SISTEMAS DE PROTECCIÓN POR SOBRECORRIENTE.  
México 1996.

REVINDRANATH, B. PROTECCIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA E INTERRUPTORES.  
México 1980. Ed. Limusa.

VIQUEIRA LANDA, Jacinto. REDES ELECTRICAS. México 1970. Representaciones y servicios de  
ingeniería.

BALABANIAN, Norman. TEORIA DE REDES ELECTRICAS. México 1977. Ed. Reverte.

SKILLING, Hugh Hildreth. REDES ELECTRICAS. México. Ed. Limusa.

ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. LINEAS DE TRANSMISIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN DE  
POTENCIA ELÉCTRICA. México 1978-1980. Ed. Limusa.

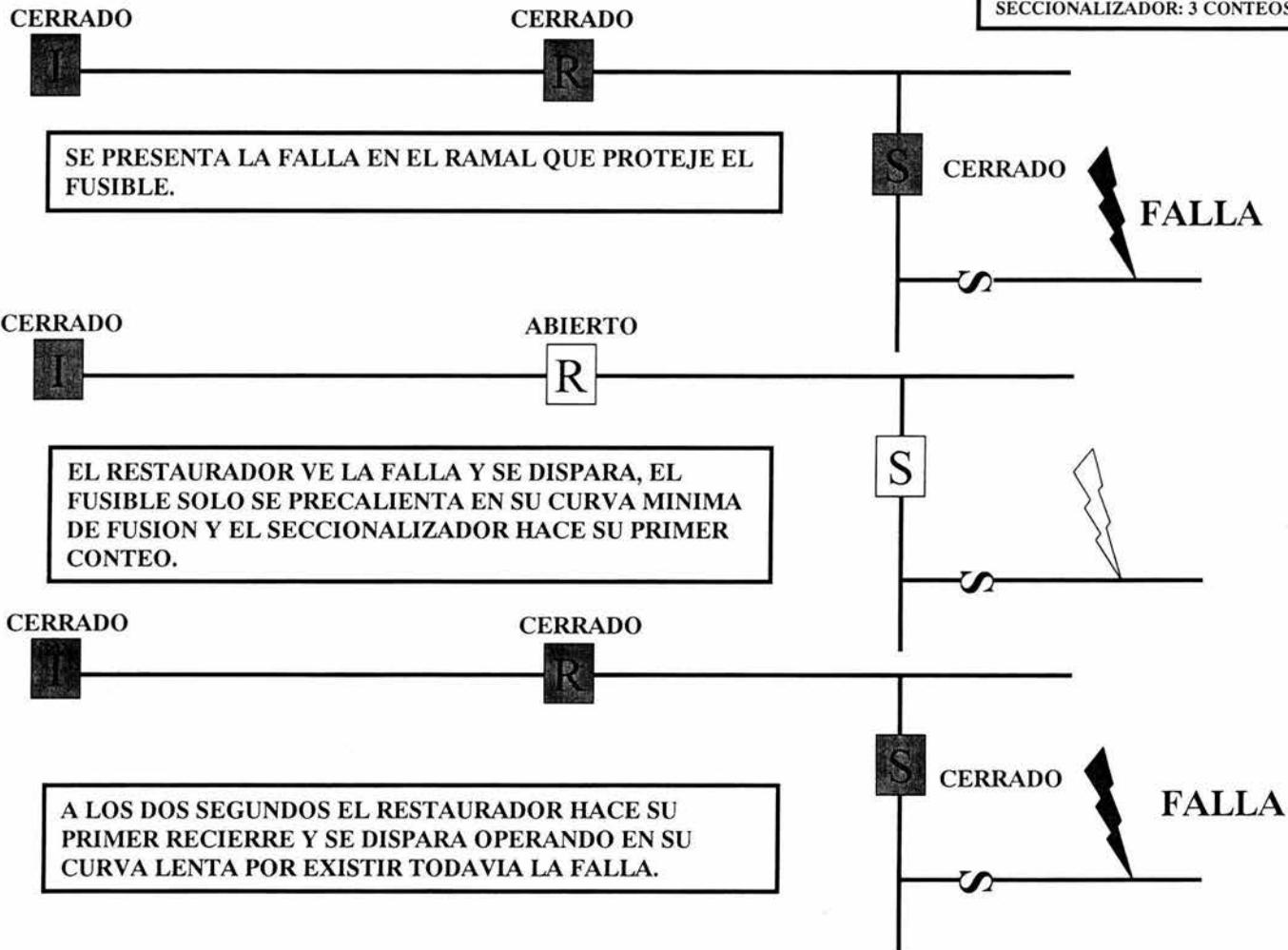
NORMAS DE MATERIALES Y MONTAJES. México 2003. Luz y Fuerza del Centro.



# *CASO PRACTICO*

# FALLA ADELANTE DEL CORTACICUITOS FUSIBLE

SECUENCIA DE OPERACIÓN:  
RESTAURADOR: 1 RAPIDA Y 3 LENTAS.  
SECCIONALIZADOR: 3 CONTEOS.



SE PRESENTA LA FALLA EN EL RAMAL QUE PROTEJE EL FUSIBLE.

EL RESTAURADOR VE LA FALLA Y SE DISPARA, EL FUSIBLE SOLO SE PRECALIENTA EN SU CURVA MINIMA DE FUSION Y EL SECCIONALIZADOR HACE SU PRIMER CONTEO.

A LOS DOS SEGUNDOS EL RESTAURADOR HACE SU PRIMER RECIERRE Y SE DISPARA OPERANDO EN SU CURVA LENTA POR EXISTIR TODAVIA LA FALLA.

CERRADO



ABIERTO



COMO EL RESTAURADOR ESTA EN SU PRIMERA OPERACIÓN EN LA CURVA LENTA EL FUSIBLE SE FUNDE OPERANDO EN SU CURVA MAXIMA DE FUSION, Y EL RESTAURADOR ABRE Y EL SECCIONALIZADOR HACE UN SEGUNDO CONTEO.



CERRADO



CERRADO



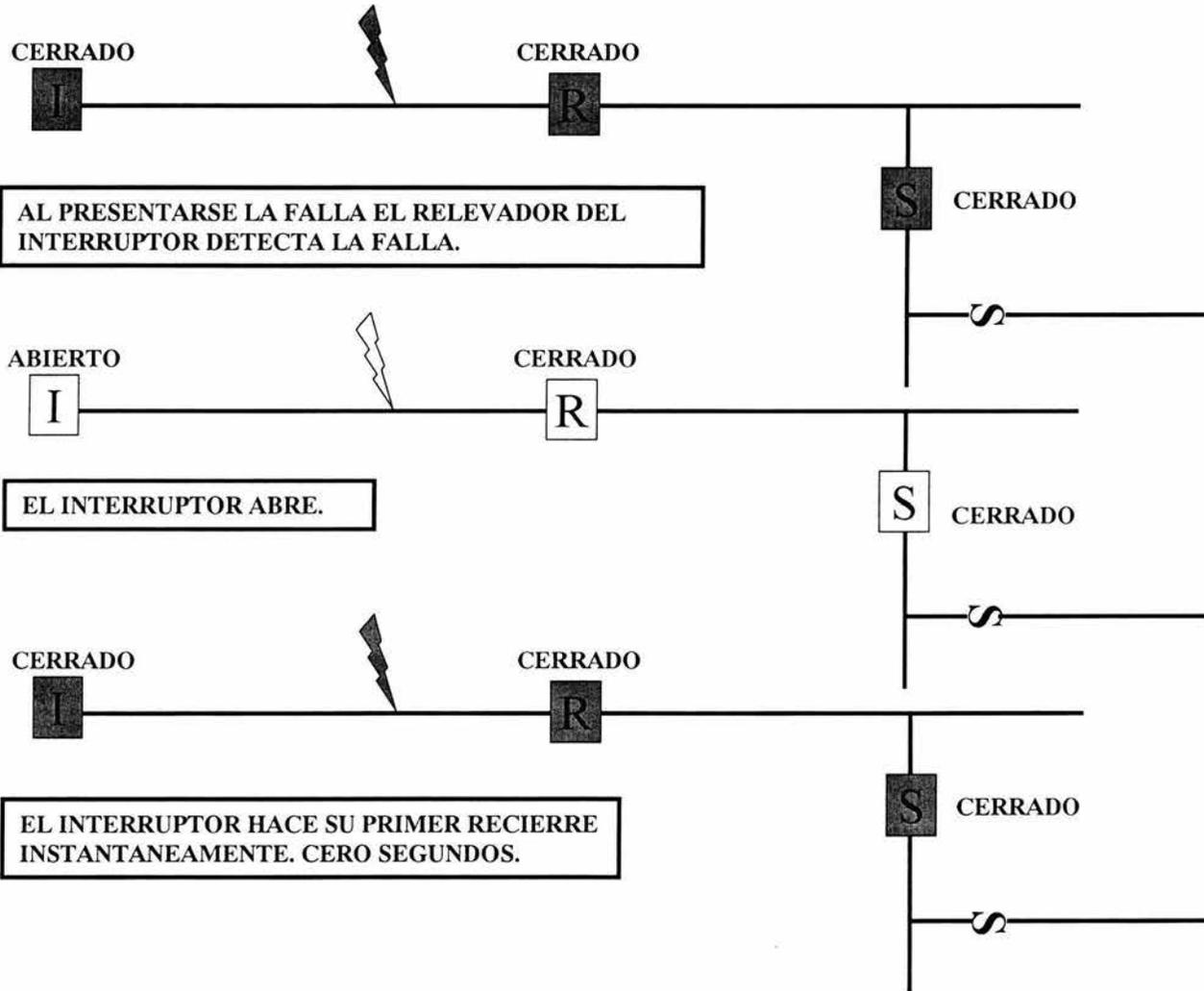
EL RESTAURADOR HACE SU SEGUNDO RECIERRE A LOS 13 SEGUNDOS, COMO LA FALLA YA ESTA AISLADA , EL RESTAURADOR QUEDA CERRADO Y EL SECCIONALIZADOR TAMBIEN , YA QUE ESTE SOLO HIZO DOS CONTEOS.

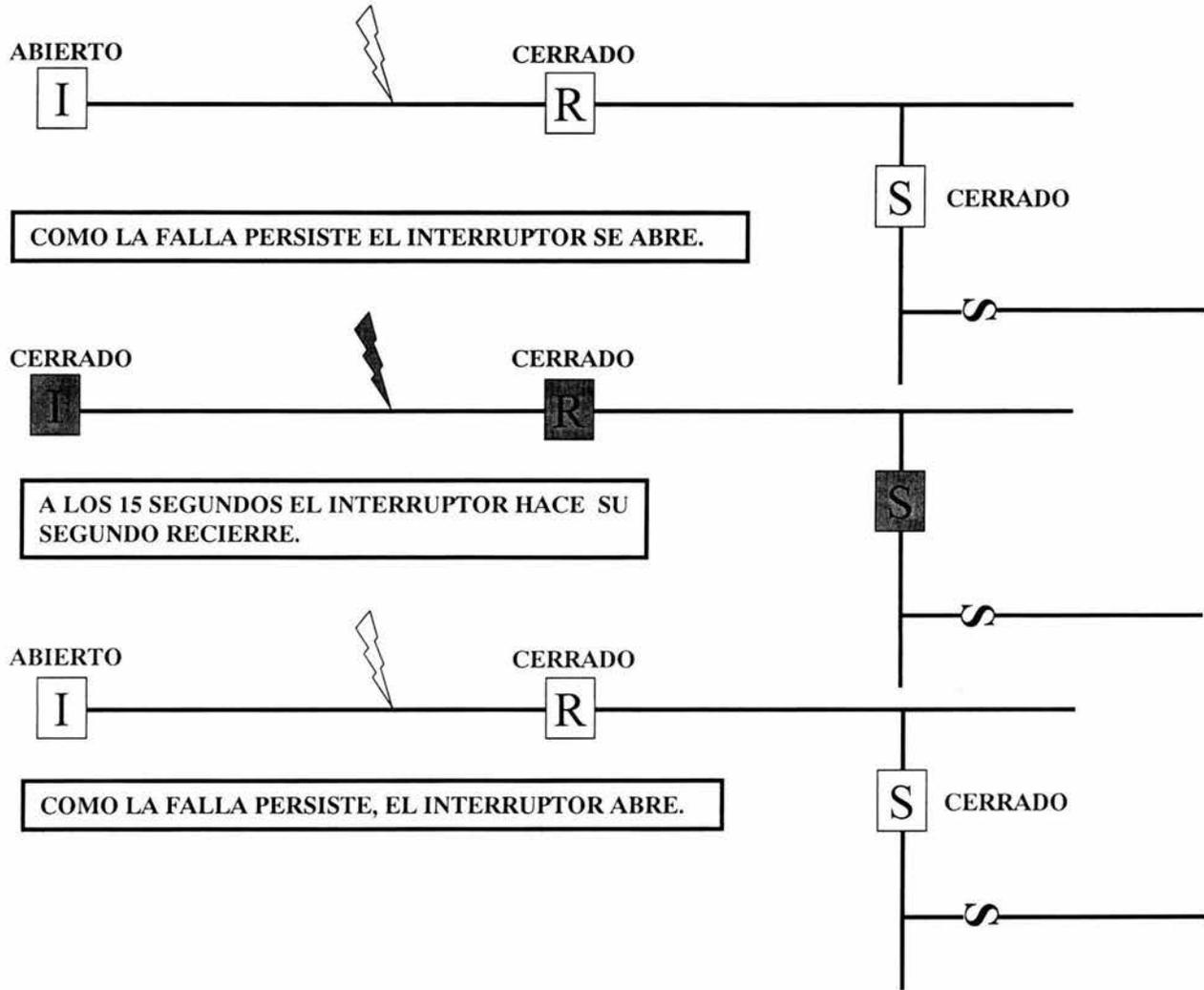


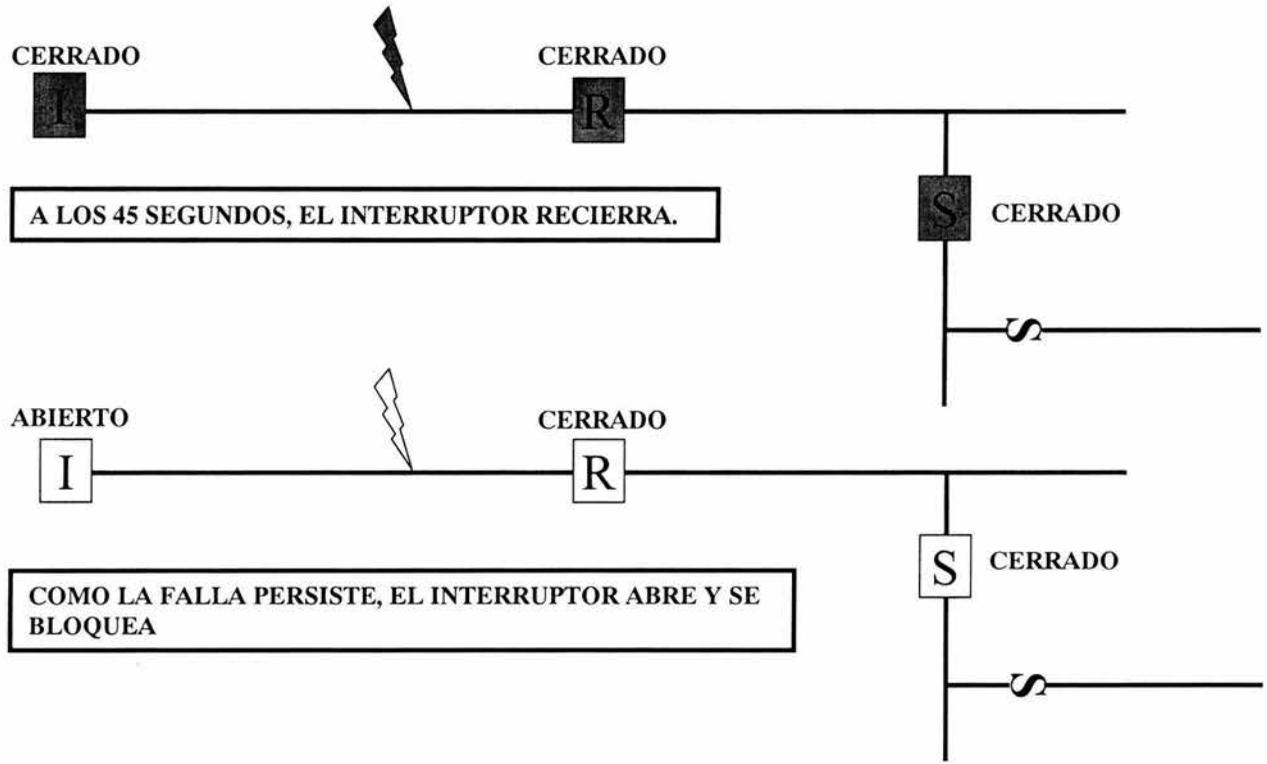
CERRADO



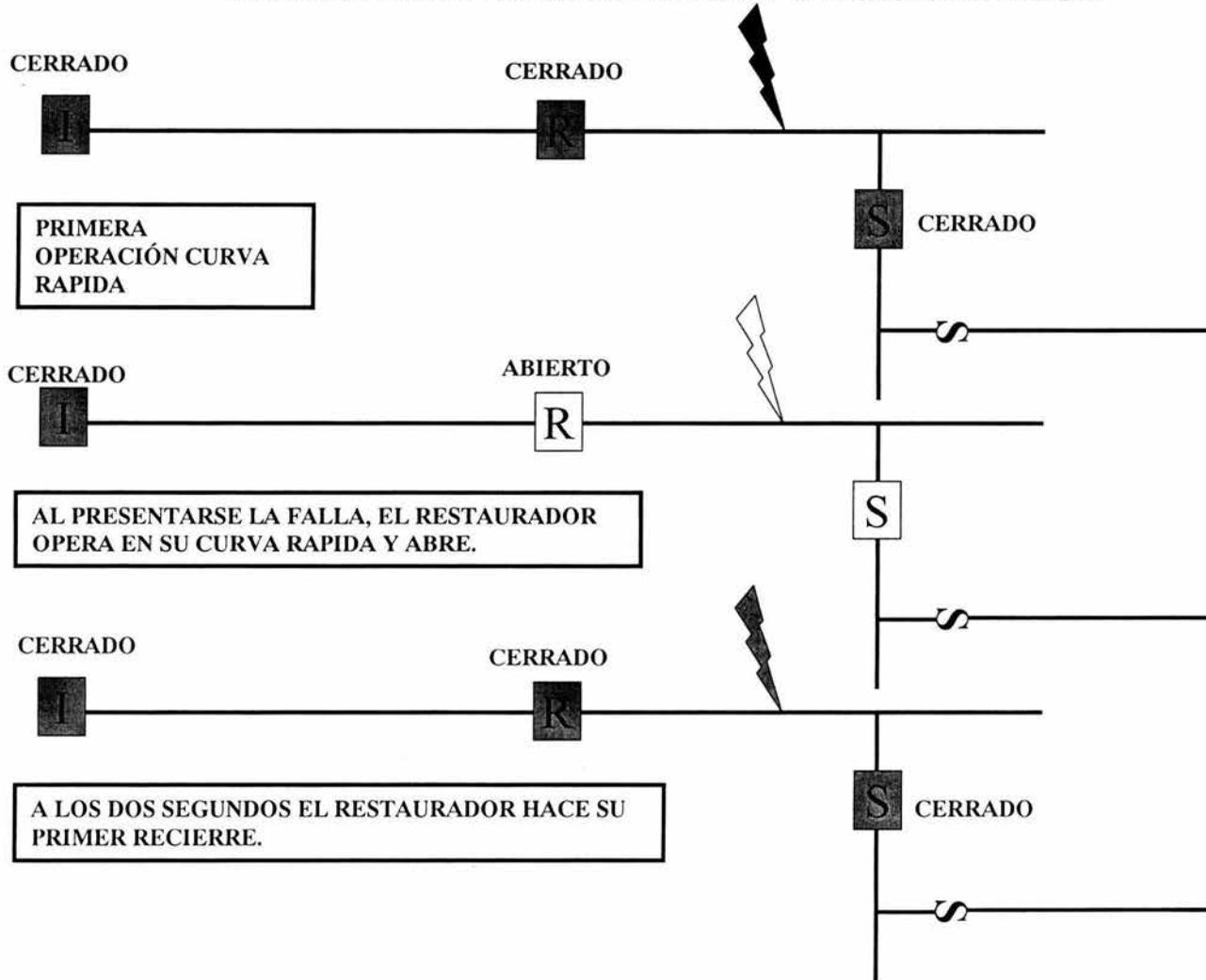
# FALLA ENTRE EL INTERRUPTOR Y EL RESTAURADOR

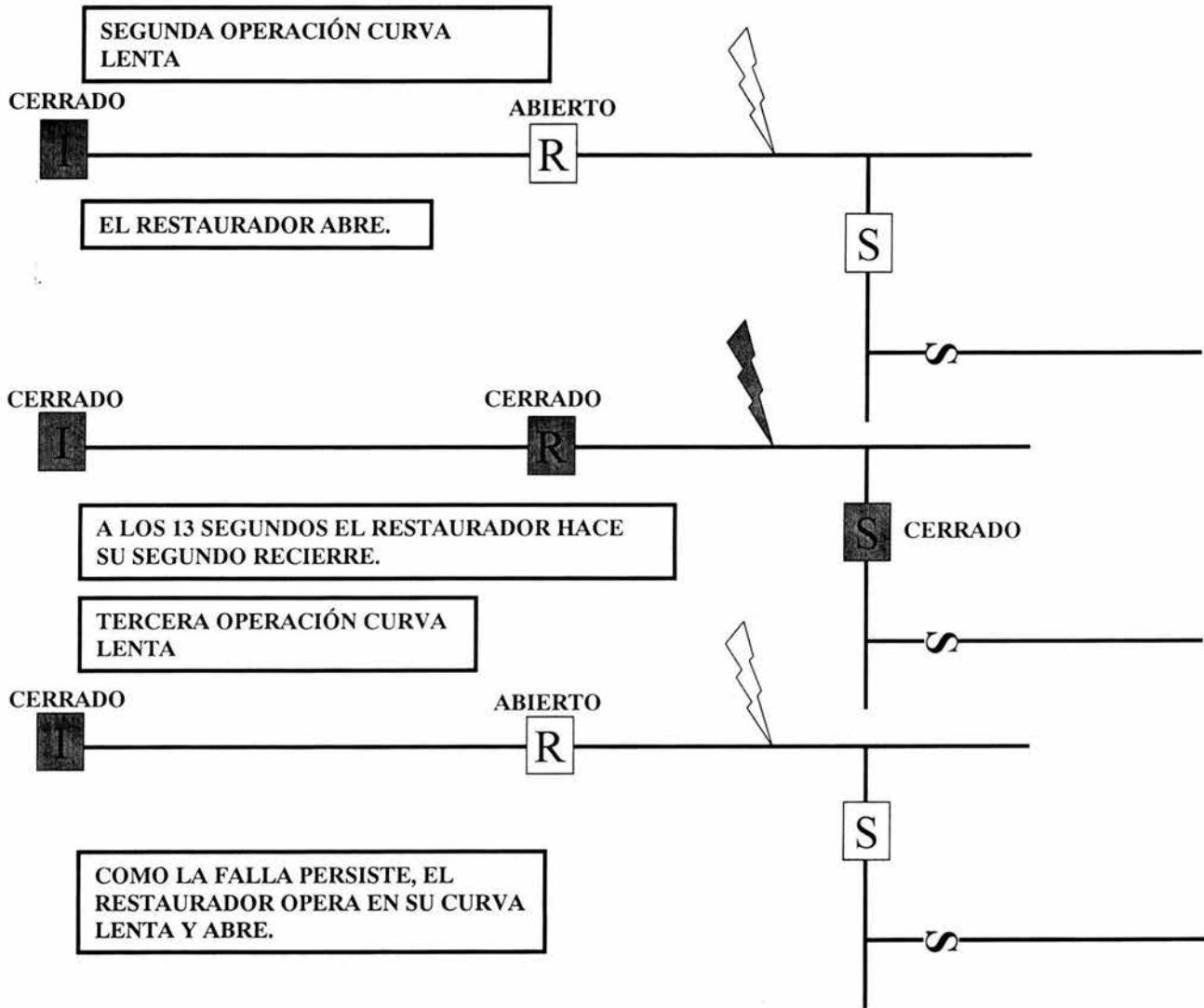


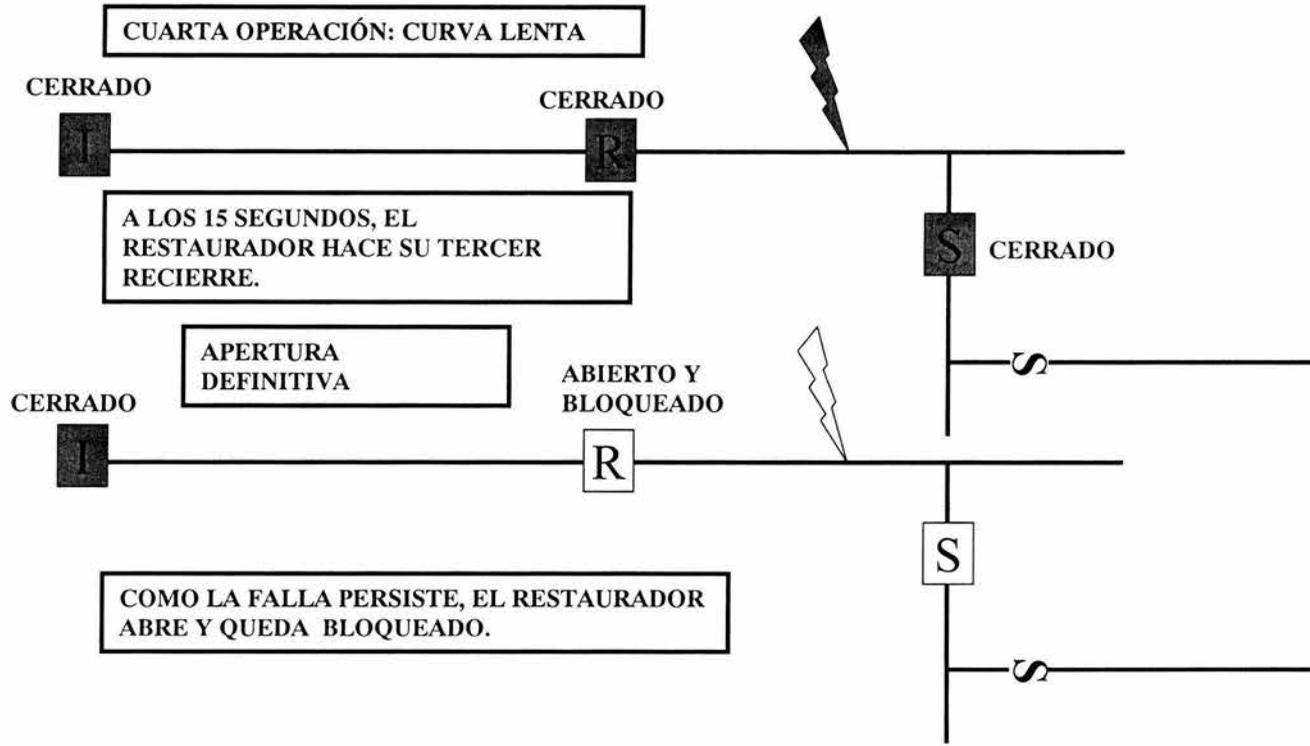




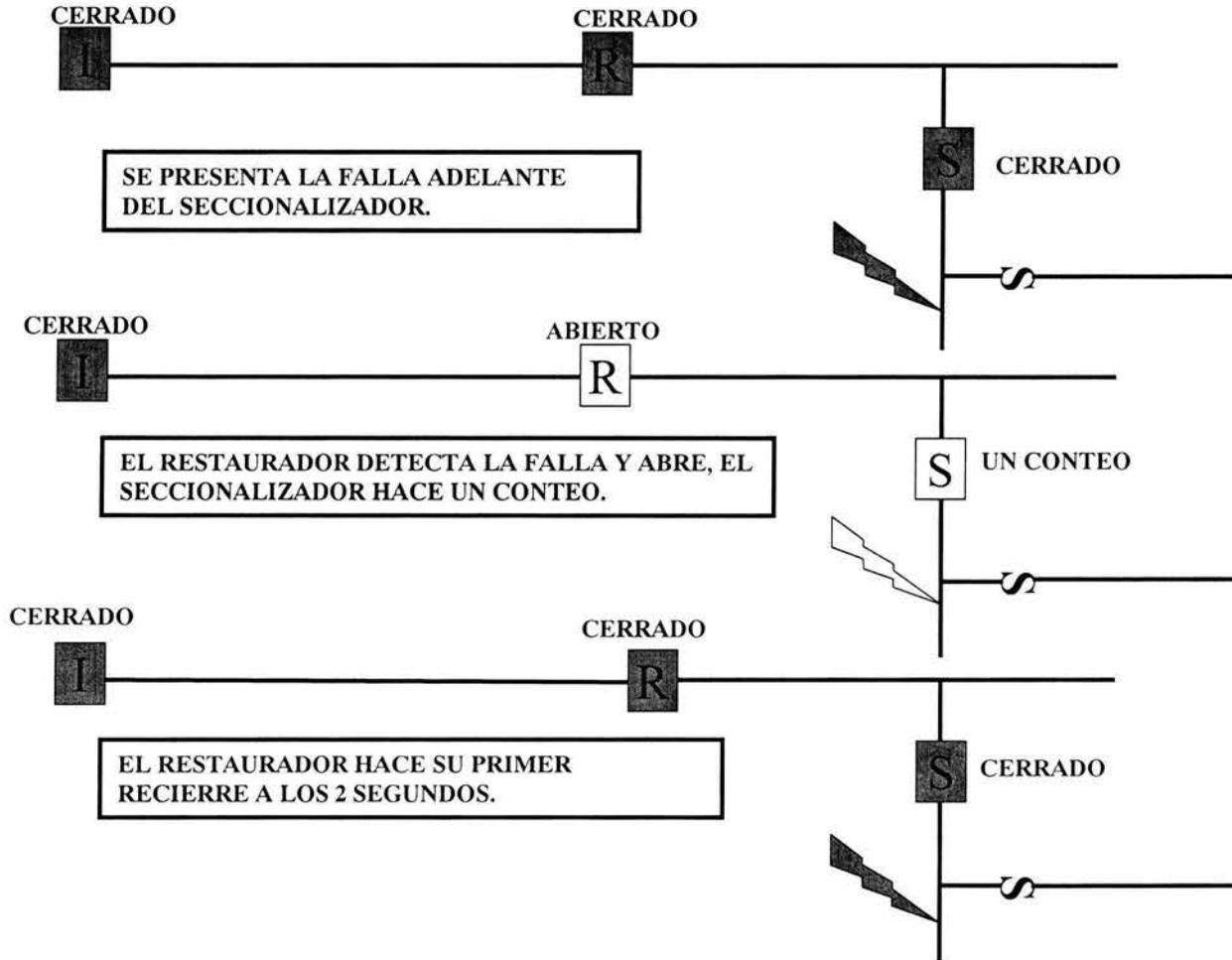
# FALLA ENTRE EL RESTAURADOR Y SECCIONALIZADOR

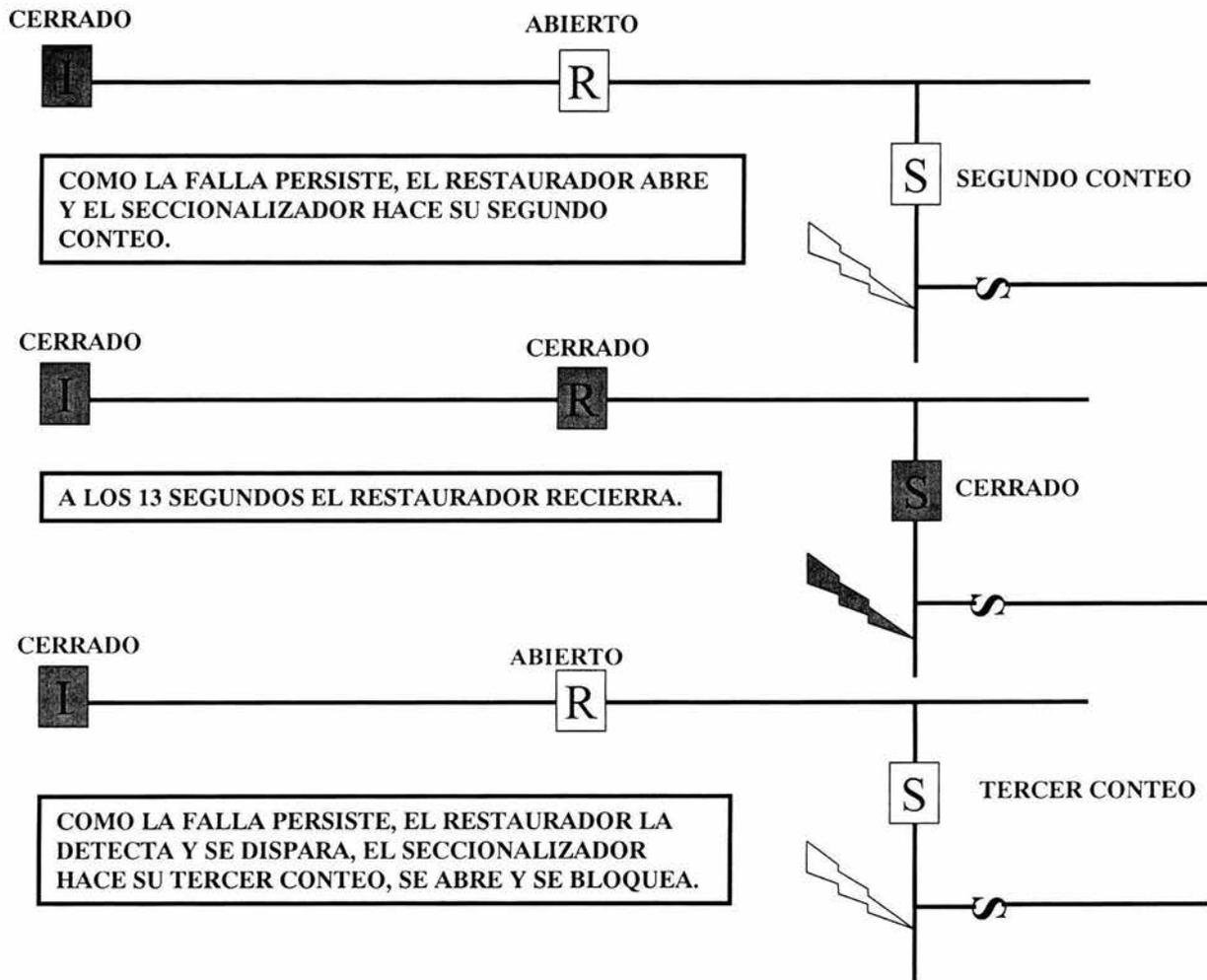






# FALLA ADELANTE DEL SECCIONALIZADOR.





CERRADO



CERRADO



A LOS 15 SEGUNDOS EL RESTAURADOR HACE SU  
TERCER RECIERRE, QUEDANDO CON POTENCIAL  
ATRÁS DEL SECCIONALIZADOR QUEDANDO AISLADA  
LA FALLA.

S

ABIERTO Y BLOQUEADO.

