

2 Eje. 74

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



**Protección Contra Sobrecorrientes de un Sistema
de Distribución de Energía Eléctrica**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :**

Antonio	Mora	Delgado	
Edmundo	Gil	Borja	
Francisco	Javier	Olea	Cardoso
Gustavo	German	Flores	Sánchez
Juan	Manuel	Díaz	García
Rogelio	Jorge	Quiterio	Vargas

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

I N D I C E

PAG.

CAPITULO I

INTRODUCCION A LA PROTECCION DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION RADIALES CONTRA LAS SOB <u>RE</u> CORRIENTES.....	1
--	---

CAPITULO II

CALCULO DE LAS CORRIENTES DE FALLA EN - SISTEMAS DE DISTRIBUCION RADIALES.....	13
---	----

CAPITULO III

FUSIBLES PARA ALTA TENSION.....	70
---------------------------------	----

CAPITULO IV

RESTAURADORES AUTOMATICOS.....	98
--------------------------------	----

CAPITULO V

SECCIONADORES AUTOMATICOS.....	125
--------------------------------	-----

CAPITULO VI

COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTEC - CION CONTRA SOBRECORRIENTES CONECTADOS - EN SERIE.....	140
---	-----

CAPITULO VII

APLICACION DE COORDINACION DE LA PROTEC <u>U</u> CION CONTRA SOBRECORRIENTES A UN ALIMEN <u>U</u> TADOR RADIAL DE DISTRIBUCION DE 23 KV..	178
---	-----

CAPITULO VIII

TENDENCIAS FUTURAS: AUTOMATIZACION DE LA PROTECCION Y CONTROL DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION.....	214
BIBLIOGRAFIA.....	225

CAPITULO I

INTRODUCCION A LA PROTECCION DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION RADIALES CONTRA LAS SOBRECORRIENTES.

Un sistema eléctrico existe para proveer a la sociedad de energía eléctrica, la cual mediante un grupo de aparatos ó máquinas puede convertir esta energía en movimiento, luz, calor, etc., indispensables para la vida moderna.

El conjunto de aparatos y sistemas puestos al servicio del sistema eléctrico, que vigilan que se cumpla adecuadamente el propósito para lo cual fué creado es lo que se conoce como protección.

La protección de un sistema de distribución contra corriente de falla es una tarea compleja. Requiere un gran conocimiento del sistema, incluyendo las posibles causas de falla que ocurran en el sistema y la capacidad de predecir la magnitud de esas fallas.

Las principales causas que originan fallas en los sistemas eléctricos son:

- a) Sobrevoltajes causados por un rayo.
- b) Sobrevoltajes causados por la conexión y la desconexión.
- c) Ferrorresonancia.
- d) Degradación y perforación del aislamiento causados por el envejecimiento y contaminación.

- e) Rotura de conductores, aislamientos y estructuras de soporte.
- f) Cortocircuitos en aisladores por roedores, pájaros, etc.
- g) Fallas de equipo ó errores de conexión.

Para proteger los sistemas de distribución de los inconvenientes de éstas fallas se requieren los sistemas de protección, de tal manera que el nivel de confiabilidad de servicio para todos los consumidores sea aceptable.

Este trabajo pretende revisar las consideraciones básicas de la protección contra sobrecorrientes de un sistema de distribución radial con interruptores con recierre automático, restauradores, seccionadores y fusibles para realizar estas funciones.

La aplicación y coordinación de dispositivos de protección contra sobrecorrientes, requiere que sean conocidas las corrientes de falla en varios puntos a través del sistema. La práctica usual consiste en calcular los valores de corrientes de falla usando la técnica de las componentes simétricas, que es básica en el desarrollo de las ecuaciones para calcular corrientes para cada tipo de falla que pueda ocurrir en el sistema. Para usar éstas ecuaciones deben conocerse las impedancias de secuencia de los elementos del sistema (líneas aéreas, cables subterráneos, transformadores) en los sistemas de distribución radial.

CLASES DE FALLAS.

Las fallas en los sistemas de distribución se clasifican en:

- a) temporales
- b) permanentes.

La falla temporal es aquella que puede ser librada antes de que ocurran daños, ya sea librada por ella misma o por un dispositivo que libere la falla y que además opere lo suficientemente rápido para evitar el daño; ejemplos de este tipo de fallas son: arcos en aisladores de porcelana iniciados por descargas eléctricas, contacto momentáneo entre conductores debido a oscilaciones, contacto momentáneo de ramas de árboles con los conductores.

Los datos estadísticos indican que el 80% de las fallas que ocurren en un sistema de distribución son de naturaleza temporal; una falla que inicialmente es temporal se puede convertir en permanente si no es librada rápidamente.

Una falla permanente es aquella que persistirá independientemente de la velocidad con que el circuito es desenergizado; la caída de una línea, el rompimiento de la misma son ejemplos de este tipo de fallas.

Si los circuitos de distribución fueran instalados sin equipos de protección contra sobrecorrientes, las fallas podrían causar una puesta fuera de servicio para todos los consumidores ser

vidos por el mismo alimentador, de ahí la importancia de diseñar, construir y operar un sistema donde el número de fallas sea minimizado por medio de equipos de protección.

FUNCIONES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION.

Los sistemas de protección contra sobrecorrientes se instalan para realizar numerosas funciones en un sistema de distribución radial; éstas funciones son analizadas é ilustradas usando el sistema simplificado de la figura 1.1. Este sistema consiste en un alimentador troncal protegido por un interruptor con recierre automático ó un restaurador de la subestación, un restaurador de características similares a la mitad de la línea troncal y los ramales conectados a la troncal a través de seccionadores o fusibles. Las cuchillas desconectoras son operados manualmente o a control remoto sin carga, para seccionar y para hacer amarres de emergencia con otras troncales.

La primera función de los sistemas de protección contra sobrecorrientes, es aislar la falla del resto del sistema. En el sistema de la figura 1.1 una falla permanente en un ramal puede ser aislada por la operación del fusible o del seccionador, según sea el caso; si éstos fueran omitidos, la falla sería librada por el funcionamiento del interruptor con recierre automático o el restaurador de la subestación; ésto causaría una salida de servicio permanente para todos los consumidores en el sistema y una seria degrada

ción de la confiabilidad del sistema. Lo mismo sucedería si no fuera instalado un restaurador a la mitad de la troncal como se ve en la figura 1.1.

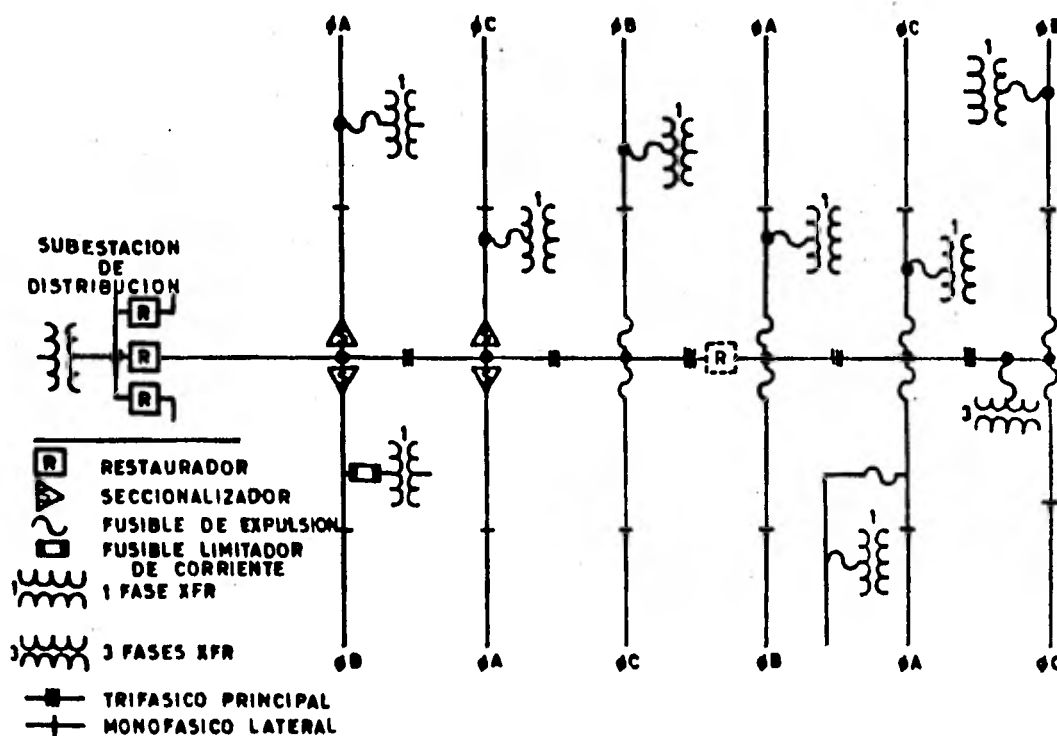


FIG 1.1 Diagrama simplificado de un alimentador de distribución monofásico que ilustra las funciones del sistema de protección de sobrecorriente

Ahora, si se instala el restaurador como se ve en dicha figura, los consumidores localizados entre la subestación y el restaurador experimentarán una mejora de la confiabilidad, debido a que una falla permanente más allá del restaurador no causará una interrupción en el servicio para ellos. Sin embargo, el dispositivo de protección, no puede prevenir interrupciones a los consumidores que se localizan más allá de él, en el caso de que ocurra una falla permanente sobre el troncal; esto puede ser hecho proveyendo de seccionadores automáticos y cuchillas desconectoras para amarres a otras troncales.

La segunda función de los sistemas de protección es desenergizar rápidamente fallas temporales, antes de que se produzca un daño serio, el cual podría provocar una falla permanente, y antes de que cualquier dispositivo sin recierre pueda operar; ésto se logra con interruptores de recierre automático ó con restauradores y causarán solamente una interrupción momentánea a los consumidores.

La tercera función de los sistemas de protección contra sobrecorrientes es minimizar el tiempo para localizar las fallas permanentes. Como se ve en la figura 1.1 con la instalación de seccionadores en los ramales y en la troncal, los consumidores, con sus quejas, ayudan a localizar la falla, definiendo en que área se encuentra. Además los elementos seccionadores usualmente dan una indicación visual de operación para ayudar al operador a localizar la falla. Las protecciones contra sobrecorrientes, deberán estar coordinadas selectivamente con el fin de reducir el tiempo requerido para localizar las fallas, para que sólo los elementos más cercanos a la falla permanente operen abriéndose.

La cuarta función de los sistemas de protección es el prevenir daños en el equipo (conductores desnudos, cables, transformadores, etc.) debidos a la corriente producida por una falla en un punto del sistema; en este caso los fusibles deberán interrumpir antes que los límites de temperatura del conductor o cable de la rama sean excedidos.

La quinta función de un sistema de protección es minimizar la probabilidad de una falla interna en los equipos, que puede causar el incendio del líquido de que están llenos los transformadores, los capacitores é incluso la explosión de éstos aparatos.

Las pruebas y la experiencia han mostrado que la probabilidad de una falla interna, debida a un arco de alta potencia, puede ser minimizada con la aplicación adecuada de fusibles limitadores de corriente.

SEGURIDAD, SENSIBILIDAD Y SELECTIVIDAD

Los sistemas de protección contra sobrecorrientes, al ejecutar las funciones anteriormente descritas, deben ofrecer seguridad, sensibilidad y selectividad.

El sistema deberá ser seguro contra operación falsa, ésto es, que no causará la desenergización de circuitos debido a desbalanceo de carga, corrientes de magnetización y otras condiciones transitorias, las cuales no dañan o crean peligro al sistema.

El sistema debe tener suficiente sensibilidad de manera que pueda realizar satisfacto -

riamente sus funciones, por ejemplo el interruptor de la subestación en la figura 1.1 deberá detectar fallas temporales y permanentes al final del alimentador troncal y prevenir la operación de los fusibles de los ramales más remotos debido a fallas temporales sobre el ramal.

Finalmente los sistemas de protección contra sobrecorrientes deben ser coordinados selectivamente para que solamente accione en caso de una falla permanente el elemento más cercano a la falla.

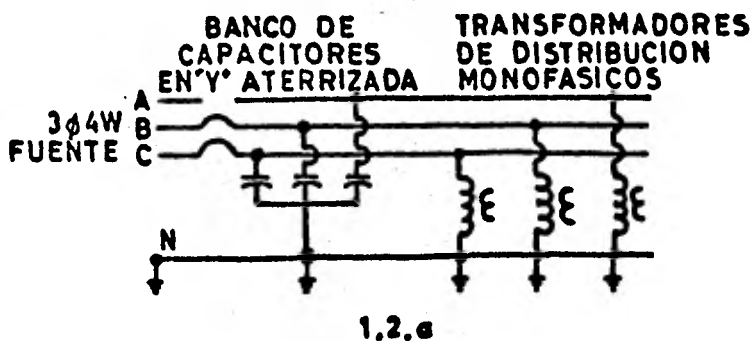
COMPARACION DE INTERRUPTORES TRIFASICOS Y MONOFASICOS.

Los sistemas de distribución típicos alimentan cargas trifásicas y monofásicas; éstas cargas son normalmente alimentadas por un transformador de distribución trifásico.

Los interruptores de corriente de falla, usados en las subestaciones y en los alimentadores trifásicos, pueden ser monopolares ó tripolares. Revisaremos brevemente los beneficios de usar interruptores monopolares o tripolares en los circuitos trifásicos.

Muchas fallas en las líneas trifásicas afectan solamente a una o dos fases y es posible desenergizar sólo las fases con falla con el fin de aislarlas. El usar interruptores monopolares en las líneas trifásicas, permite mantener el servicio a las cargas monofásicas conectadas a la fase sin falla; ésto es ilustrando en la figura 1.2

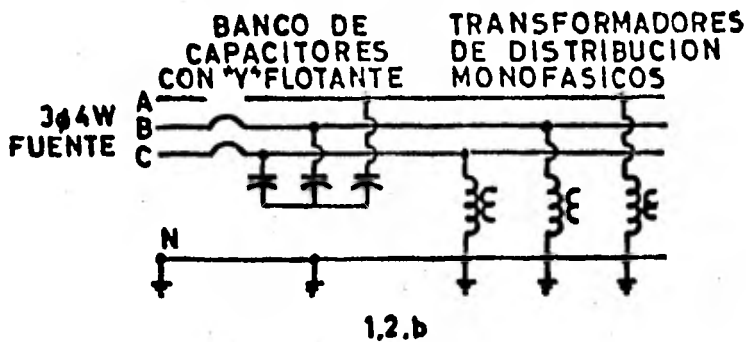
a, donde los transformadores monofásicos de distribución están conectados de fase a neutro y el banco de capacitores esta conectado en estrella aterrizada.



Con el elemento de protección de la fase A abierto, como se muestra, las cargas monofásicas conectadas a la fase A quedan desconectadas y las cargas conectadas de fase a neutro en las fases B y C recibirán el servicio normalmente. Si toda la carga conectada más allá de los dispositivos monopolares es monofásica, el uso de interruptores monopolares traerá como resultado un aumento en la confiabilidad del sistema, sin causar efectos adversos.

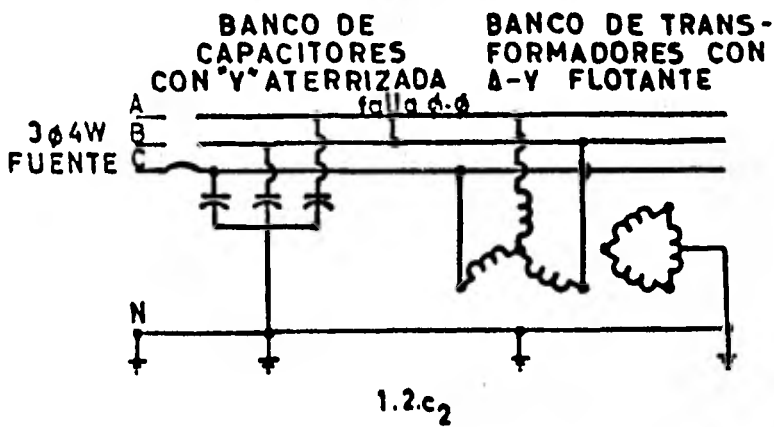
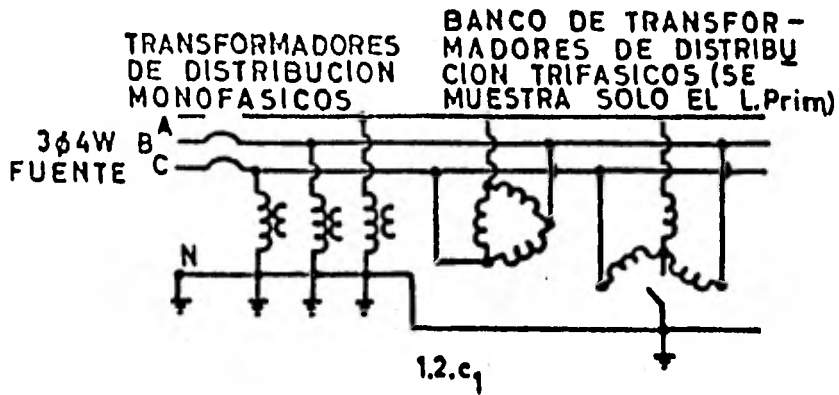
En contraste, usando interruptores tripolares en las circunstancias de la figura 1.2 a traerá como consecuencia una interrupción del servicio.

Las condiciones del sistema en la figura 1.2b. son similares a la anterior, excepto - por el punto neutro de los capacitores, conectados en estrella es flotante.



Con el elemento de protección de la fase A abierto debido a una falla temporal, las cargas conectadas a ésta fase estarán energizadas - por las fases B y C a través del banco de capacitores. Esto puede producir sobrevoltajes en las - cargas conectadas a la fase abierta y causar daño al equipo de los consumidores. Por lo tanto no es aconsejable el uso de bancos de capacitores en - delta o estrella flotante más allá de la localiza - ción de los interruptores monopolares en los circuitos trifásicos.

Cuando son usados interruptores monopolares en circuitos trifásicos, una falla de fase - a fase abre los elementos de protección de las fa - ses A y B; ésto establece un circuito donde la fe - rrorresonancia es muy probable con el banco de - capacitores estrella aterrizada y el banco de - transformadores en estrella flotante-delta; esto se muestra en la figura 1.2c₁ y 1.2c₂.



Este tipo de situaciones y la relación de las cargas monofásicas y trifásicas deben de ser consideradas cuando se tome la decisión de si los problemas potenciales asociados con el uso de interruptores monopolares están compensados con la mejoría de la confiabilidad.

OTRAS CONSIDERACIONES

En general es necesaria la siguiente información sobre el sistema para aplicar restauradores, seccionadores y fusibles.

- 1.- Máxima conrriente de carga en cada punto seccionalizante en los alimentadores.
- 2.- Localización de las cargas mayores o cargas que requieran especial consideración.
- 3.- Localización de las conexiones de emergencia a otros circuitos.

CAPITULO II

CALCULO DE LAS CORRIENTES DE FALLA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION RADIALES.

Para aplicar dispositivos de protección contra sobrecorriente en sistemas de distribución, es necesario conocer las corrientes de falla en todas las partes del sistema. En cada localización del dispositivo contra sobrecorrientes se requiere conocer los valores máximos de corriente de falla, para determinar si la capacidad interruptiva y momentánea del equipo interruptor es adecuada y si los dispositivos protectores en serie se coordinarán apropiadamente. Los valores mínimos de corriente de falla en un sistema radial son necesarios para determinar la zona de protección de un dispositivo de protección de sobrecorriente. Si la zona de protección no alcanza hasta el final del circuito o circuitos deberá establecerse una nueva zona de protección.

TIPOS DE FALLAS EN LINEAS TRIFASICAS

Es conocido que las componentes simétricas constituyen un instrumento poderoso para determinar analíticamente el comportamiento de sistemas eléctricos no balanceados.

En resumen el teorema de las componentes simétricas nos dice que "un sistema trifásico desequilibrado de fasores de tensión o de corriente puede ser substituído por la suma de dos

sistemas trifásicos equilibrados y un sistema en el cual los 3 fasores son iguales".

El sistema trifásico desequilibrado se puede expresar en sus componentes simétricas en función de las componentes de una sola fase.

$$\left. \begin{aligned} E_a &= E_{a1} + E_{a2} + E_{a0} & E_a &= E_{a1} + E_{a2} + E_{a0} \\ E_b &= E_{b1} + E_{b2} + E_{b0} & E_b &= a^2 E_{a1} + a E_{a2} + E_{a0} \\ E_c &= E_{c1} + E_{c2} + E_{c0} & E_c &= a E_{a1} + a^2 E_{a2} + E_{a0} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Las ecuaciones (2.1) se pueden expresar en forma matricial y para determinar las componentes simétricas E_{a1} , E_{a2} y E_{a0} bastará con invertir la matriz de coeficientes. De manera que las componentes simétricas de la fase "a" se pueden expresar en función de los fasores del sistema original desequilibrado.

$$\left. \begin{aligned} E_{a1} &= \frac{1}{3} (E_a + a E_b + a^2 E_c) \\ E_{a2} &= \frac{1}{3} (E_a + a^2 E_b + a E_c) \\ E_{a0} &= \frac{1}{3} (E_a + E_b + E_c) \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

$$\text{donde } a = e^{j 120^\circ} = 1 \angle 120^\circ = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.3)$$

Conociendo E_{a1} , E_{a2} , y E_{a0} simultáneamente conocemos todas las componentes simétricas

por las siguientes relaciones:

$$\left. \begin{array}{lll} E_{b1} = a^2 E_{a1} & E_{b2} = a E_{a2} & E_{bo} = E_{ao} \\ E_{c1} = a E_{a1} & E_{c2} = a^2 E_{a2} & E_{co} = E_{ao} \end{array} \right\} (2.4)$$

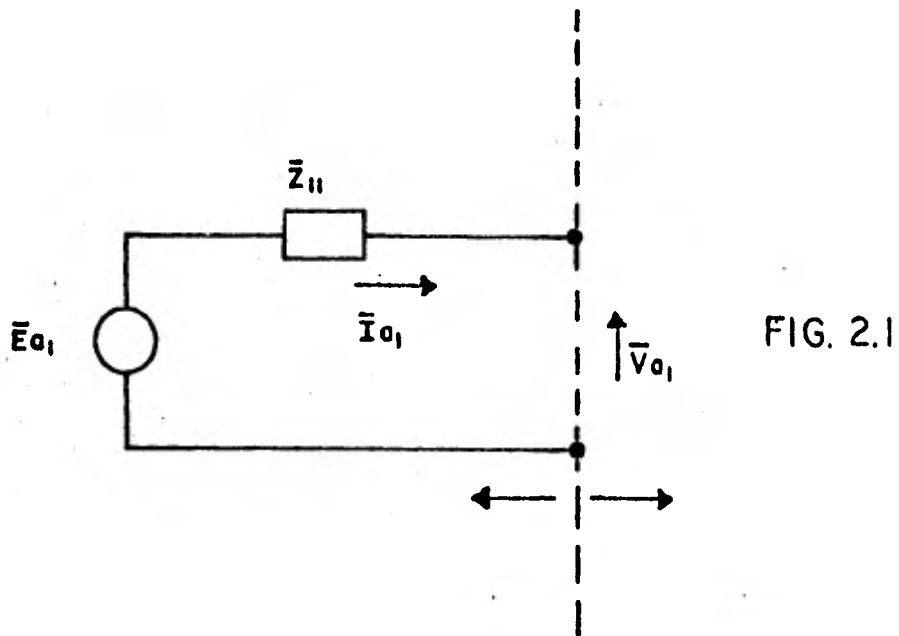
CALCULO DE CORRIENTES DE FALLA

De acuerdo con la teoría de las componentes simétricas, un sistema trifásico desequilibrado se puede analizar haciendo uso de las cantidades de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero.

Debido a que los tres sistemas derivados son simétricos, es posible nuevamente reducir cada sistema a un circuito equivalente monofásico, los cuales se resolverán independientemente, combinando los resultados, de acuerdo con las propiedades de las componentes simétricas y del tipo de falla.

Cada uno de éstos circuitos equivalentes representará el circuito equivalente de Thevenin del sistema correspondiente a cada una de las secuencias, visto desde el punto de falla. De acuerdo con la definición del teorema de Thevenin y con las características de las componentes simétricas y de las tensiones balanceadas que existen antes de la falla en el punto que se produce ésta, los circuitos equivalentes se reducen a lo siguiente:

CIRCUITO EQUIVALENTE DE SECUENCIA POSITIVA.



Zona que representa al sistema de secuencia positiva.

Zona donde se presentan las condiciones de falla - mediante la interconexión del circuito equivalente de secuencia positiva a los circuitos equivalentes de las otras secuencias.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE SECUENCIA NEGATIVA.

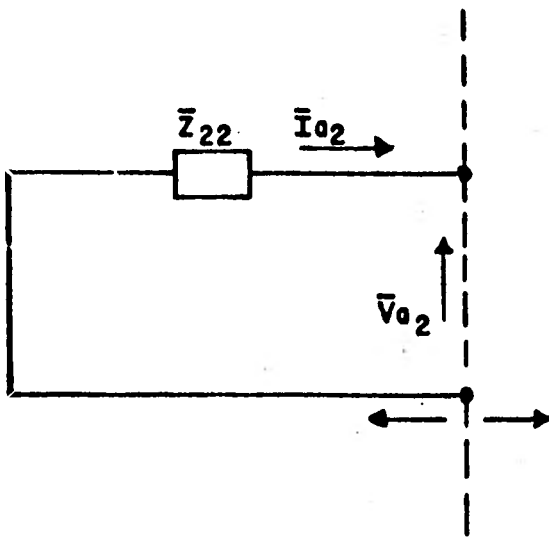


FIG. 2.2

Zona que representa al sistema de secuencia negativa.

Zona donde se presentan las condiciones de falla mediante la interconexión del circuito equivalente de secuencia negativa a los circuitos equivalentes de las otras secuencias.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE SECUENCIA CERO.

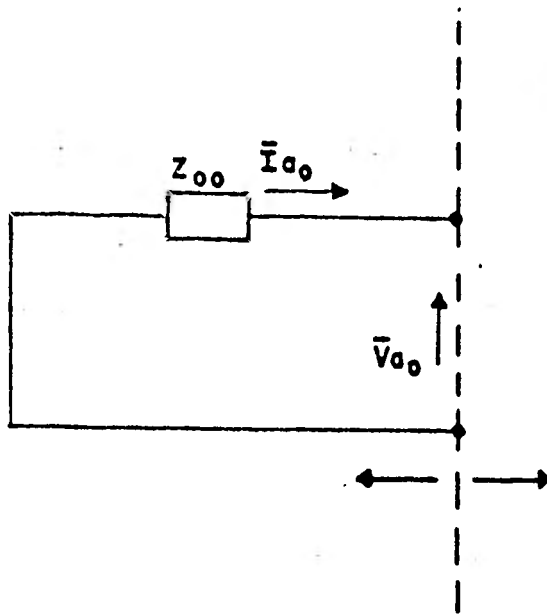


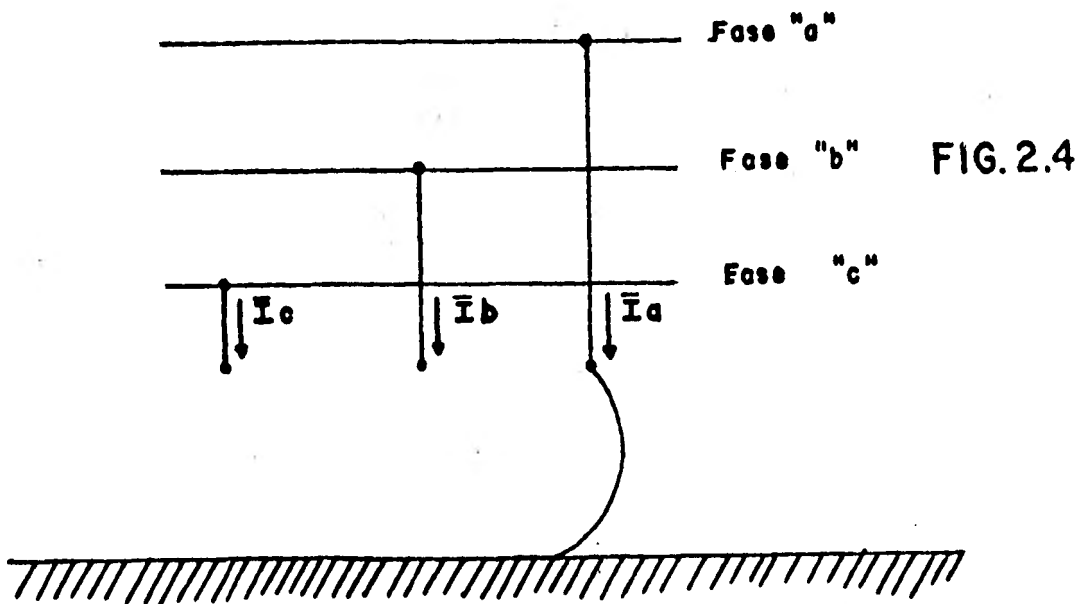
FIG. 2.3

Zona que representa el sistema de secuencia - cero.

Zona donde se presenta las condiciones de falla mediante la interconexión del circuito equivalente de secuencia cero a los circuitos equivalentes de las otras secuencias.

En los diagramas anteriores \bar{Z}_{11} , \bar{Z}_{22} , \bar{Z}_{00} son las impedancia de Thevenin de cada circuito.

FALLA MONOFASICA A TIERRA.



De la esquematización de la falla puede verse - que $\bar{I}_b = \bar{I}_c = 0$ por lo tanto de las ecuaciones 2.2 para corrientes puede verse que:

$$\bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2} = \bar{I}_{a0} = \frac{\bar{I}_a}{3}$$

Haciendo la interconexión de los circuitos de tal manera que se cumplan las ecuaciones anteriores inherentes a este tipo de falla, el circuito reducido queda de la siguiente manera:

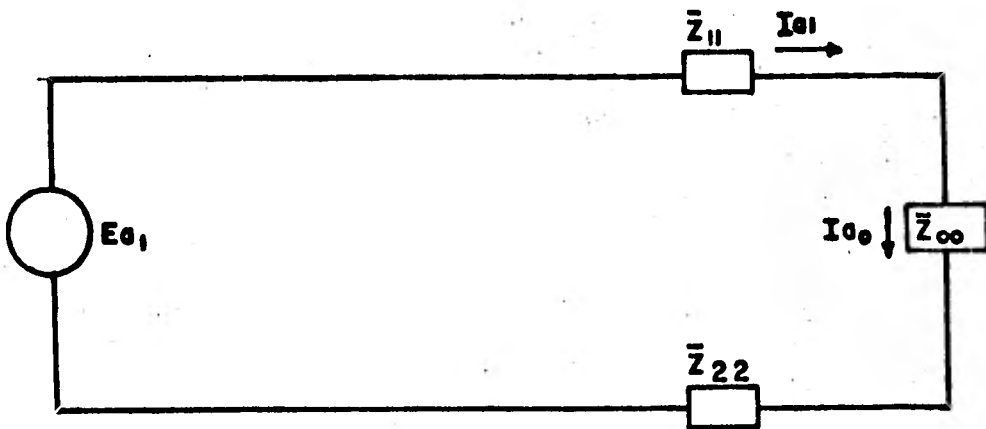


FIG. 2.5

Por lo tanto el valor de las componentes simétricas de la corriente de la fase bajo falla será:

$$\bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2} = \bar{I}_{a0} = \frac{\bar{E}_{a1}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{\infty}}$$

La corriente de falla será:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = \frac{3 \bar{E}_{a1}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{00}} \quad (2.5)$$

FALLA ENTRE DOS FASES.

Representación de la falla.

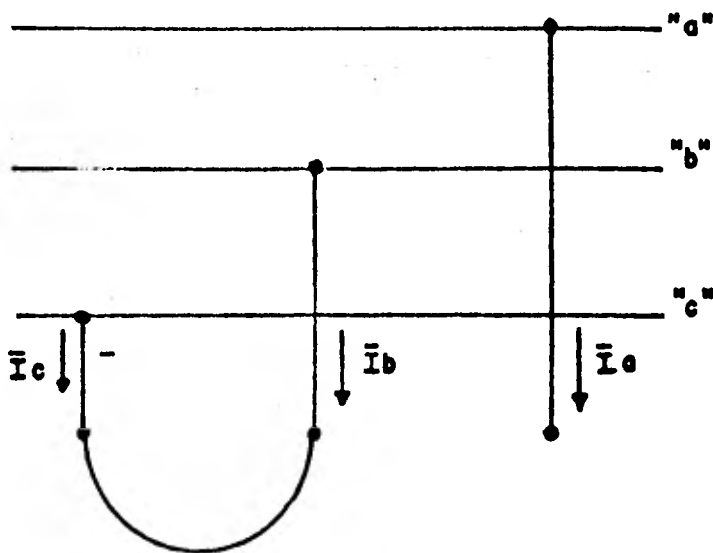


FIG.2.6

Expresiones que caracterizan la falla:

$$\bar{I}_b = \bar{I}_c$$

$$\bar{I}_a = 0$$

Ecuaciones en componentes simétricas que caracterizan el tipo de falla:

$$\bar{I}_{a1} = \bar{I}_{a2}$$

$$\bar{I}_{a0} = 0$$

Interconexión entre los circuitos equivalentes que satisfacen las ecuaciones que caracterizan la falla.

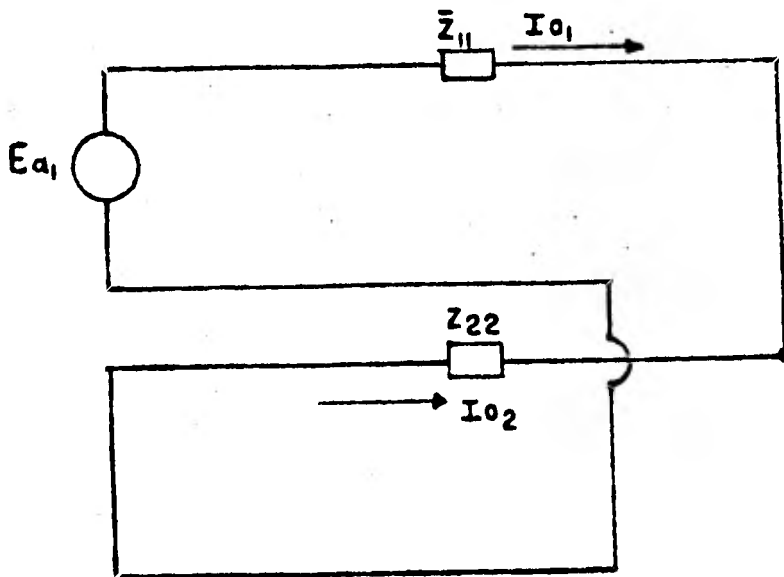


FIG. 2.7

Solución de las incógnitas para este tipo de falla.

$$\bar{I}_{a1} = \frac{\bar{E}_{a1}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22}}$$

$$\bar{I}_{a2} = \frac{-\bar{E}_{a1}}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22}}$$

$$\bar{I}_{a0} = 0$$

Por tanto las corrientes de falla en las fases "b" y "c" son:

$$\bar{I}_b = a^2 \bar{I}_{a1} + a \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = \frac{a^2 - a}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22}} \bar{E}_{a1} \quad (2.6)$$

$$\bar{I}_c = a \bar{I}_{a1} + a^2 \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = \frac{a - a^2}{\bar{Z}_{11} + \bar{Z}_{22}} \bar{E}_{a1} \quad (2.7)$$

FALLA ENTRE DOS FASES A TIERRA.

Representación de la falla:

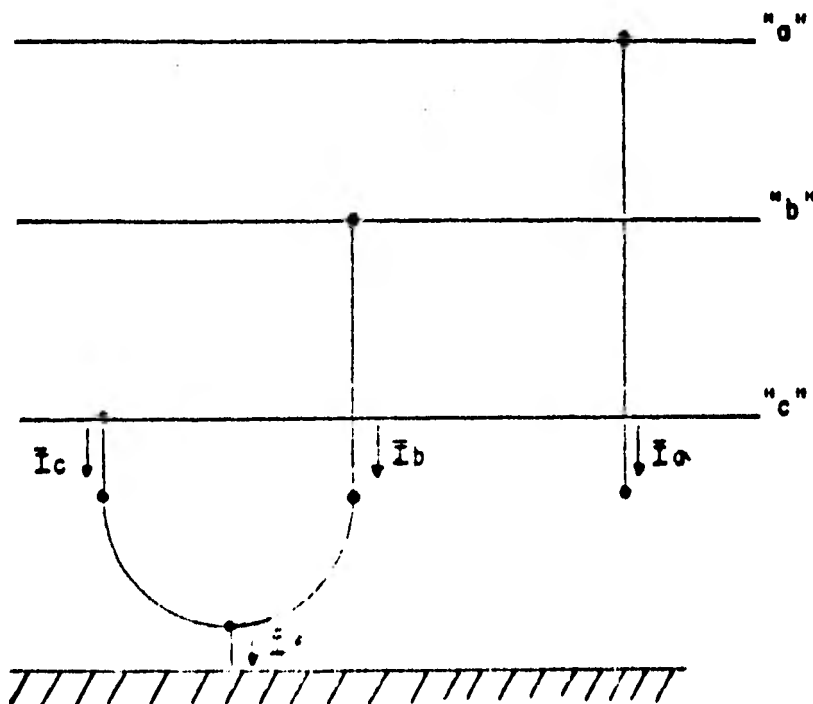


FIG. 2.8

Expresiones que caracterizan la falla.

$$\bar{I}_a = 0$$

$$\bar{V}_b = 0$$

$$\bar{V}_c = 0$$

Ecuaciones en componentes simétricas que caracterizan la falla.

$$\bar{I}_{a1} + \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = 0$$

$$\bar{V}_{a1} = \bar{V}_{a2} = \bar{V}_{a0} = \frac{\bar{V}_a}{3}$$

Interconexión entre los circuitos equivalentes que satisfacen las ecuaciones que caracterizan la falla.

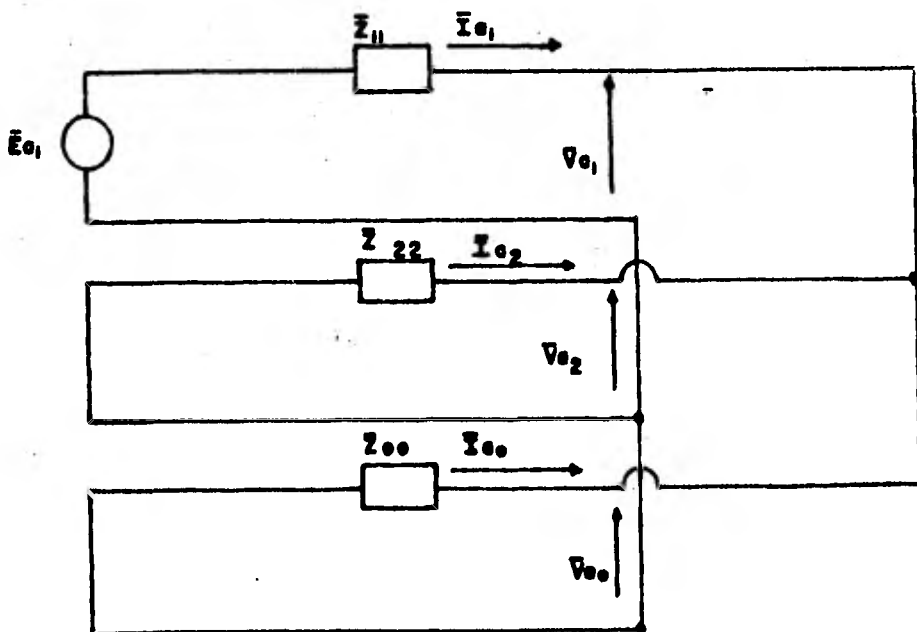


FIG. 2.9

Las componentes simétricas para la fase "a" son:

$$I_{a1} = \bar{E}_{a1} \frac{\bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{00}}{\bar{Z}_{11} \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{11} \bar{Z}_{00} + \bar{Z}_{22} \bar{Z}_{00}}$$

$$I_{a2} = -\bar{E}_{a1} \frac{\bar{Z}_{00}}{\bar{Z}_{11} \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{11} \bar{Z}_{00} + \bar{Z}_{22} \bar{Z}_{00}}$$

$$I_{a0} = -E_{a1} \frac{\bar{Z}_{22}}{\bar{Z}_{11} \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{11} \bar{Z}_{00} + \bar{Z}_{22} \bar{Z}_{00}}$$

Por lo tanto; las corrientes de falla serán:

$$(2.8) \quad \bar{I}_b = a^2 \bar{I}_{a1} + a \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = \bar{E}_{a1} \frac{(a^2 - 1) \bar{Z}_{00} + (a^2 - a) \bar{Z}_{00}}{\bar{Z}_{11} \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{11} \bar{Z}_{00} + \bar{Z}_{22} \bar{Z}_{00}}$$

$$\bar{I}_c = a \bar{I}_{a1} + a^2 \bar{I}_{a2} + \bar{I}_{a0} = \bar{E}_{a1} \frac{(a - 1) \bar{Z}_{22} + (a - a^2) \bar{Z}_{00}}{\bar{Z}_{11} \bar{Z}_{22} + \bar{Z}_{11} \bar{Z}_{00} + \bar{Z}_{22} \bar{Z}_{00}}$$

FALLA TRIFASICA.

Sabemos que el análisis de un circuito trifásico balanceado se puede reducir analizando una sola fase ya que los valores de las otras fases "son de la misma magnitud y están disparados 120° y 240° eléctricos".

Representación de la Falla.

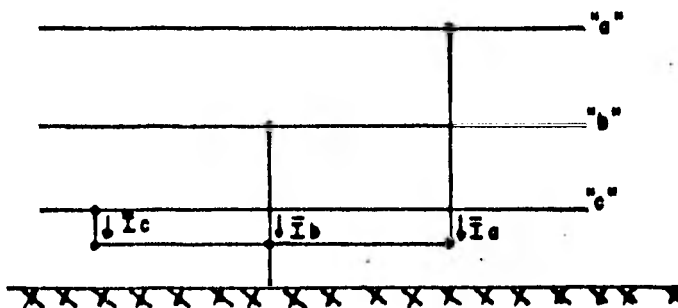


FIG. 2.10

Expresiones que caracterizan la falla.

$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = 0$$

$$\bar{V}_a = \bar{V}_b = \bar{V}_c = 0$$

Circuito equivalente que satisface -
las condiciones que caracterizan la falla:

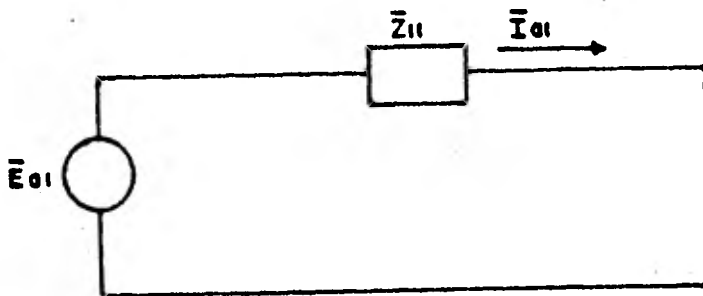


FIG. 2.10.a

Las corrientes de falla son:

$$\bar{I}_a = \bar{I}_{a1} \quad (2.10)$$

$$\bar{I}_b = \bar{I}_{b1} = a^2 \bar{I}_{a1} \quad (2.11)$$

$$\bar{I}_c = \bar{I}_{c1} = a \bar{I}_{a1} \quad (2.12)$$

Generalmente el valor mínimo de corriente de falla está determinado para fallas de una línea a tierra, ya que éste tipo de falla es el que normalmente da la corriente más pequeña y el valor máximo generalmente ocurre para una falla trifásica.

CALCULO DE LAS IMPEDANCIAS DE SECUENCIA

En cada circuito de secuencia, las impedancias de secuencia de los elementos conectados en serie entre la fuente y el punto de falla se combinan para obtener las impedancias de secuencias del sistema hasta el punto de falla. Estos valores de impedancia se usan en las ecuaciones (2.5 a 2.12) para calcular las corrientes para los diferentes tipos de falla.

La figura 2.11 es un diagrama unifilar simplificado que muestra los elementos que forman un sistema de distribución radial. La impedancia de secuencia del sistema en cada diagrama de secuencia en el punto de falla en un sistema radial, es la suma de las impedancias de secuencia de los circuitos alimentadores de distribución, transformadores de subestación y lado primario del sistema alimentador del transformador de la subestación. Si la subestación tiene más de un transformador y los transformadores están en paralelo, los transformadores son representados por una impedancia equivalente.

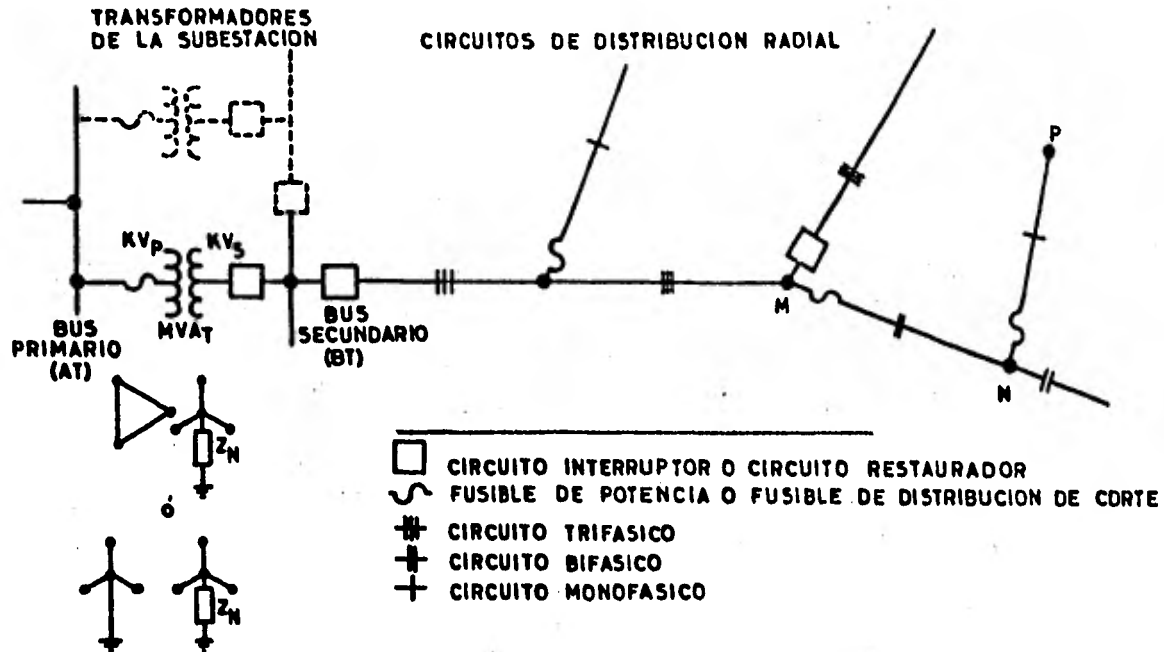


FIG 2.11 Diagrama unifilar simplificado que muestra los elementos de un sistema de distribución radial que intervienen en el cálculo de impedancias

Para demostrar la combinación de las impedancias de secuencia consideramos una falla al final de una ramal, en el punto P de la figura 2.12. La impedancia de secuencia positiva del sistema Z_1 en el punto de falla es la suma de las impedancias de secuencia positiva de la línea, de los transformadores de la subestación y del sistema alimentador primario.- La impedancia de secuencia negativa se considera igual a la de secuencia positiva. La impedancia de secuencia cero Z_0 del sistema se obtendrá de igual manera; la figura 2.12 muestra dos circuitos de secuencia cero, uno se aplica cuando el transformador de la subestación tiene conexiones delta-estrella aterrizada y la otra cuando tiene las conexiones estrella aterrizada-estrella aterrizada.

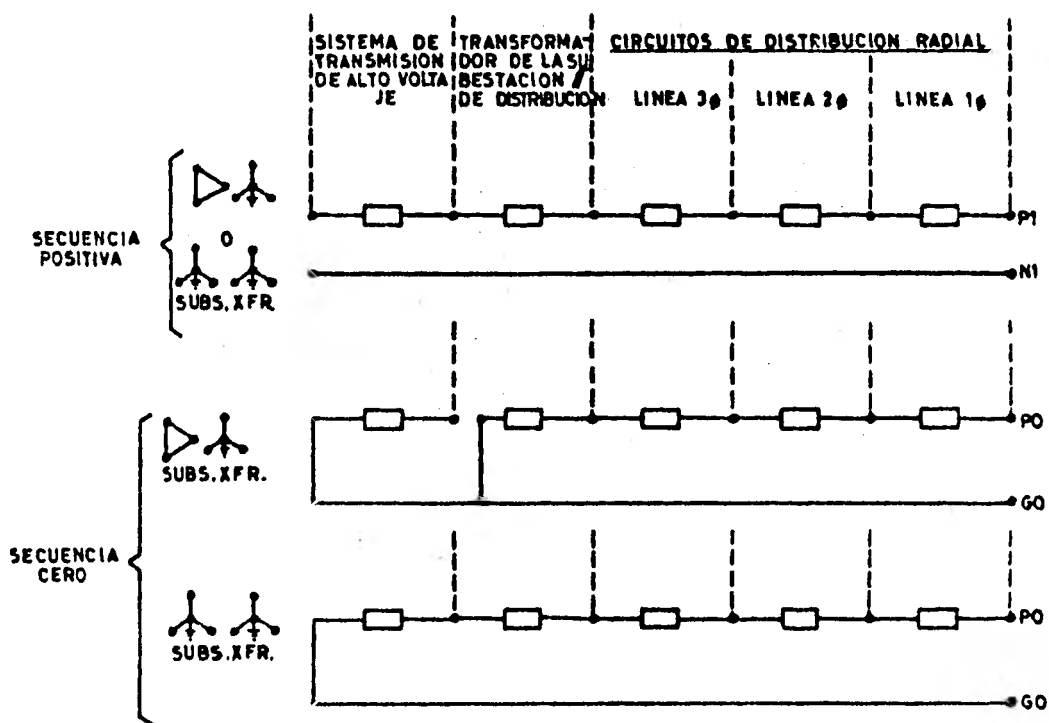


FIG.2.12 Diagrama de impedancias de secuencia positiva y cero para una falla en el punto P de la fig.2.11 La impedancia de secuencia de cada elemento se encuentra con las ecuaciones indicadas.

En el sistema de distribución radial, las corrientes de fase en el lado de la fuente con respecto del punto de falla pueden considerarse iguales a las corrientes de falla si se desprecian los efectos de carga, capacitores, etc. Estas son las corrientes vistas por los dispositivos de fase contra sobrecorrientes. Estrictamente hablando, la corriente de carga en cualquier punto del sistema radial debe sumarse fasorialmente al valor calculado de corriente de falla para obtener la corriente total.

Sin embargo, esto no se hace usualmente, pero en lugar de eso el efecto de la corriente de carga se toma en consideración al margen en la comparación de las curvas tiempo corriente de los dispositivos protectores.

TRANSFORMADORES DE LA SUBESTACION

Para el transformador de la figura 2.12 en conexión delta estrella o estrella-estrella, la impedancia de secuencia positiva referida al secundario puede ser calculada con la ecuación 2.13.

$$(2.13) \quad Z_{IT} = \frac{KV_S^2}{MVA_T} \left[\frac{KW_{TOT} - KW_{NL}}{1000MVA_T} + j \sqrt{\left(\frac{Z_{T\%}}{100}\right)^2 - \left(\frac{KW_{TOT} - KW_{NL}}{1000 MVA_T}\right)^2} \right] \quad (\text{OHMS})$$

donde:

KV_S = Kv entre fases en el lado secundario de un transformador trifásico.

KW_{NL} = Pérdidas en vacío del transformador trifásico en KW.

MVA_T = Capacidad de autoenfriamiento (OA) del transformador trifásico en MVA.

KW_{TOT} = Pérdidas totales del transformador trifásico en KW, cuando entrega su capacidad nominal (OA).

$Z_{T\%}$ = Impedancia de dispersión del transformador en por ciento.

Si la subestación la forman un banco de transformadores monofásicos, se puede usar la ecuación (2.13) sin embargo para este caso:

KV_S = KV de fase a neutro en el lado secundario.

KW_{NL} = Pérdidas en vacío de cada transformador, en KW.

MVA_T = Capacidad de autoenfriamiento (OA) de cada transformador en MVA.

KW_{TOT} = Pérdidas totales de cada transformador en KW cuando entrega su capacidad nominal (OA).

$Z_{T\%}$ = Impedancia de fuga en por ciento de cada transformador.

Las ecuaciones de corriente de falla consideran que la impedancia de secuencia positiva del sistema y la impedancia de secuencia negativa en el punto de falla son iguales. Esto es cierto para la mayoría de los sistemas de distribución porque la impedancia total que limita la corriente para fallas en el bus secundario de la subestación de distribución y en el alimentador se deben principalmente a la impedancia de los transformadores, líneas

aéreas de conductores desnudos, cables aislados - en el sistema de transmisión, subtransmisión y - distribución.

La impedancia de secuencia cero del - transformador depende de las conexiones de los de vanados; para la conexión delta-estrella aterriza da donde el punto neutro del devanado secundario está a tierra a través de una impedancia Z_{IT} , la impedancia Z_0 referida al secundario es:

$$Z_{0T} = K_1 Z_{IT} + 3Z_N \quad (2.14)$$

Donde:

Z_N = Impedancia del neutro en ohms.

$K_1 = 1.0$ si el banco de transformadores está hecho de transformadores monofásicos.

$K_1 = 0.9$ si el transformador es trifásico; este es un valor aproximado, ya que el valor varía dependiendo del diseño del transformador.

Para las conexiones estrella aterriza da-estrella aterrizada donde el punto neutro del primario está sólidamente aterrizado y el punto neutro del secundario está aterrizado a través de una impedancia Z_N , la impedancia de secuencia cero en ohms referido al secundario es.

$$Z_{0T} = Z_{IT} + 3Z_N \quad (2.15)$$

donde:

Z_{IT} y Z_N han sido previamente definidas.

SISTEMA SUMINISTRADOR DE ALTO VOLTAJE.

Con referencia a la figura 2.11, el sistema suministrador de alto voltaje o el lado primario de la subestación puede ser representado por una impedancia de Thevenin, en ohms, referida al alto secundario, tanto en secuencia positiva como en secuencia cero. Las ecuaciones para calcular estas impedancias dependen de la forma en que estén los datos. Se consideran dos casos.

Si el sistema suministrador del lado primario de la subestación está definido en términos de los MVA de falla trifásica, el factor de potencia y la corriente para una falla a tierra, las impedancias de secuencia del lado primario en ohms referidas al lado secundario son:

$$Z_{1p} = \frac{KV_s^2}{MVA_{3p}} \left[PF_{3p} + j\sqrt{1 - PF_{3p}^2} \right] \left[\frac{KV_{3p}}{KV_p} \right]^2 \quad (2.16)$$

$$Z_{0p} = \frac{\sqrt{3} KV_s^2}{KI_{GP} KV_{3p}} \left[PF_{1p} + j\sqrt{1 - PF_{1p}^2} \right]$$

$$\left[\frac{KV_{3p}}{KV_p} \right]^2 - 2Z_{1p} \quad (2.17)$$

donde:

KV_s = Voltaje entre fases en KV en el lado secundario del transformador.

KV_p = Voltaje entre fases de KV en el lado primario del transformador.

MVA_{3p} = Capacidad de falla trifásica en MVA en las terminales del lado primario de la subestación.

KI_{gp} = Corriente de falla a tierra en KA en las terminales del lado primario de la subestación.

KV_{3p} = Voltaje entre fases del sistema primario - usado como la base en cálculo de MVA_{3p} y KI_{gp} . Usualmente este es igual que KV_p tomando el cociente de KV_{3p} y KV_p igual a la unidad.

PF_{3p} = Factor de potencia en por unidad de la corriente de falla trifásica en las terminales primarias.

PF_{1p} = Factor de potencia en por unidad de la corriente de falla de fase a tierra en las terminales primarias.

Si el sistema que suministra el lado primario de la subestación está definido en términos de impedancias en por unidad para cada secuencia de la red sobre una base especificada en MVA,

las impedancias de secuencia en ohms referidas al lado secundario para representar el sistema primario son:

$$Z_{1p} = (r_1 + jX_1) \left(\frac{KV_s^2}{MVA_B} \right) \left(\frac{KV_{3p}}{KV_p} \right)^2 \quad (2.18)$$

$$Z_{0p} = (r_o + jX_o) \left(\frac{KV_s^2}{MVA_B} \right) \left(\frac{KV_{3p}}{KV_p} \right)^2 \quad (2.19)$$

donde MVA_B es la base de MVA sobre la cual están especificadas las impedancias en por unidad representativas del sistema primario, y r_1 , r_o , X_1 y X_o son los componentes reales e imaginarias de las impedancias de secuencia en por unidad.

LINEAS AEREAS.

Los circuitos aéreos pueden o no tener un conductor neutro. Este conductor puede estar aterrizado únicamente en la fuente (circuito unia^uterrizado) o puede estar aterrizado en varios puntos a lo largo del circuito (multiaterrizado). Puesto que los circuitos de distribución que operan con voltajes de la clase de 23 Kilovolts tienen generalmente el conductor neutro multiaterrizado, se considerará únicamente este tipo de circuitos.

Es normal en la práctica hacer las siguientes suposiciones cuando se manejan las ecuaciones para el cálculo de las impedancias propias de secuencia de líneas de distribución con conductor desnudo.

1o.- Los términos de las ecuaciones de Carson que contienen la altura de un conductor respecto a tierra para las impedancias propias de un conductor con retorno a través de tierra y la impedancia mutua entre dos conductores con retorno común por tierra son despreciables.

2o.- La resistencia a tierra en cada punto donde el conductor neutro está aterrizado puede considerarse igual a cero.

3o.- La corriente de fuga de cualquier conductor de fase a tierra o del conductor neutro a tierra es despreciable, de manera que la corriente en ambos extremos del conductor es la misma para cada conductor.

4o. Se usa el mismo tamaño de conductor en cada fase de un circuito polifásico.

Con las suposiciones antes mencionadas las impedancias propias de secuencias positivas y cero de circuitos trifásico pueden ser determinados con las ecuaciones 2.20 y 2.21.

$$Z_{11} = Z_{22} = R_{\phi} + j0.1736 \frac{f}{60} \log \frac{GMD_{\phi}}{GMR_{\phi}} \quad \text{ohms/Km} \quad (2.20)$$

donde:

- R_{ϕ} = Resistencia del conductor (ohms/Km)
- f = Frecuencia nominal del sistema (hertz)
- GMD_{ϕ} = Distancia media geométrica entre fases
- GMR_{ϕ} = Radio medio geométrico del conductor.

Para diferentes tipos y tamaños de conductores, los valores para GMR_{ϕ} pueden buscarse en tablas.

La expresión para la impedancia propia de secuencia - cero es:

$$Z_{00} = R_{\phi} + 0.1779 \frac{f}{60} + j0.5209 \frac{f}{60} \log \frac{D_e}{\sqrt[3]{GMR_{\phi} GMD_{\phi}^2}} - \frac{3Z_{\phi N}^2}{Z_{NN}} \quad \text{ohms/Km} \quad (2.21)$$

donde:

$$Z_{\phi N} = 0.0593 \frac{f}{60} + j0.1736 \frac{f}{60} \log \frac{D_e}{GMD_{\phi N}}$$

$$Z_{NN} = R_N + 0.0593 \frac{f}{60} + j0.1736 \frac{f}{60} \log \frac{D_e}{GMR_N}$$

$$D_e = 65836.8 \sqrt{\rho/f} \quad \text{centímetros}$$

ρ = Valor promedio de la resistividad de la tierra en ohms/m a lo largo de la ruta del circuito; en la práctica es común usar un valor de 100 para ρ a menos de que esté disponible un valor específico.

$GMD_{\phi N}$ = Distancia media geométrica entre los conductores de las fases y el conductor neutro.

R_N = Resistencia del conductor neutro (ohms/Km)

$GMR\phi_N$ = Radio medio geométrico del conductor neutro (cm).

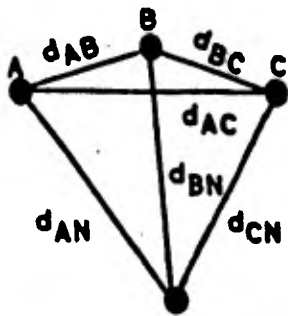
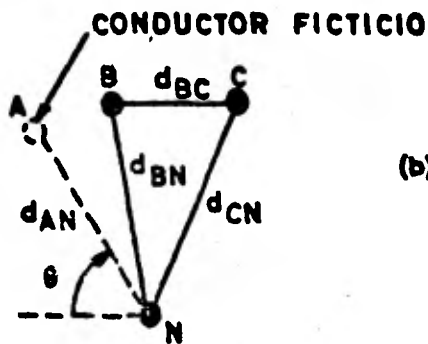
En la ecuación (2.21) Z_{NN} es la impedancia propia del conductor neutro con retorno por tierra. El término $Z\phi N$ puede considerarse como una impedancia mutua con retorno común por tierra entre las tres fases. El término D_e es la distancia entre el conductor real y el conductor equivalente que representa el retorno por tierra. Las expresiones para calcular $GMD\phi$ y $GMD\phi N$ son las siguientes:

$$GMD\phi = \sqrt[3]{dAB \cdot dBC \cdot dCA} \quad (2.22)$$

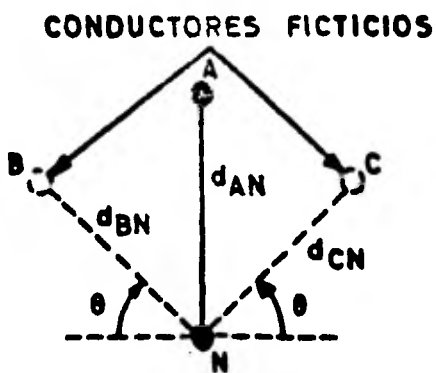
$$GMD\phi N = \sqrt[3]{dAN \cdot dBN \cdot dCN} \quad (2.23)$$

En estas ecuaciones d_{ij} es la distancia entre el centro del conductor "i" y el centro del conductor "j" y las fases son designadas con subíndices A, B y C y el conductor neutro con subíndice N.

La figura 2.13 muestra a las distancias consideradas para calcular las ecuaciones 2.22 y 2.23.

(a) LINEA TRIFASICA(b) LINEA BIFASICA

$$d_{AN} = \sqrt{d_{BN} d_{CN}}$$

(c) LINEA MONOFASICA

$$d_{BN} = d_{CN} = d_{AN}$$

$$\theta = 41.6965^\circ$$

FIG 2.13 Distancias de centro a centro de conductor empleadas para el cálculo de impedancia propia de secuencia para circuitos aéreos con conductores desnudos.

Las ecuaciones 2.20 y 2.21 muestran que las componentes reactivas de Z_{11} y Z_{00} que se designan como X_{11} y X_{00} respectivamente, son una función del espaciamento entre conductores ($GMD\phi$). Decreciendo el espaciamento se reduce X_{11} y se incrementa X_{00} , de tal manera que la razón de X_{00} a X_{11} se incrementa al decrecer el espaciamento.

La expresión para Z_{NN} muestra que la componente resistiva de la impedancia propia de un conductor con retorno por tierra es independiente de la resistividad de la tierra. Esto es porque la corriente que retorna por tierra se propaga sobre una amplia área en un terreno con alta resistividad; y en un terreno con baja resistividad la corriente se concentra en un área menor.

CABLES SUBTERRANEOS

Los circuitos subterráneos de distribución están hechos de diferentes tipos de cables. Muchos circuitos primarios instalados hoy en sistemas de distribución de 23 Kilovolts usan un neutro de alambres concéntricos en cada cable.

Las impedancias propias de secuencia pueden calcularse con ecuaciones relativamente simples aún en el caso de que los 3 cables en un circuito estén dispuestos asimétricamente. Este hecho es posible suponiendo que los tres cables están localizados en los vértices de un triángulo equilátero con un espaciamento entre fases igual a la media geométrica de los espaciamientos reales; este concepto se ilustra con las figuras 2.14a. y 2.14.b.

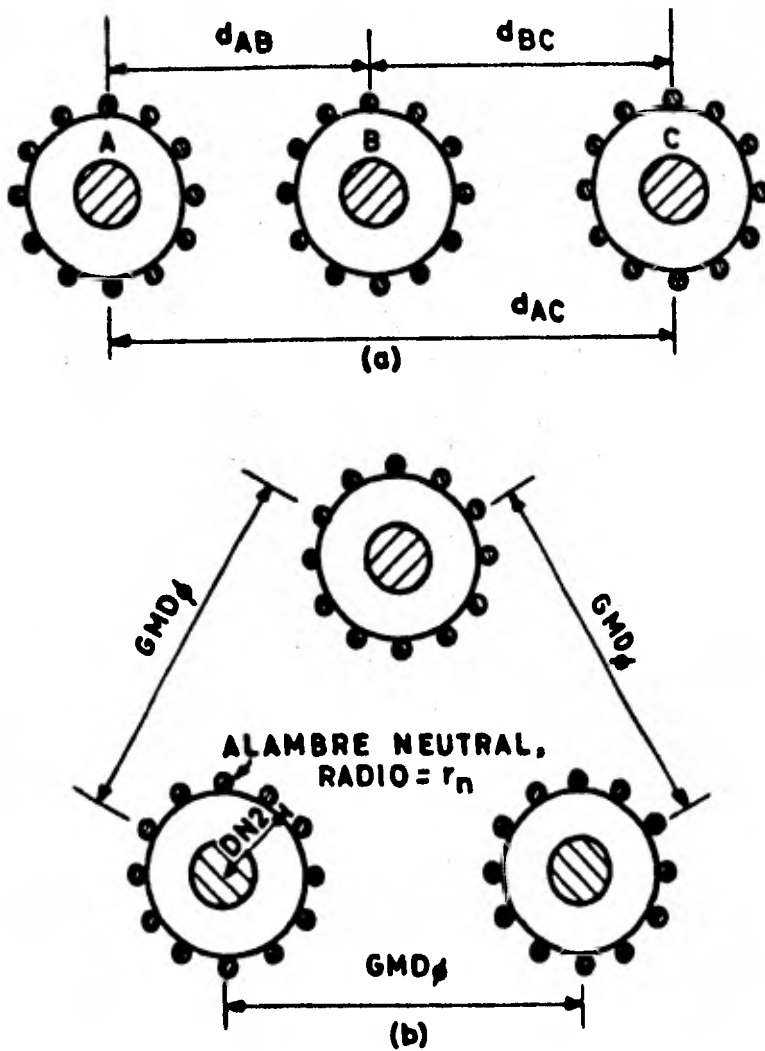


FIG.2.14 Circuito trifásico con conductores 1 ϕ con neutro multialámbrico concéntrico. (a) arreglo actual del conductor (b) arreglo supuesto para el cálculo de impedancia propia de secuencia

Cuando el cable con neutro concéntrico en cada fase es el mismo, se pueden calcular Z_{11} y Z_{00} de un circuito trifásico con las ecuaciones 2.24 y 2.25 respectivamente.

$$Z_{11} = Z_{aa} - Z_{ab} - \frac{(Z_{ax} - Z_{ab})^2}{Z_{xx} - Z_{ab}} \quad \text{ohms/Km} \quad (2.24)$$

$$Z_{00} = Z_{aa} + 2Z_{ab} - \frac{(Z_{ax} + 2Z_{ab})^2}{Z_{xx} + 2Z_{ab}} \quad \text{ohms/Km} \quad (2.25)$$

Algunos términos de las ecuaciones 2.24 y 2.25 pueden ser evaluadas con las siguientes expresiones donde los valores Z_{ij} están en ohms/Km.

$$Z_{aa} = R_{\phi} + 0.0593 \frac{f}{60} + j0.1736 \frac{f}{60} \log \frac{D_e}{GMR_{\phi}} \quad \text{---} \quad (2.26.a)$$

$$Z_{ab} = 0.0593 \frac{f}{60} + j0.1736 \frac{f}{60} \log \frac{D_e}{GMD_{\phi}} \quad \text{---} \quad (2.26.b)$$

$$Z_{ax} = 0.0593 \frac{f}{60} + j0.1736 \frac{f}{60} \log \frac{D_e}{DN2} \quad \text{---} \quad (2.26.c)$$

$$Z_{xx} = R_N + 0.0593 \frac{f}{60} + j0.1736 \frac{f}{60} \log \frac{D_e}{GMR_N} \quad \text{---} \quad (2.26.d)$$

$$D_e = 65836.8 \sqrt{\rho/f} \quad \text{---} \quad (2.26.e)$$

$$GMD_{\phi} = \sqrt[3]{d_{AB} d_{BC} d_{CA}} \quad \text{---} \quad (2.26.f)$$

En las ecuaciones 2.26.a a 2.26.f se definen los términos que aparecen en las ecuaciones 2.24 y 2.25; los símbolos son:

R_N = Resistencia del neutro multialámbrico concéntrico en cada cable, en OHMS por Km.

R_ϕ = Resistencia de la fase en OHMS por Km.

f = Frecuencia nominal del sistema en Hertz.

D_e = Profundidad del conductor equivalente de retorno por tierra en centímetros.

GMR_ϕ = Radio medio geométrico de la fase en centímetros.

GMD_ϕ = Distancia media geométrica entre los centros de los tres cables en centímetros.

d_{ij} = Distancia real en centímetros desde el centro de los cables para las fases "i" y "j".

DN_2 = Radio del círculo formado por los centros de los alambres en el cable con neutro concéntrico como se muestra en la figura (2.14b), en centímetros.

GMR_N = Radio medio geométrico del cable neutro concéntrico, éste puede ser calculado con la ecuación (2.27).

$$GMR_N = \sqrt[n]{n DN_2^{(n-1)} r_n (0.7788)} \quad \text{cm} \quad (2.27)$$

Donde: n = Número de filamentos en el cable con -
neutro concéntrico.

r_n = Radio en centímetros de cada filamen-
to en el neutro, cuando cada hilo tien
ne una sección transversal circular.

Ejemplo:

El siguiente ejemplo ilustra el uso de las ecuaciones para calcular las impedancias propias de secuencia de un circuito trifásico con cable con neutro concéntrico.

Considerando un circuito de 15 KV conu conductores por fase de aluminio de 1000 MCM, neutro de tamaño de 1/3 con respecto al de las fases y un espaciamiento entre cables d_{AB} , d_{AC} y d_{BC} - igual a 20.32, 40.64 y 20.32 cm. respectivamente. Las características de este cable son las siguientes:

$R_\phi = 0.07218 \Omega / \text{Km}$ a 90°C , $R_N = 0.2198 \Omega / \text{Km}$ a 80°C , $DN_2 = 2.3264$ cm, y el radio (r_n) de cada uno de los 20 alambres neutros de cobre del #10 es de 0.1294 cm. Para el conductor de aluminio de 1000 MCM con 61 hilos $GMR_\phi = 1.1308$ cm. Suponiendo una resistividad del terreno de $100 \Omega / \text{m}$ y una frecuencia de 60 hertz, se procede a los cálculos como sigue:

$$GMD' = \sqrt[3]{(20.32)(40.64)(20.32)} = 25.6 \text{ cm}$$

$$D_e = 65836.8 \sqrt{100/60} = 84994.94 \text{ cm}$$

$$GMR_N = \sqrt[20]{20(2.3264)^{19}(0.1294)(0.7788)} = 2.30977 \text{ cm}$$

$$Z_{aa} = 0.13148 + j0.8465 = 0.8566 \angle 81.17^\circ \text{ ohms/km}$$

$$Z_{ab} = 0.0593 + j0.61127 = 0.61414 \angle 84.46^\circ \text{ ohms /Km}$$

$$Z_{ax} = 0.0593 + j0.792086 = 0.7943 \angle 85.72^\circ \text{ ohms/Km}$$

$$Z_{xx} = 0.2791 + j0.792627 = 0.8403 \angle 70.6^\circ \text{ ohms/Km}$$

Sustituyendo los valores anteriores en las ecuaciones (2.24) y (2.25).

$$Z_{11} = 0.16073 + j0.16194 \text{ ohms /Km}$$

$$Z_{00} = 0.28737 + j0.077526 \text{ ohms/Km}$$

Del valor de Z_{11} nótese que la resistencia de secuencia positiva es más de 2 veces la resistencia del conductor, esto es debido a las grandes corrientes circulantes en el neutro concéntrico, cuyas pérdidas equivalen a un incremento en la resistencia efectiva de secuencia positiva. También la reactancia de secuencia positiva es apreciablemente menor que la que resultaría calculada si el neutro concéntrico no estuviera presente; esto es también debido a la circulación de corrientes en los neutros concéntricos que tie

nen el efecto de reducir los eslabonamientos de flujo entre los conductores y consecuentemente la reactancia de secuencia positiva.

RESULTADOS GENERALIZADOS DE LOS ESTU - DIOS DE CORRIENTES DE FALLA.

En alimentadores de distribución radial, la corriente disponible para un tipo específico de falla es máxima cuando la falla está localizada en la subestación y decrece a medida que la falla está más alejada de la subestación.

Las gráficas de corriente disponible de falla en función de la distancia de la subestación a la localización de la falla se llaman curvas del perfil de corriente de falla. Estas curvas proporcionan información útil para la realización de los estudios para la coordinación de los dispositivos de protección. Estas curvas muestran que la disminución de la corriente disponible de falla, a medida que la falla se corre hacia el final del alimentador, está fuertemente influenciada por el nivel del voltaje del sistema y el tipo de construcción usado para el circuito alimentador (conductor desnudo o cable subterráneo).

CORRIENTE DE FALLA DISPONIBLES EN RELACION CON EL NIVEL DE VOLTAJE DEL SISTEMA.

Los efectos del nivel de voltaje del sistema sobre las curvas del perfil de corriente de falla para líneas con conductor desnudo se

muestran en la figura 2.15 para fallas trifásicas y en la figura 2.16 para fallas monofásicas.

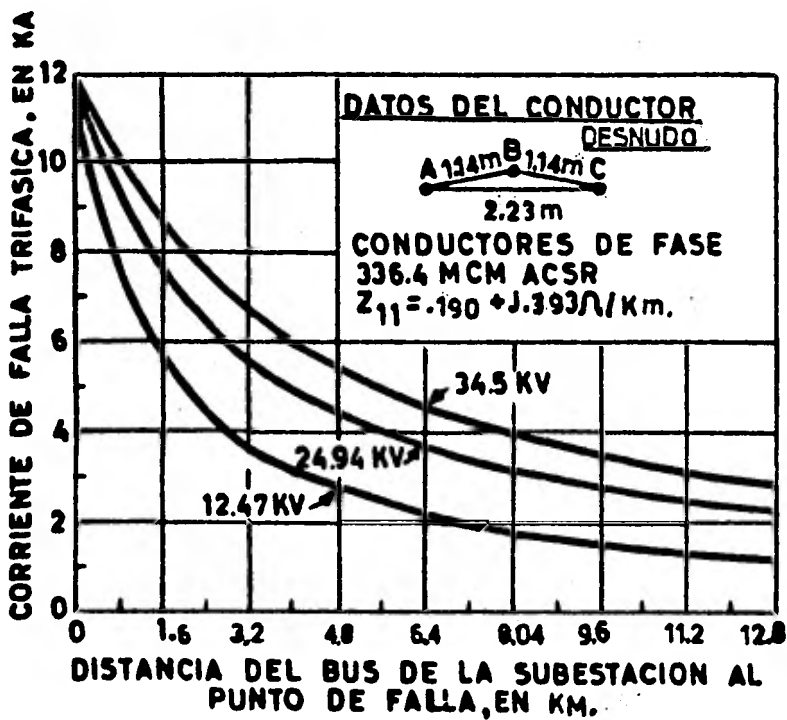


FIG.2.15 Curvas de perfiles de corrientes de falla para fallas trifásicas en sistemas de 12.47, 24.94 y 34.5 KV.

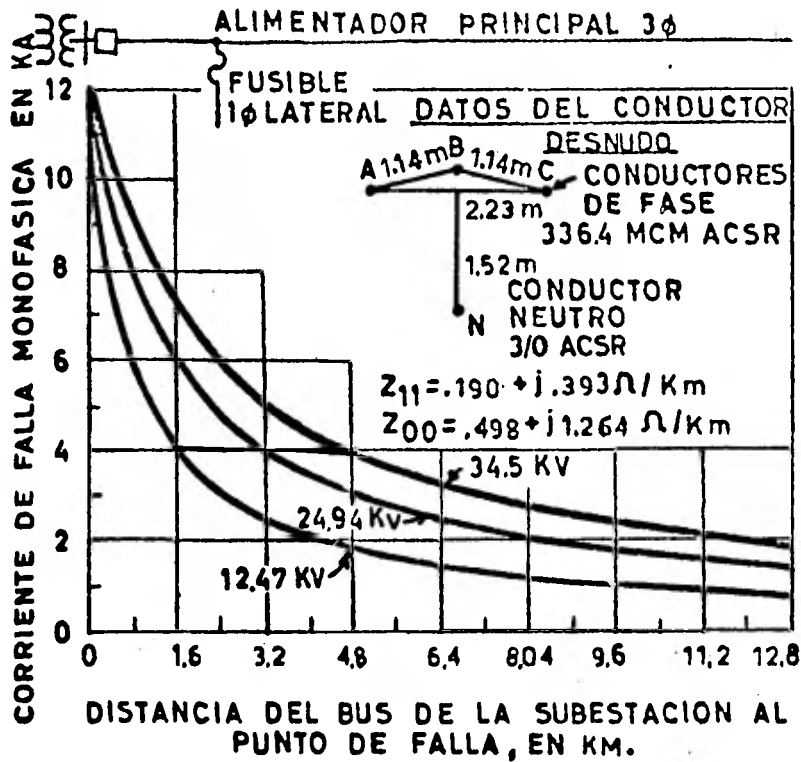


FIG2.16 Curvas de perfiles de corrientes de falla para fallas monofásicas en sistemas de 12.47, 24.94 y 34.5 KV.

Estas curvas muestran que incrementando el nivel del voltaje del sistema, decrece la rapidez a la cual la corriente de falla disponible decrece, o sea que las curvas del perfil de la corriente de falla para el sistema

de alto voltaje serán mucho más planas que para el sistema de voltaje más bajo. Las impedancias de secuencia para los conductores desnudos (336.4 MCM ACSR para cada conductor de fase usado en la preparación de las curvas de perfil de corriente de falla) están dadas en las figuras 2.15 y 2.16; el factor de potencia para las corrientes de falla trifásica y monofásica a tierra en el bus fué de 9.95%.

Una comparación de las curvas del perfil de corriente de falla para líneas con conductor desnudo en las figuras 2.15 y 2.16 muestran que a medida que la falla se aleja de la subestación, la corriente de falla disponible decrece a una velocidad mucho mayor para la falla trifásica. Con líneas de conductor desnudo generalmente este es el caso porque la impedancia de secuencia cero de la línea es mucho mayor que la impedancia de secuencia positiva; también puede verse que la zona de protección de los dispositivos de sobrecorriente del mismo amperaje nominal puede ser más larga en sistemas de voltaje más alto.

CORRIENTE DE FALLA DISPONIBLE EN RELACION CON EL TIPO DE CIRCUITO

El efecto del tipo de circuito (aéreo ó subterráneo) sobre las curvas de perfil de corriente de falla para fallas monofásicas a tierra en un sistema de 12.47 KV se ilustra en la figura 2.17.

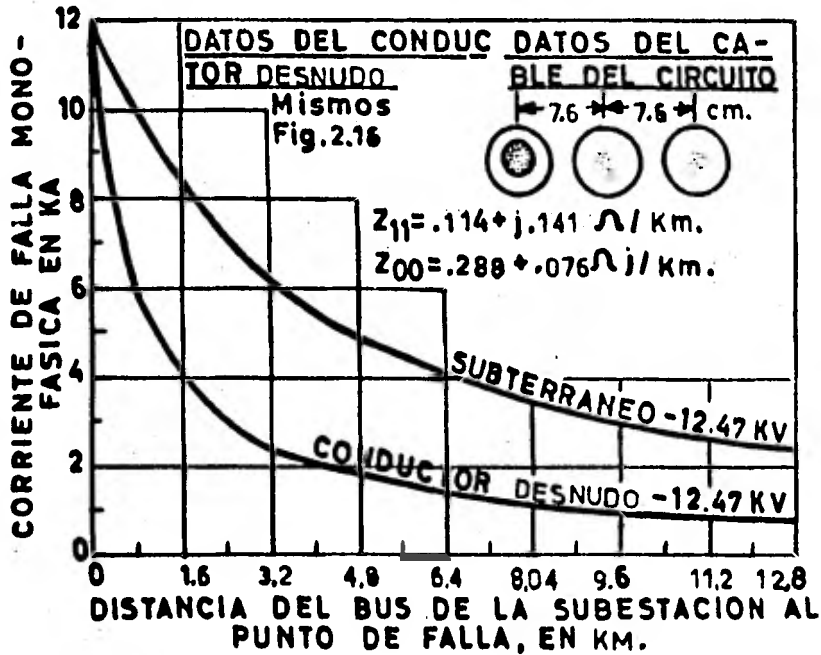


FIG 2.17. Curvas de perfiles de corrientes de falla para fallas monofásicas en conductor abierto y circuitos subterráneos de 12.47 KV. de aproximadamente la misma capacidad.

Las impedancias de secuencia para el circuito con cable y la línea con conductor desnudo están en el cuadro de la figura 2.17. Son las menores impedancias de secuencia del circuito con cable las que dan por resultado la existencia de corrientes de falla más altas en el alimentador subterráneo.

EFFECTO DEL PERFIL DE LA CORRIENTE DE FALLA EN LA COORDINACION.

La información de las figuras 2.15 a - 2.17 muestra que en sistemas de 25 KV y 35 KV en circuitos completamente subterráneo de cualquier nivel de voltaje, puede ser más difícil obtener - el nivel deseado de coordinación que en sistemas de la clase 15 KV con líneas de conductores desnudos, ya que las corrientes de falla disponibles a una distancia dada de la subestación generalmente son más altas en sistemas de 25 y 35 KV y en circuitos totalmente subterráneos que en sistemas - clase 15 KV en líneas de conductores desnudos y - la probabilidad de obtención de una coordinación selectiva entre fusibles es menor en los sistemas anteriores. Por ejemplo, considérese el caso en - que se desea que el accionamiento instantáneo de un interruptor en una subestación prevenga que se funda un fusible, para una falla temporal en un - circuito ramal. Con referencia a la figura 2.16, - suponemos que el fusible sobre el ramal está loca lizado a 1.85 Km de la subestación en los dos sis temas de 12.47 KV, 34.5 KV y que se une a un fusi ble igual en tamaño y tipo en el ramal en los dos sistemas; la figura 2.16 muestra que la máxima corriente en el fusible para una falla de fase a - tierra más allá del fusible es 3,000 amperes en - el sistema de 12.47 KV pero la corriente es 5,800 amperes en el sistema de 34.5 KV. Es posible que el accionamiento instantáneo del interruptor en - la subestación prevenga que se funda el fusible - en sistemas de 12.47 KV, pero no en sistemas de - 34.5 KV.

De este modo cualquier método práctico usado en la obtención de la coordinación en sistemas de 15 KV con líneas de conductores desnudo - puede no ser aplicable en sistemas de distribución de voltaje más alto ó en sistemas totalmente subterráneos.

CORRIENTES DE FALLA EN AMBOS LADOS DE LOS TRANSFORMADORES.

Para coordinar los dispositivos de protección contra sobre corrientes localizados en los lados opuestos de un transformador, debe conocer el valor máximo de la relación de corrientes de línea del lado primario al lado secundario del transformador. Para un banco de transformadores monofásicos o una unidad trifásica, la relación de la corriente de línea en el primario a la corriente de línea en el secundario es función de la relación del voltaje entre fases (KVp) en el lado primario al voltaje entre fases (KV_s) en el lado secundario. La relación entre la corriente de línea en el lado primario y secundario, para muchas conexiones de transformadores, también es una función del tipo de falla en el lado secundario del transformador.

Las conexiones en un transformador afectan no sólo la relación de la corriente de línea en el lado primario a la corriente de línea en el lado secundario, sino también la relación entre la corriente de los devanados del transformador y la corriente de las líneas conectadas a los devanados. Estas relaciones deben ser conside

radas, cuando evaluemos el grado de protección al transformador con dispositivos contra sobrecorriente durante las fallas.

RELACIONES ENTRE LAS CORRIENTES DE LINEAS DEL LADO PRIMARIO Y SECUNDARIO.

La figura 2.18 muestra la relación entre las corrientes de línea en el lado primario y la corriente de línea en el lado secundario para las conexiones Δ - Y aterrizada de un transformador durante las siguientes fallas; trifásica, monofásica a tierra y bifásica, en el lado secundario.

La figura 2.18.b da la información para la conexión estrella aterrizada-estrella aterrizada.

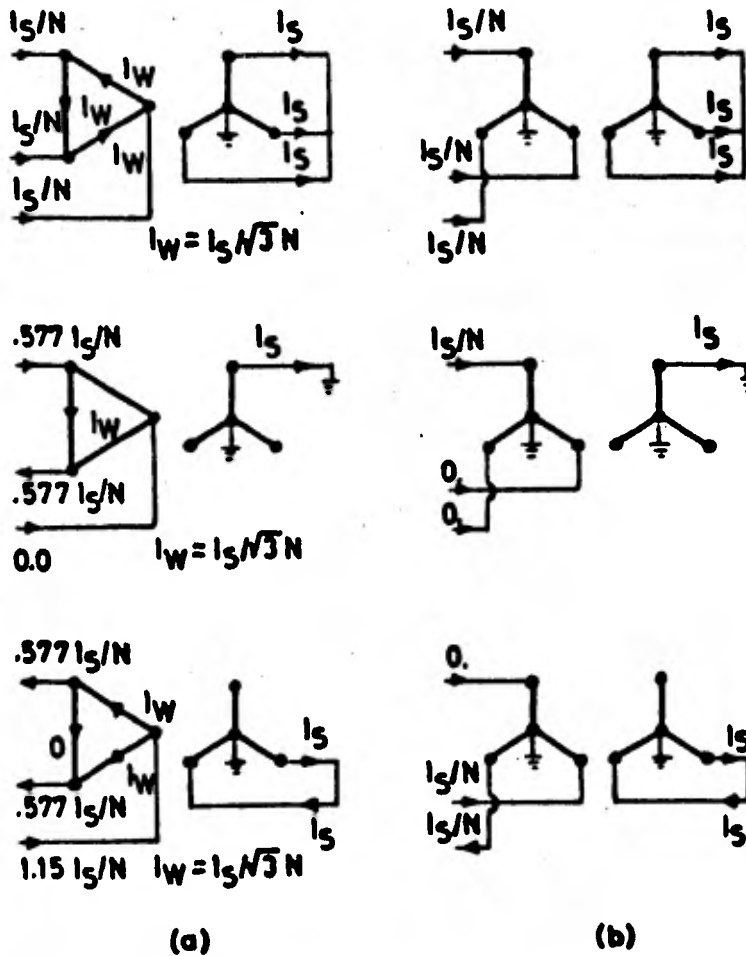


FIG 2.18 Corrientes de línea del lado primario y secundario en amperes para conexiones del transformador (a) Δ - Y ; (b) Y - Y . N es la relación de voltaje de fase a fase del lado primario al lado secundario.

En estas figuras " I_s " es la corriente en las líneas secundarias y " N " es la relación del voltaje entre fases del lado primario (KVp) y el lado secundario (KV_s) de un transformador. Para la falla trifásica mostrada en la figura 2.18a, la corriente en cada fase es igual en magnitud pero está desplazada 120° de las corrientes en las otras dos fases. Sin embargo, para una falla monofásica a tierra y una falla bifásica las corrientes de fase no están balanceadas. Para éstas fallas las flechas en la figura indican la dirección de las corrientes de fase siguiendo la convención normal. La relación entre la corriente en el devanado delta (I_w) y la corriente de las líneas conectadas al devanado delta pueden ser determinadas de la información de la figura 2.18.a.

Las figuras 2.19.a y 2.19.b dan la misma información que la figura 2.18, excepto que éstas son aplicadas a las conexiones $\Delta - \Delta$ y estrella flotante - delta. Estas conexiones se usan en bancos de transformadores de distribución aplicados en sistemas aéreos.

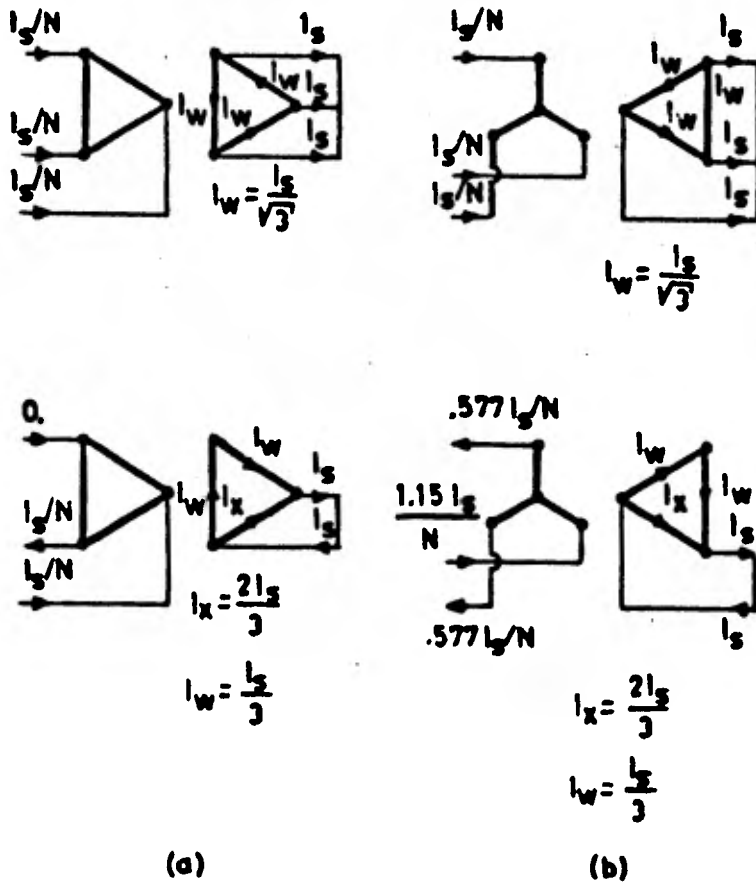


FIG. 2.19 Corrientes de línea del lado primario y el lado secundario en amperes para fallas trifásicas y fallas de fase a fase en conexiones del transformador :
 (a) Δ - Δ ; (b) Δ flotante - Δ . Nes la relación de voltaje de fase a fase del lado primario al lado secundario.

Con referencia a la figura 2.18, la relación de la corriente de línea del primario a la corriente de línea en el lado secundario es I/N para una falla trifásica, pero para una falla monofásica a tierra es $0.577/n$ ó 57.7% de la relación para una falla trifásica. De este modo si los dispositivos de protección de sobrecorriente para cada fase sobre los lados primario y secundario de un transformador son coordinados selectivamente para una falla trifásica, también lo serán para una falla monofásica a tierra. Sin embargo, para una falla bifásica sin tierra en el lado secundario de un transformador, la relación de la corriente de línea en el lado primario a la corriente de línea en el lado secundario es $1.15/N$ o 0.15% mayor que la relación para una falla trifásica.

Por tanto la falla bifásica es la que debe ser considerada cuando se coordinan los dispositivos en ambos lados de la unidad $\Delta - Y$.

El fenómeno ilustrado en la figura 2.18.a, ha sido considerado en la elaboración de las curvas tiempo corriente para los dispositivos de protección localizados en ambos lados del transformador. La figura 2.20 muestra esto: en ella se supone, por motivos de simplicidad, que los dispositivos contra sobrecorriente en ambos lados del transformador son fusibles. La curva rotulada con FS da las características tiempo corriente de los fusibles sobre el lado secundario. Puesto que los fusibles del lado secundario ven

el valor de la corriente indicado en las abscisas, la curva FS da el mínimo tiempo de fusión y el tiempo de libramiento total para cualquier valor de corriente en el lado secundario sin importar el tipo de falla. Sin embargo, para un valor de la corriente en el lado secundario indicado sobre la abscisa (Is) la corriente en la línea primaria puede tener uno de 3 valores, dependiendo del tipo de falla en el secundario. Esto se refleja en la figura 2.20, donde se requieren 3 curvas para representar el mínimo tiempo de fusión del fusible primario (Fp) como una función de la corriente secundaria; cada curva se aplica únicamente al tipo de falla indicada. En la figura 2.20, la curva que representa al fusible primario para la falla monofásica a tierra, es la curva del fusible para la falla trifásica corrida a la derecha por un factor de $\sqrt{3}$. La curva que representa el mismo fusible para una falla bifásica, es la curva del fusible para la falla trifásica corrida a la izquierda por un factor $\sqrt{3}/2$; éstas curvas ilustran que la falla bifásica debe ser considerada cuando se coordinan los dispositivos contra sobrecorriente de fase localizados en ambos lados del transformador Δ - Y aterrizada.

Para el banco estrella no aterrizada - delta indicada en la figura 2.19.b, también debe considerarse la falla bifásica cuando se coordinen los dispositivos de protección. Este tipo de falla dá un máximo valor para la relación de la corriente de línea primaria a la corriente de línea secundaria. Al respecto, la conexión estrella flotante delta se comporta en forma similar a la conexión delta-estrella aterrizada.

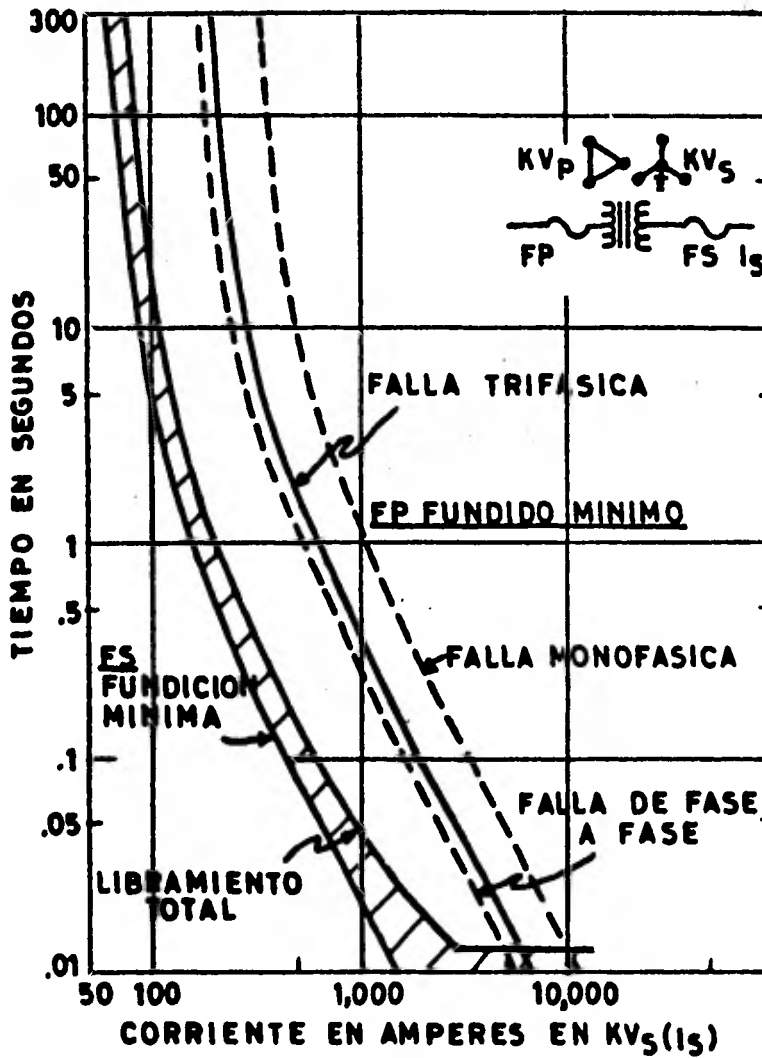


FIG.2.20 Curvas tiempo-corriente para fusibles en el primario y secundario graficadas en términos de la corriente de línea del secundario, en amperes

EFFECTO DE LAS CONEXIONES SOBRE EL NIVEL DE PROTECCION

Los devanados de transformadores monofásicos y trifásicos que satisfacen los requerimientos normalizados de la ANSI, son capaces de soportar un valor especificado del valor nominal de la corriente en los devanados, por un período de tiempo especificado.

Con los devanados de un transformador conectados en Δ , la corriente en las líneas conectadas a los devanados no es la misma que la corriente en los devanados. Además la relación de la corriente en la línea a la corriente en los devanados es una función del tipo de falla.

Un fusible en el lado Δ de un transformador requeriría un tiempo más largo para librar una falla monofásica a tierra en el secundario que para una falla trifásica en el secundario, aún cuando las corrientes en los devanados son las mismas para ambas fallas.

Cuando la protección térmica de un transformador para fallas externas es proporcionada por dispositivos de sobrecorriente por fase en las líneas conectadas al devanado Δ , la característica tiempo-corriente se compara con el punto o curva que define los límites térmicos del transformador, reconociendo que la relación de la corriente de línea a la corriente del devanado es una función del tipo de falla. Esto se ilustra en la figura 2.21, donde la protección contra fallas

externas para un transformador OA/FA es proporcionada por el fusible de 150E amperes en las líneas lado (34.5KV) del transformador.

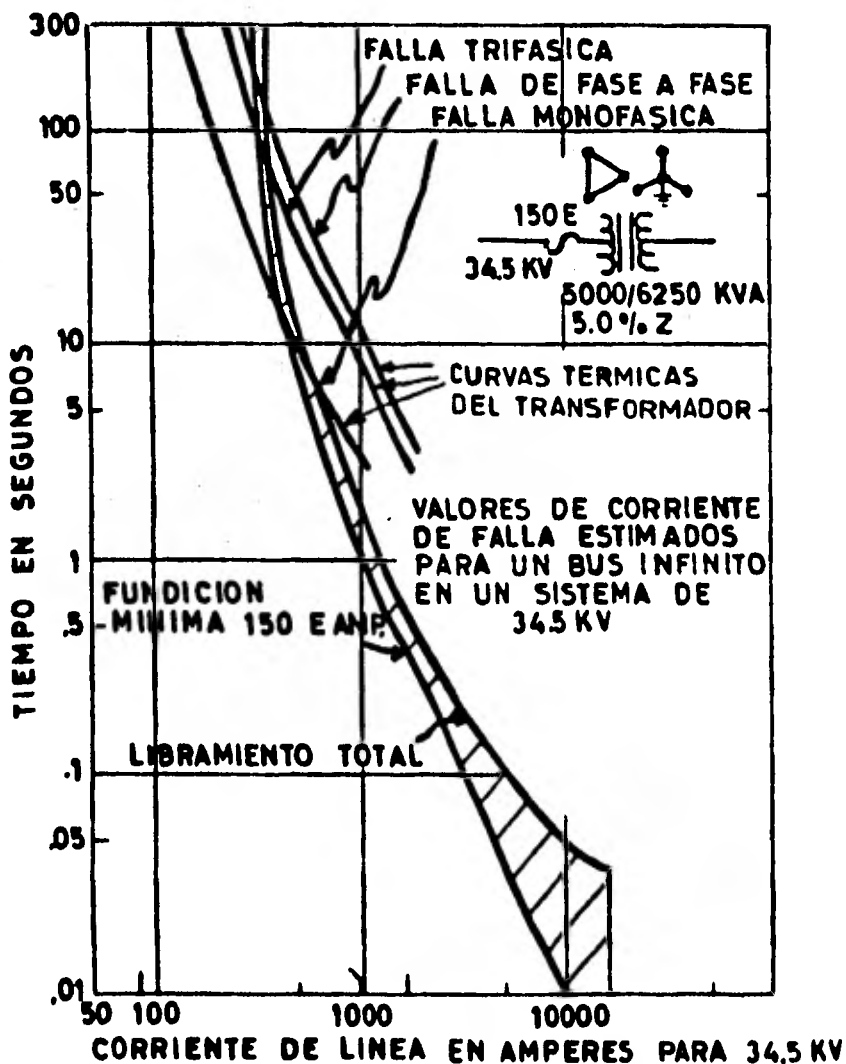


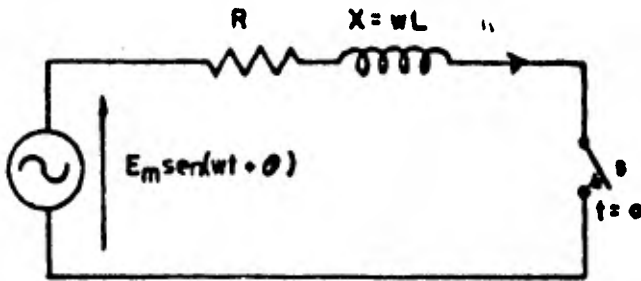
FIG.2.21 Comparación de las características del fusible del lado primario y curvas del transformador térmicas para diferentes tipos de falla en el secundario,

La abscisa en la figura 2.21 es la corriente en amperes en las líneas conectadas al devanado Δ , el fusible se representa por un conjunto de curvas tiempo corriente. Además la capacidad térmica del transformador está representada por tres curvas graficadas en términos de la corriente de línea en 34.5 KV.

La curva térmica para una falla monofásica a tierra en el secundario es la misma que para una falla trifásica, sólo que desplazada a la izquierda por el factor $1/\sqrt{3}$.

ASIMETRIA DE LA CORRIENTE DE FALLA.

Cuando ocurre una falla, la corriente de falla total en la línea consiste en un componente de corriente alterna y una componente de corriente directa la cual decae exponencialmente con el tiempo. Si se desprecian las corrientes debidas a la carga, la cual es una consideración válida en muchos casos, los circuitos de distribución durante una falla pueden ser reducidos a la forma simple mostrada en la figura 2.22



$$i(t) = \sqrt{2} I_{rms} \left[\sin(\omega t + \theta - \theta_z) - \sin(\theta - \theta_z) \exp\left(-\frac{\omega t}{X/R}\right) \right]$$

$$I_{rms} = \frac{E_m / \sqrt{2}}{\sqrt{R^2 - X^2}}$$

FIG. 2.22 Circuito simple R-L para determinar efectos de asimetría en el pico de corriente, $i^2 t$, y el valor de corriente rms.

En esta figura cerrando el interruptor S se simula una falla. El valor instantáneo de la corriente en cualquier momento después de que ha sido cerrado el interruptor está dado por la ecuación. 2.28

$$i(t) = \sqrt{2} I_{rms} \text{Sen}(wt + \theta - \theta_z) - \sqrt{2} I_{rms} \text{Sen}(\theta - \theta_z) \exp\left[-\frac{wt}{X/R}\right] \quad (2.28)$$

Donde:

$i(t)$ = valor instantáneo de la corriente en el tiempo

I_{rms} = el valor cuadrático medio (rms) de la componente alterna de la corriente.

θ = ángulo de cierre el cual define el punto en la onda senoidal de voltaje de alimentación en el que es cerrado el interruptor "S".

θ_z = $\text{tg}^{-1} \frac{X}{R}$ = ángulo de impedancia del sistema.

ω = frecuencia del sistema en rad/seg, ($\omega = 2\pi f$).

$$I_{rms} = \frac{E_m / \sqrt{2}}{(R^2 + X^2)^{1/2}}$$

NOTA:

Los cálculos de las corrientes de falla presentados en las secciones anteriores determinan el valor rms de la componente alterna de la corriente de falla total.

El primer término de la ecuación 2.28 representa la componente de corriente alterna; el segundo término representa la caída exponencial de la componente de corriente directa de la corriente total.

Aunque la caída exponencial de la componente de corriente directa es función de la relación "L" a "R" del circuito, la magnitud inicial de ésta componente es función del ángulo de cierre θ .

FACTORES DE CORRIENTE DE PICO.

En el diseño de aparatos para el sistema, frecuentemente es necesario determinar el máximo pico de corriente que pueda ocurrir para un valor conocido de la componente simétrica de la corriente alterna. Esto se debe a que las fuerzas desarrolladas en los aparatos son función del cuadrado del pico de corriente. El conocimiento del máximo pico de corriente durante una falla es también útil para la evaluación de la capacidad de los fusibles limitadores de corriente para limitar el pico de corriente.

Factor de corriente de pico

$$= \frac{\text{máximo pico de corriente } I_p}{\text{valor rms de la componente de C. A.}}$$

$$= \frac{I_p}{I_{rms}}$$

$$\frac{I_p}{I_{rms}} = \sqrt{2} \left[1 + \exp\left(-\left(\theta_z + \frac{\pi}{2}\right) \frac{R}{X}\right) \text{Sen } \theta_z \right] \quad (2.29)$$

Con la ecuación 2.29 para valores dados de la relación X a R se pueden calcular valores aproximados para los factores de corriente de pico.

FACTOR $I^2 t$.

Dos parámetros que caracterizan el funcionamiento de fusibles limitadores de corriente en la región de limitación de corriente son el valor mínimo de fusión del fusible (I^2t) mínimo y el valor máximo de libramiento total del fusible (I^2t) máximo. El término I^2t es una abreviación de la integral en el tiempo del cuadrado del valor instantáneo de corriente de una onda senoidal, en un período de tiempo determinado. Para un elemento de resistencia constante el producto de I^2t por la resistencia es la energía suministrada al elemento resistivo en joules (watts-seg). Comparando el valor de libramiento total máximo I^2t de un fusible limitador de corriente con el valor I^2t de la primera oscilación de la onda de corriente disponible, puede evaluarse la capacidad del fusible limitador de corriente para limitar la disipación de energía. También el valor I^2t de la onda de corriente disponible es un buen indicador del valor I^2t en la onda de corriente de los dispositivos de interrupción que utilizan el paso por cero de la corriente como los fusibles del tipo de expulsión.

El factor I^2t de la primera oscilación se define como:

$$\int_0^{t_0} \frac{i^2 dt}{I_{rms}^2}$$

y sus valores son únicamente función de las relaciones X a R del circuito.

En la ecuación anterior el valor t_0 es el tiempo en que ocurre el primer cruce de la corriente por cero.

La relación entre el $i^2 t$ contenido en una onda de corriente y el valor rms de la componente de corriente alterna puede ser determinada de la ecuación 2.28. Si la onda de corriente es sinusoidal como la mostrada en la figura 2.23 el $i^2 t$ en la primera oscilación es el producto del cuadrado del valor rms de la componente de corriente alterna y el tiempo en que ocurre el primer cruce de la corriente por cero.

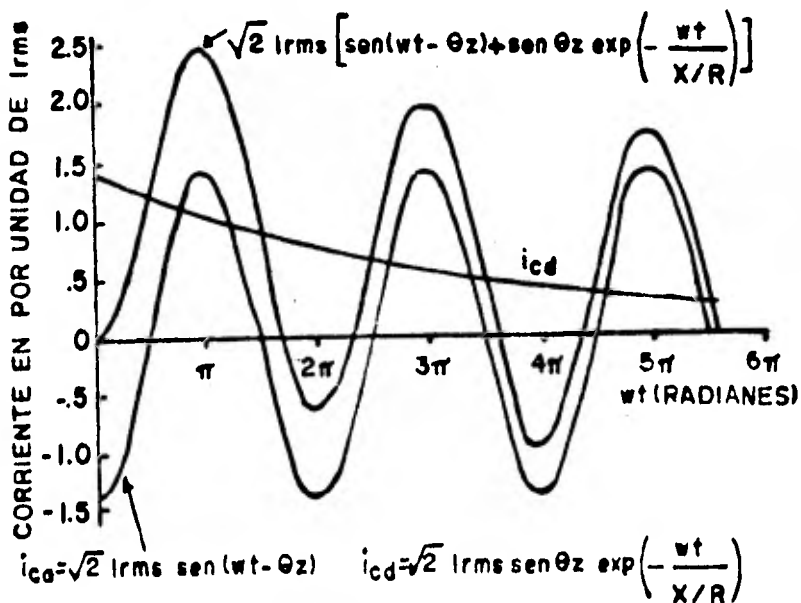


FIG.2.23 Gráfica de una corriente total (asimétrica) para un ángulo de cierre de cero grados. La corriente total consiste en una componente de C.D. (i_{cd}) y una componente de C.A. (i_{ca}).

VALOR EFICAZ DE LAS ONDAS DE CORRIENTE

El valor cuadrático medio (rms) ó valor eficaz de una onda de corriente como la mostrada en la figura 2.23, está definido por la ecuación (2.30)

$$I' = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} i^2(t) dt} \quad (2.30)$$

donde:

I' = valor rms de la corriente $i(t)$ entre t_1 y el tiempo t_1+T

Si elevamos ambos términos de la ecuación 2.30 al cuadrado queda:

$$I'^2 = \frac{1}{T} \left[\int_{t_1}^{t_1+T} i^2(t) dt \right] \quad (2.31)$$

donde el término entre paréntesis es el valor I'^2 de la onda de corriente en el intervalo de tiempo

El cuadrado del valor rms de la onda de corriente dado por la ecuación (2.31), es proporcional al tiempo promedio al cual la energía es transferida a un elemento resistivo de resistencia constante.

El tiempo promedio al cual la energía es transferida a un elemento en un circuito eléctrico por unidad de tiempo es por definición la potencia promedio.

Si la forma de onda es sinusoidal y el intervalo de tiempo de integración T es un número entero, múltiplo del medio período de la onda senoidal, el valor rms es simplemente el valor pico de la onda dividido por $\sqrt{2}$.

El valor rms de una onda de corriente es importante dado que es la medida o base para establecer las capacidades momentáneas y de interrupción para el equipo.

CAPITULO III

FUSIBLES PARA ALTA TENSION

INTRODUCCION.

Los fusibles son el tipo más simple de dispositivos para la interrupción de sobrecorrientes actualmente disponibles. También han sido usados como un simple dispositivo de protección contra sobrecorrientes en sistemas de potencia y de distribución. Es probablemente el dispositivo más seguro que puede proporcionar las funciones básicas y permanecer confiable para operar por 15 a 20 años sin mantenimiento.

Conceptos básicos.

Una de las funciones primarias de un fusible es detectar una condición de sobrecorriente en el sistema que está protegiendo, la cual elevará la temperatura del fusible hasta que finalmente se funde. La segunda función básica es interrumpir esta sobrecorriente y soportar el voltaje transitorio de recuperación durante la interrupción.

Después de que la interrupción ha sido completada, el fusible fundido deberá soportar el voltaje del sistema y así protegerlo del problema de sobrecorriente. Generalmente, cuando el fusible tiene que operar, funcionará para limitar y minimizar el daño que puede ser causado por la circulación de sobrecorrientes.

Una función secundaria de gran importancia de los fusibles es que éstos sean capaces de coordinarse con otros dispositivos protectores en el sistema y así minimizar el número de consumidores afectados por la operación del fusible. Los fabricantes proporcionan curvas de tiempo-corriente de los fusibles, las cuales son una herramienta esencial en el estudio de la coordinación.

Tipos de fusibles.

En la actualidad existen dos tipos de fusibles aplicables en los sistemas de distribución. El primero es el llamado "tipo en espera de corriente cero", por el principio de operación en el que la interrupción se realiza cuando la corriente del circuito pasa por su valor cero. Un ejemplo típico de este tipo de fusible son los llamados "fusibles de expulsión para instalación a la intemperie", que utilizan la producción y expulsión del gas para producir la interrupción. Algunas versiones de este tipo de fusible son el tipo con ácido bórico como medio para generar el gas, los fusibles en aceite (en este caso los gases son producidos por la perforación del aceite, así como en los materiales del tubo portafusible). La más reciente adición a este tipo de fusible son los fusibles en vacío; éste en sí no es un fusible de expulsión, porque la interrupción tiene lugar en un espacio completamente hermético, pero sí es un fusible del tipo "en espera de corriente cero".

El otro tipo básico de fusible es el que corre el cero de corriente, el cual es llamado "fusible limitador de corriente o de energía". Este tipo de fusible no solo reduce la corriente de falla debido a su capacidad de introducir una alta resistencia en el circuito, sino que por este mismo hecho también cambia un circuito con bajo factor de potencia a uno de factor de potencia alto, y corre el cero normal de corriente a un punto cercano al cero normal de voltaje.

Hay tres clases de fusibles limitadores de corriente que caen dentro de ésta categoría. Existe el fusible limitador de corriente de respaldo, que es muy efectivo en altas corrientes de falla, pero que tiene un límite inferior de corriente que puede interrumpir: este fusible debe ser siempre utilizado con algún otro dispositivo (fusible ó interruptor) para manejar condiciones de baja corriente. Una segunda clase es el fusible para "propósito general", el cual por definición de las normas ANSI es un fusible limitador de corriente que puede interrumpir una corriente que cause que el fusible opere en una hora o menos. La tercera clase (de uso común) es un fusible de "rango completo" el cual está diseñado para interrumpir cualquier corriente que ocasione el derretimiento del elemento bajo operación normal del fusible a cualquier temperatura ambiente hasta la aplicación máxima permitida por el fabricante.

Los fusibles, independientemente del tipo, pueden clasificarse en fusibles de distribu -

ción y de potencia. Las características distintivas según normas son: nivel de resistencia dieléctrica (BIL), aplicación (estación o subestación o líneas de distribución y equipo), construcción mecánica adaptada a las aplicaciones requeridas, - rango de capacidad en amperes.

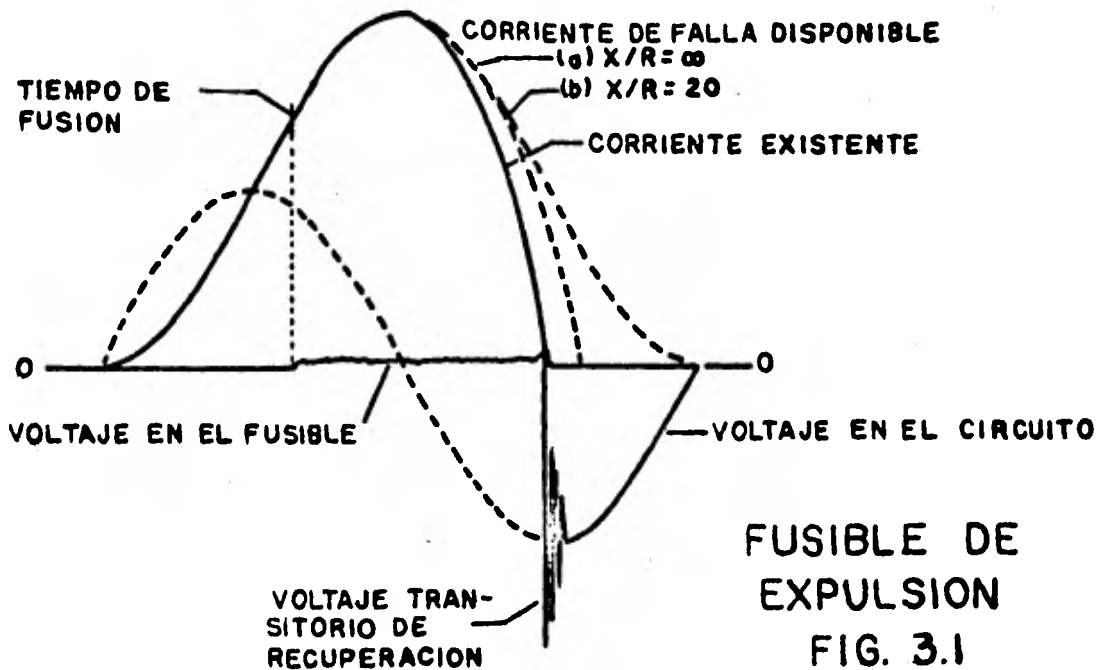
TEORIA DE OPERACION DE FUSIBLES PARA ALTA TENSION.

Fusibles de expulsión.

El fusible de expulsión típico utiliza una sección del elemento fusible relativamente corta para detectar la sobrecorriente e iniciar el arqueo requerido para la interrupción. Anexo a este elemento estará un tipo de conductor largo llamado fusible líder, el cual conecta al resto del herraje del fusible. El arco eléctrico producido crea rápidamente gases de los materiales especiales localizados en la proximidad del elemento fusible, cuya función es crear un medio turbulento de gran presión que rodee el área del arco, para que cuando la corriente pase por cero y el canal del arco se reduzca al mínimo, los gases generados puedan rápidamente mezclarse con el resto de los gases ionizados, y desionizarlos y removerlos del área para tener una rápida reconstrucción de la rigidez dieléctrica, que pueda soportar el voltaje transitorio de recuperación y el voltaje del sistema de potencia en estado estable. Estos gases serán producidos en y expulsados del montaje del fusible.

La figura 3.1 muestra las relaciones típicas de corriente-voltaje-tiempo, que ocurren en la interrupción normal de un fusible de expulsión. Se notará que prácticamente no ocurre limitación o corrimiento del cero normal de corriente, de tal manera que al final del tiempo de interrupción el voltaje se recuperará rápidamente, ten-

diendo a alcanzar el pico de voltaje del sistema y así ocurrirá un nivel de voltaje transitorio de recuperación alto.



Una de las principales ventajas de estos fusibles es que pueden ser recargados con un listón fusible relativamente económico; además en el mismo montaje se pueden usar una gran variedad de tipos y medidas de listones fusibles con lo que se da un amplio margen a la coordinación y permite usar el mismo montaje para numerosas aplicaciones.

Una segunda ventaja de estos fusibles - es que al liberar al fusible líder y con la acción de expulsión de los gases se puede obtener una acción de apertura del montaje del fusible; - esto a su vez trae dos beneficios: se produce un alto aislamiento dieléctrico y además de una muy buena indicación visual de que el fusible ha operado.

Fusibles en vacío.

Los fusibles en vacío son muy similares en diseño y operación a los de expulsión, puesto que también utilizan un elemento fusible pequeño y tienen unas relaciones corriente-voltaje-tiempo muy similares a las de la figura 3.1. La principal diferencia es que éstos no tienen acción de expulsión por ser completamente sellados. La interrupción ocurre por la extremadamente rápida recuperación dieléctrica que puede ser alcanzada en un vacío cuando la corriente ha alcanzado su cero normal.

La principal ventaja de estos fusibles es que al no tener acción de expulsión pueden ser confinados en un montaje muy pequeño, además de que su operación produce una energía de arco muy pequeña.

Fusibles limitadores de corriente.

La característica principal de los fusibles limitadores de corriente es que su elemento fusible es muy largo. Este elemento está completa

mente rodeado con un material cuidadosamente em -
 pacado, normalmente arena de sílice, la cual -
 contiene el arco y mantiene una presión muy al -
 ta a lo largo del área restringida del arco cau -
 sado por la prácticamente simultánea fusión del
 elemento. Con esto se produce una muy alta re -
 sistencia en el circuito en un período de tiem -
 po muy pequeño.

La figura 3.2 muestra las relaciones -
 de corriente-voltaje-tiempo para estos fusi -
 bles actuando bajo una interrupción de una fa -
 lla grande. Se notará que las características -
 mostradas cambian muy rápidamente. La rápida in -
 sersión de la resistencia por la acción de fu -
 sión, causa un arco de voltaje muy alto a tra -
 vés del fusible; ésto es producido por el inten -
 to de parar la corriente que fluye en la induc -
 tancia del circuito. La resistencia también li -

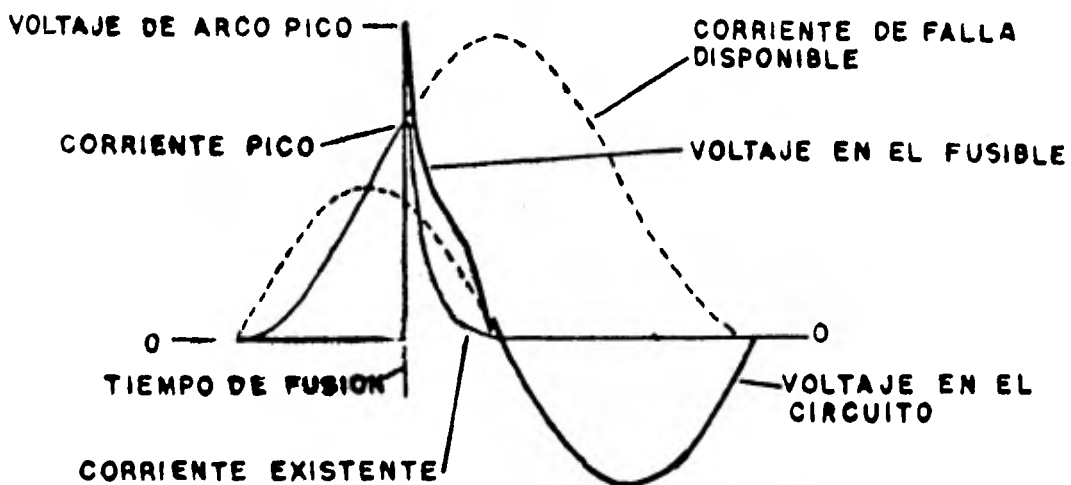


FIG. 3.2 FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE

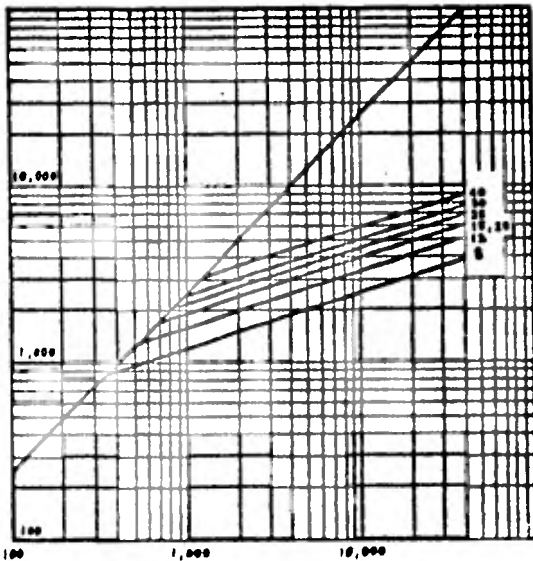
mita el aumento de la magnitud de la corriente. - El factor de potencia que es muy alto en el cir - cuito bajo estas condiciones, causa que la co - rriente alcance su valor cero muy cerca del cero normal de voltaje; en este punto ocurre la recupe - ración total y el voltaje transitorio de recupera - ción es muy pequeño, por lo cual estos fusibles - son prácticamente insensibles al voltaje transito - rio de recuperación inherente al circuito.

La gran ventaja de este tipo de fusi - ble es la capacidad limitadora de corriente y e - nergía potencial. Originalmente los fabricantes - especificaban valores de cresta de corrientes - que podían ocurrir con su fusible, relacionándo - las con la corriente de falla disponible. La figu - ra 3.3 muestra esas relaciones para una familia - de fusibles limitadores de energía, comparando el máximo valor de pico disponible a través de él. - Sin embargo, debido al corrimiento del cero nor - mal de corriente, ocurre una reducción de corrien - te de falla efectiva mucho mayor y solo puede ser satisfactoriamente identificada por el uso de un - factor I^2t ; éste está dado por la integral co - rriente-tiempo y tiene las unidades $\text{amp}^2\text{-seg}$. Es - te factor representa el calentamiento que ocurre - por el incremento de la resistencia en la trayec - toria de la corriente.

El I^2t total es la suma del I^2t de fu - sión, ó I^2t antes del arco, más el que ocurre des - pués de iniciado el arqueo hasta que se produce - la interrupción completa. Esto tiene que ser de -

terminado por pruebas ya que no es dependiente solamente del elemento del fusible sino del diseño total del fusible y su habilidad para manejar las corrientes de falla. Tanto los factores de fusión mínima y el I^2t total son necesarios para estudios de coordinación.

VALORES MAXIMOS DE CORRIENTE (KILOAMPERS PICO)



CARTA DE VALORES MAXIMOS
FIG. 3.3

CORRIENTE DISPONIBLE (KILOAMPERS SIMETRICOS RMS).

La figura 3.4 muestra lo significativa que es la comparación entre el factor I^2t y la relación corriente-tiempo comunmente usadas. Un fabricante de fusibles normalmente proporciona el I^2t de fusión mínima y el I^2t máximo total de sus fusibles limitadores de corriente. -

El total máximo publicado generalmente es el - máximo producido con cualquier corriente de falla correspondiente a la máxima capacidad interruptiva con el máximo voltaje.

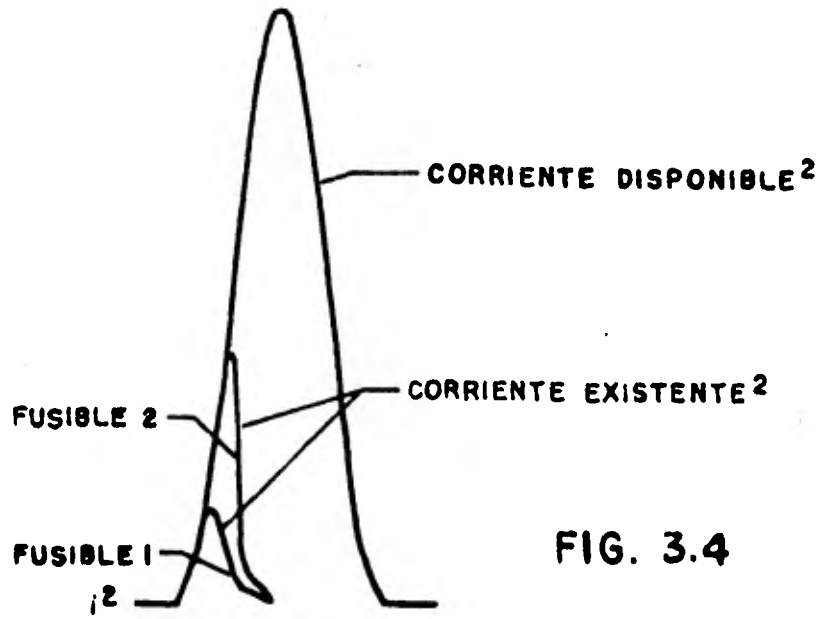
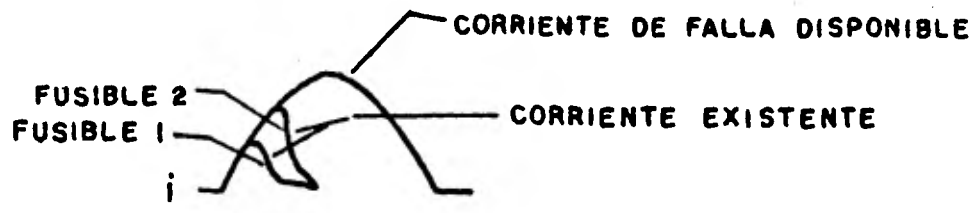


FIG. 3.4

Una característica significativa de los fusibles limitadores de corriente es el hecho de que deben poder absorber toda la energía de interrupción de corriente de falla sin exponerse a un daño físico; toda esta energía produce calor dentro del fusible. La excelente habilidad para limitar corriente de estos fusibles permite tener - prácticamente una capacidad ilimitada de interrupción. El hecho de que los gases no son expulsados por el fusible permite que el fusible sea instalado en confinamientos reducidos y limitados únicamente por el espacio dieléctrico necesario para proporcionar las condiciones de operación en estado estable.

Debido a que el fusible limitador de corriente puede producir muy rápidamente una muy alta resistencia, este factor debe considerarse cuidadosamente en el diseño, de modo que no ocurra - tan rápidamente que produzca voltajes de arco excesivos; tales sobre voltajes causarían averías - en el sistema de aislamiento o causarían operaciones innecesarias en los pararrayos. Esto se toma en consideración en los diseños modernos de fusibles limitadores de corriente; la resistencia es introducida a una tasa controlada y el voltaje de pico del arco es aproximadamente de 2.1 veces el pico de voltaje del sistema, con lo que no ocurrirán problemas de operación.

PROTECCION CON FUSIBLES EN ALTA TENSION

Los fusibles han sido los dispositivos básicos usados en la protección contra sobrecorrientes en los sistemas de distribución, siendo la razón principal su bajo costo. Además, como se tiene una gran variedad de clases y características tiempo-corriente, proporcionan una gran flexibilidad para lograr una protección óptima.

En esta sección se discutirán los criterios generales para la selección de fusibles usados en alta tensión.

Generalmente los fusibles se usan hacia el final de las líneas de distribución, en líneas que no alimentan cargas críticas y para proteger los transformadores de distribución y los bancos de capacitores.

SLECCION DE FUSIBLES: TIPOS Y CAPACIDADES

Los fusibles de alto voltaje se dividen en dos tipos: de potencia y de distribución. Los primeros se usan principalmente en subestaciones convencionales y compactas.

Los fusibles de distribución tienen capacidades menores que los de potencia, capacidades y disposiciones aptas para su uso en circuitos de distribución.

Los fusibles de expulsión se usan en lugares donde la expulsión de los gases no causa

problema, tales como en circuitos y equipo aéreo, mientras que los limitadores de corriente se usan en instalaciones interiores donde se requiere limitación de energía, aunque también tienen gran aplicación en circuitos aéreos.

El nivel de voltaje del fusible no solamente determina sus características dieléctricas, sino la ejecución de la interrupción. La capacidad de interrupción está basada en pruebas menofásicas para el voltaje nominal máximo del fusible.

El voltaje nominal de los fusibles dependen de la forma en que se apliquen: cuando se aplican entre fase y neutro, su voltaje nominal deberá ser mayor o igual que el voltaje de fase a tierra del sistema; en cambio, si se aplican en la línea del sistema, su voltaje nominal se basa en el voltaje entre fases del sistema.

Los fusibles limitadores de corriente usados en transformadores trifásicos en sistema subterráneos, generalmente deben seleccionarse en base al voltaje de línea a tierra, ya que las fallas usualmente involucran la tierra.

Cuando se aplican los fusibles limitadores de corriente se debe prestar atención especial al voltaje de pico del arco generado por el fusible cuando interrumpe la corriente, ya que este afecta a otros dispositivos conectados al sistema (los pararrayos son particularmente afectados por este voltaje).

La capacidad interruptiva del fusible - deberá ser mayor o igual que la máxima corriente de falla disponible en la localización del fusible.

La capacidad de corriente permanente debe ser mayor que la máxima corriente de carga que se requiere conducir, con el fin de permitir un aumento futuro de carga y la circulación de corrientes transitorias tales como las de magnetización y las de conexión de cargas en frío, las cuales deben considerarse.

PROTECCION DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.

La protección de un transformador mediante fusibles debe cumplir con lo siguiente:

- 1.- Desconectar del sistema el transformador cuando este tenga falla.
- 2.- Evitar fallas disruptivas del transformador.
- 3.- Proteger el transformador contra sobrecargas severas.
- 4.- Soportar sobrecargas débiles por corto tiempo.
- 5.- Soportar las corrientes de magnetización y de conexión de carga en frío.

- 6.- Soportar sin daño corrientes inducidas por rayos.
- 7.- Coordinarse con el dispositivo de protección anterior.

PRI IPIOS BASICOS PARA EL USO DE FUSIBLES.

Las curvas tiempo-corriente proporcionan información para la selección de los fusibles. Existen dos criterios para hacer esta selección:- El primer criterio consiste en utilizar una alta relación de fusión, con la cual los fusibles se escogen con el fin de que protejan al sistema de un transformador dañado, sacrificando un poco la protección contra sobrecargas. El segundo es el criterio de baja relación de fusión; en este caso los fusibles se escogen tan pequeños como sea posible con el fin de proporcionar una máxima protección contra sobrecarga.

La relación de fusión se define como la relación de la corriente mínima de fusión del fusible con respecto a la corriente a plena carga del transformador, y da la corriente a plena carga del transformador en por unidad mínima que causará la operación del fusible.

Las relaciones típicas son de 2 a 4 aun que también se llegan a usar relaciones tan pequeñas como 1 y tan altas como 15.

EJEMPLOS DE LA APLICACION DE FUSIBLES

Algunos ejemplos del uso de fusibles ilustrarán la protección ofrecida por varios tipos de estos. La figura 3.5 muestra las curvas tiempo-corriente de mínima fusión y de máximo libramiento de un fusible 8T, superpuestas a las curvas de daño y magnetización de un transformador. Las curvas del fusible se encuentran entre las curvas del transformador.

Se observa que un fusible más grande podría ser mejor, pero debemos considerar los puntos superiores donde las curvas del fusible y la de daño del transformador convergen (no se muestra en la figura). La relación de fusión del ejemplo es de 2.8; para que la curva del fusible se encuentre completamente debajo de la curva de daño del transformador, la relación de fusión deberá ser 2 ó menos.

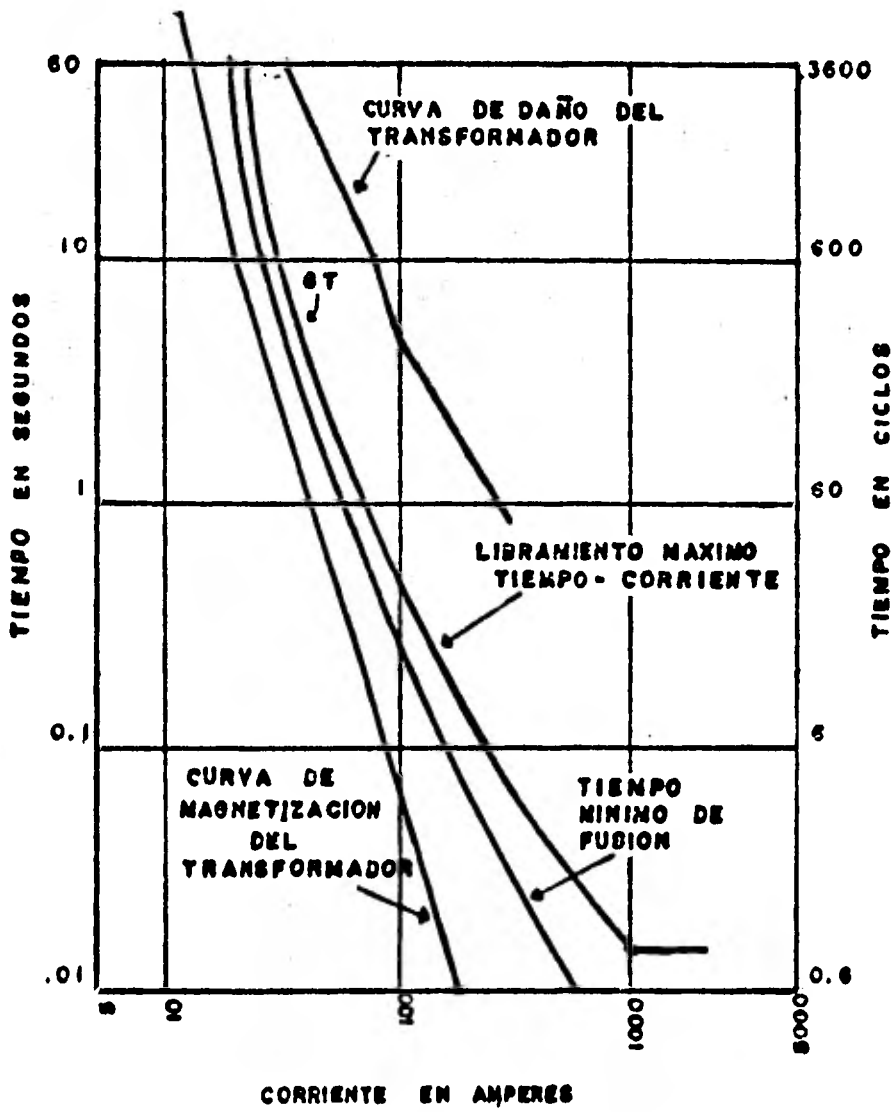


FIGURA 3.5

Debido a la diferencia de capacidad de calentamiento entre fusibles y transformadores sus curvas no se asemejan en la región correspondiente a tiempos largos. Mientras un transformador puede soportar una pequeña sobrecarga por horas sin disminuir su vida, los fusibles operarán en un tiempo pequeño; debido a esto muchas compañías han adoptado $2 \text{ ó } 3$ como la relación de fusión mínima, con la que mejora la utilización del transformador a capacidad plena.

La fig. 3.6 muestra las curvas para un fusible 10k; aunque éste es más grande que el 8T (con una relación de fusión de 3.4), su curva se acerca incomodamente a la de magnetización, esto se debe a que los fusible K son más rápidos que los T.

La fig. 3.7 muestra la curva de un fusible limitador de corriente 12C; por ser extremadamente rápida se requiere elegir el de mayores dimensiones, para cumplir las necesidades de magnetización.

La fig. 3.8 muestra un arreglo en serie de un fusible limitador de corriente y uno de expulsión; esta combinación se usa mucho debido a que el fusible de expulsión opera solamente para sobrecargas y fallas de baja corriente y después de los 500A operará el fusible limitador de corriente. Las ventajas son que mientras los fusibles limitadores de corriente proporcionan la limitación de energía, con lo que previenen fallas disruptivas del transformador, los fusibles para

sobrecargas y fallas de baja corriente (de expulsión) requieren solamente del reemplazo del listón fusible cuando han operado, lo que es muy económico.

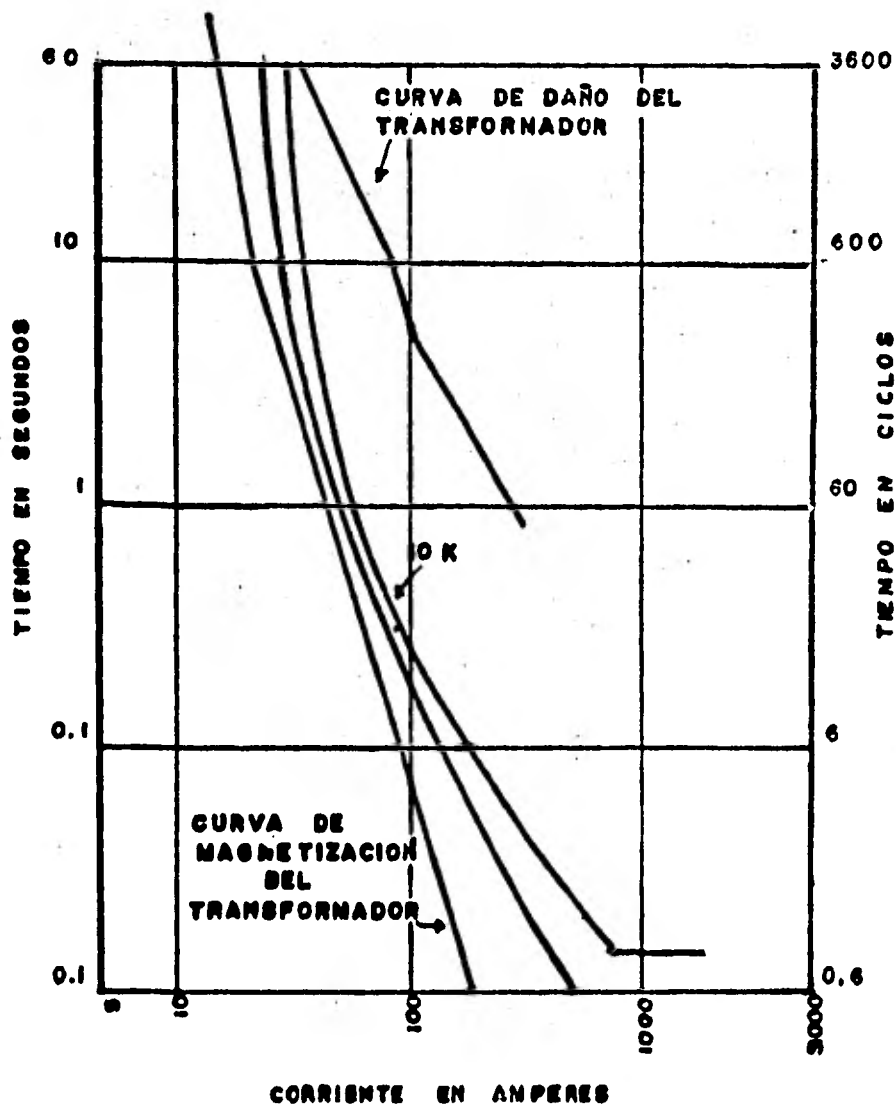


FIGURA 3.6

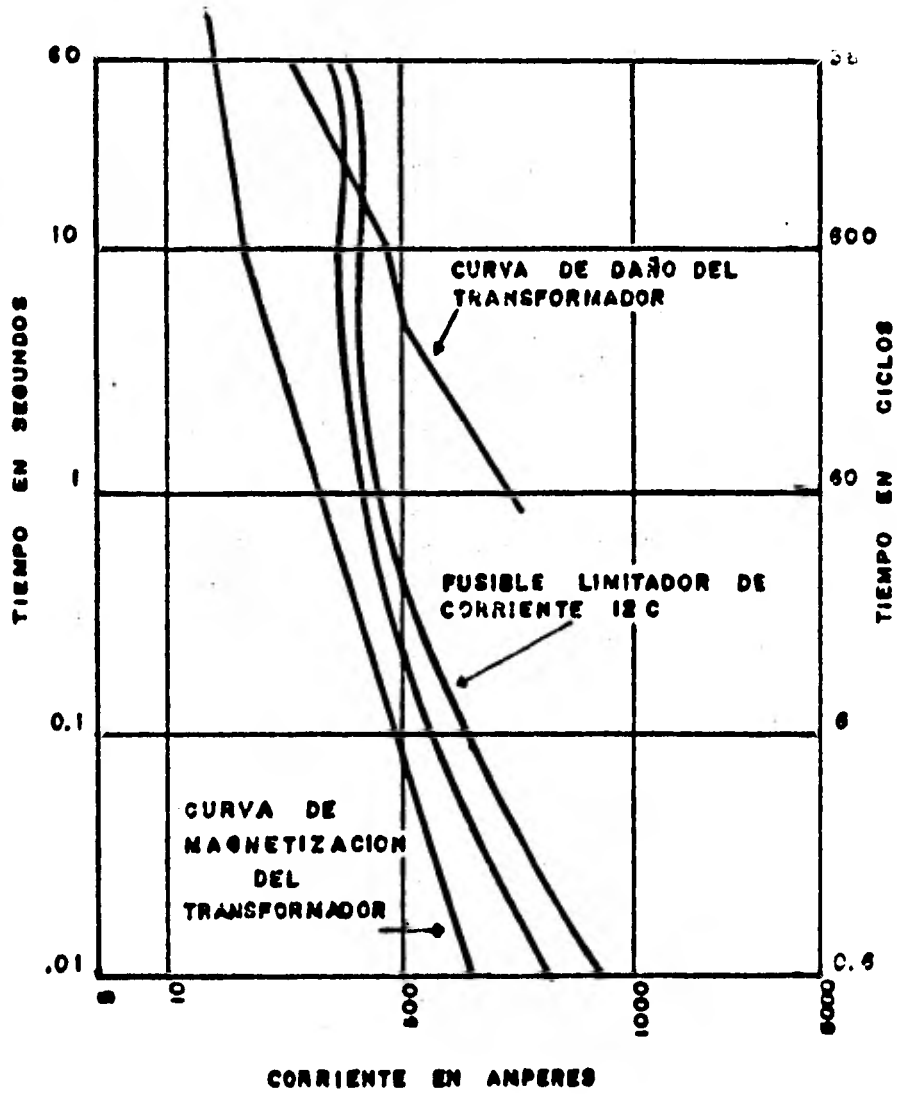


FIGURA 3.7

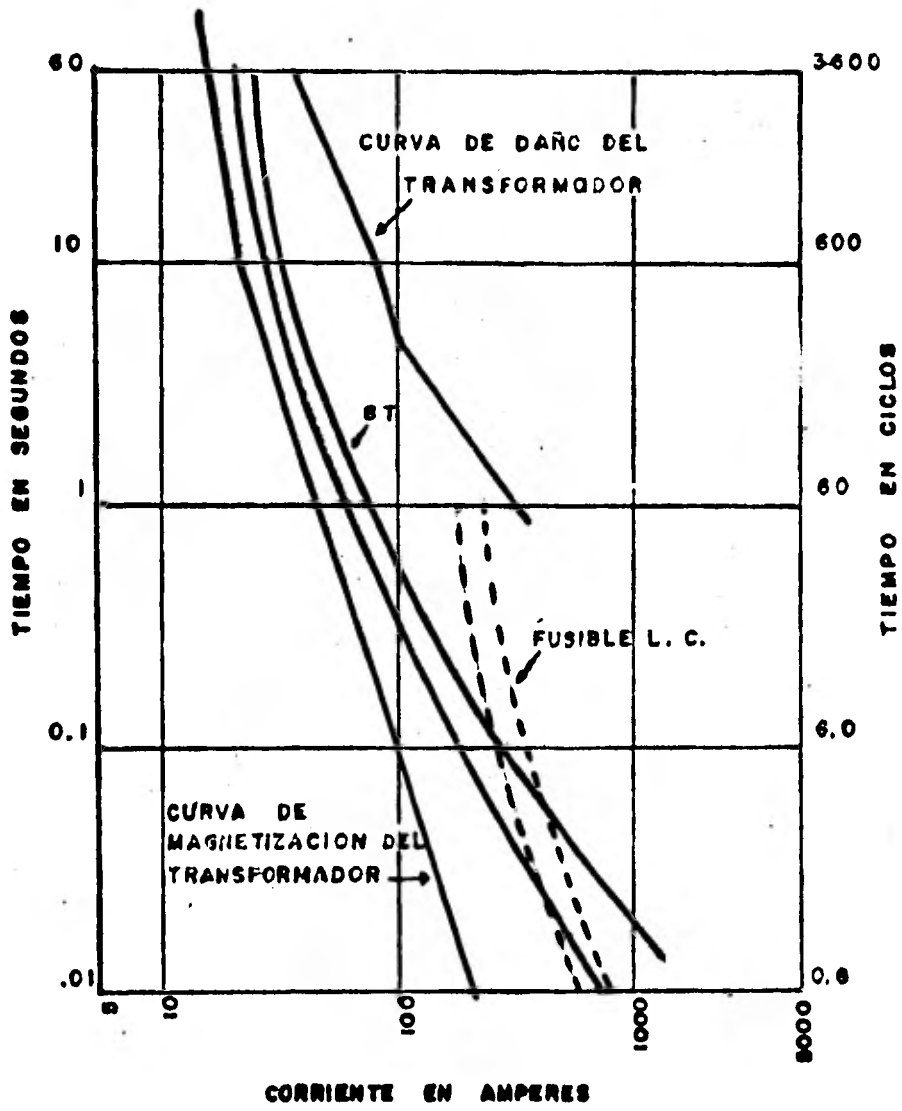


FIGURA 3.9

ARREGLOS DE FUSIBLES PARA TRANSFORMADORES AEREOS

En estos casos los fusibles pueden formar parte del transformador o ser una unidad separada. El arreglo más utilizado para transformadores aéreos es el fusible de expulsión montado sobre una cruceta próxima al transformador, el cual es muy económico.

Otro arreglo que fue muy usado es el fusible de expulsión montado en el interior del transformador. Debido a la dificultad de su reemplazo, se utiliza una relación de fusión alta (8 ó más) para que no se funda con sobrecargas; generalmente se utiliza un interruptor secundario interno para que proporcione la protección contra sobrecarga; su aplicación se limita a localizaciones donde la corriente de falla no excede de 3000 Amp., debido a las grandes presiones que origina la operación del fusible.

Otro arreglo muy usado es la combinación fusible de expulsión-fusible limitador de corriente, con lo cual se proporciona protección contra corrientes de falla más altas que los niveles para los que el fusible de expulsión da una respuesta satisfactoria.

ARREGLOS DE FUSIBLES PARA TRANSFORMADORES MONTADOS EN BOVEDA

Para estos casos el fusible usado es el tipo limitador de corriente, debido a que no produce gases en su operación. Inicialmente los fusibles

bles limitadores fueron montados en compartimientos aislados dentro de la cabina del transformador; con el desarrollo de las construcciones blindadas (de frente muerto), los fusibles se montan en el interior del transformador, siendo los arreglos más usados el arreglo con bayoneta y con pozo seco; en ambos casos se encuentran colocados en una pared lateral del transformador.

El arreglo con bayoneta utiliza un fusible de expulsión donde la bayoneta es fácilmente removible y además el fusible se encuentra totalmente sumergido en el aceite del transformador; el arreglo con pozo seco se usa cuando se requieren fusibles limitadores de corriente, estando el pozo seco totalmente aislado del aceite.

FUSIBLES PARA TRANSFORMADORES DE SUBESTACION

Para la protección del lado primario de los transformadores de subestación se usan interruptores con capacidad interruptiva y fusibles. En subestaciones pequeñas y transformadores en baja potencia, generalmente se usan los fusibles de potencia para la protección del transformador, debido a que es lo económico, para lo cual es necesario considerar los siguientes parámetros:

- a).- Que el voltaje línea a línea no exceda de 169 KV.
- b).- Que las corrientes de falla estén dentro de las capacidades de interrupción del fusible.

- c).- Que los requerimientos de carga se encuentren dentro de las capacidades de corriente de fusible.
- d).- Que las interrupciones monofásicas sean tolerables.

El fusible interrumpe cualquier falla entre él y el dispositivo de protección colocado en el lado secundario, además de proporcionar protección de respaldo a dicho dispositivo. La consideración más importante para la selección del fusible es su habilidad para soportar las corrientes de magnetización y de conexión de carga en frío; además en los transformadores de distribución la curva del fusible deberá coordinarse con las curvas de magnetización y daño del transformador.

FUSIBLES PARA CAPACITORES

La principal función de estos fusibles es proteger el sistema de los capacitores que han fallado y de fallas que ocurren dentro del banco de capacitores.

En este caso el fusible no impedirá la falla del capacitor, pero al presentarse la falla deberá desconectarlo antes de que ocurra una ruptura del tanque, y deberá operar antes que los dispositivos de protección anteriores.

CARACTERISTICAS DE LOS CAPACITORES

Cuando un capacitor es energizado se produce una corriente inicial de corta duración que es una corriente sinusoidal amortiguada de alta frecuencia la cual depende del tamaño del capacitor y de la impedancia de la fuente. El I^2t del fusible debe ser mayor que el de la corriente de magnetización.

Con la siguiente expresión se calcula el I^2t de la corriente de magnetización.

$$I^2t = 265 \quad (1) \quad (I_{sc})(1+K^2)^{1/2} \quad (\text{amp}^2 - \text{seg})$$

donde: $K = X/R$

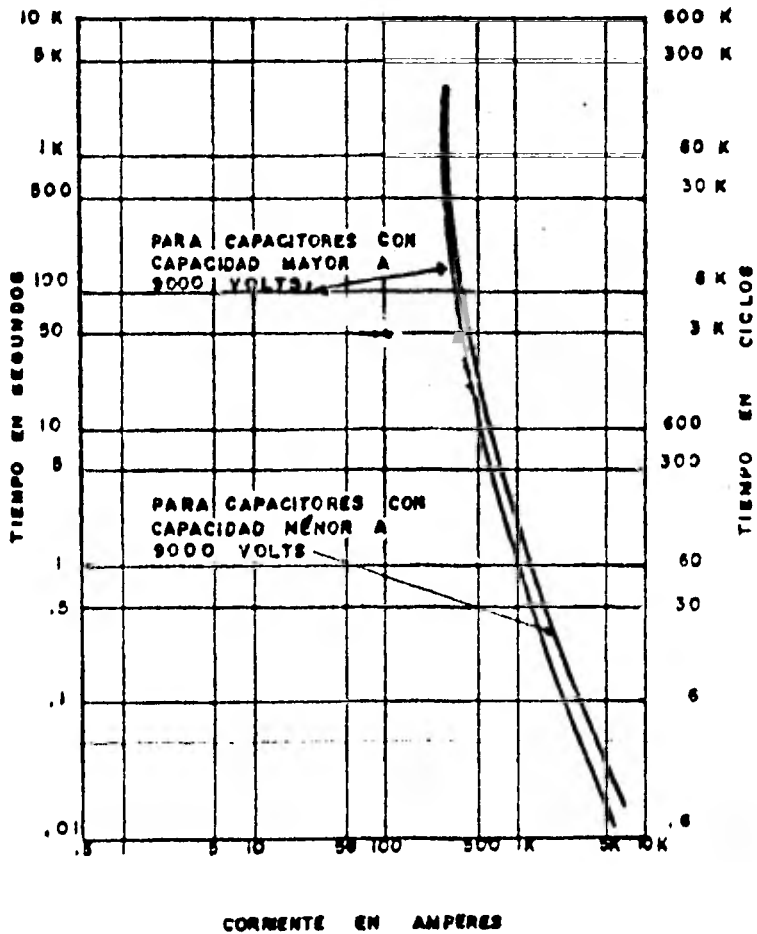
I_{sc} = Corriente de falla trifásica en la localización del banco de capacitores (KAmp.)

I = Corriente de línea del banco (Amp.)

Una unidad de capacitores consta de un número de grupos conectados en serie de capacitores individuales conectados en paralelo. La falla generalmente empieza con la ruptura de un capacitor individual con lo que se cortocircuita este grupo ocasionando el incremento de la corriente, así como del voltaje en el resto de los grupos conectados en serie, lo cual ocasionará la falla de los grupos no fallados. Es deseable que el fusible del capacitor opere antes de que todos los grupos hayan fallado, ya que estos limitan la co-

riente de falla y minimizan por lo tanto la posibilidad de una ruptura de tanque.

La fig. 3.9 muestra un ejemplo de curvas de ruptura de tanque (dadas por los fabricantes); obviamente la curva del fusible deberá ubicarse a la izquierda de la curva de ruptura. Para valores de corriente de falla mayores de 5 000 Amp. se usan fusibles limitadores de corriente.



71 FIGURA 3.9

Reglas fundamentales para la aplicación de fusibles para capacitores:

- 1.- Por el fusible circulará permanentemente un $x\%$ de la corriente nominal del capacitor (usualmente x toma el valor de 135).
- 2.- El fusible deberá interrumpir las corrientes de falla de frecuencia fundamental disponibles (inductivas y capacitivas).
- 3.- El fusible deberá soportar las corrientes transitorias sin dañarse.
- 4.- El fusible debe operar antes de que ocurra la ruptura del tanque.

CAPITULO IV

RESTAURADORES AUTOMATICOS

Los restauradores automáticos son dispositivos autocontrolados para interrumpir automáticamente y recerrar un circuito de corriente alterna, con una secuencia predeterminada de apertura y cierre, seguida por una restauración o una apertura final del circuito.

Estos dispositivos fueron específicamente diseñados para la protección contra sobrecorrientes en sistemas de distribución; la aplicación de estos dispositivos depende de los parámetros eléctricos del sistema y de la coordinación con otro equipo de protección.

TIPOS DE RESTAURADORES

Los restauradores se clasifican de varias maneras:

a) Por su medio de interrupción: los restauradores están diseñados para interrumpir corrientes de falla utilizando ya sea aceite ó vacío, también hacen uso del mismo aceite ó aire para el aislamiento contra impulsos y voltajes de baja frecuencia.

b) Por su medio de control: los restauradores son controlados desde el punto de vista de su temporización, conteo y características de recierre, por dos métodos de control:

1.- Control hidráulico: los restauradores controlados hidráulicamente utilizan el aceite aislante en conjunto con un mecanismo hidráulico contenido dentro del dispositivo, consistente de varias bombas, orificios y válvulas, para realizar las características de disparo tiempo-corriente, conteo y sus funciones de temporización en el intervalo de recierre; en todos los restauradores controlados hidráulicamente las sobrecorrientes se detectan por una bobina conectada en serie.

2.- Control electrónico con relevador: - estos restauradores utilizan, montado separadamente, un control electrónico o un conjunto de relevadores de sobrecorriente y recierre, para proporcionar las características de tiempo de disparo, conteo y temporización en el intervalo de recierre.

Estos dispositivos son más precisos y flexibles que los dispositivos hidráulicos; todos los restauradores controlados electrónicamente o con relevador detectan sobrecorrientes por medio de transformadores de corriente.

NUMERO DE FASES

Los restauradores automáticos se diseñan como dispositivos monofásicos o trifásicos. Los trifásicos pueden tener los siguientes modos de operación:

- a) disparo monofásico, apertura final - trifásica.
- b) disparo trifásico, apertura final - trifásica.

Las unidades trifásicas más pequeñas emplean el modo a), donde cada fase dispara independientemente de las otras; cuando alguna fase abre definitivamente, las otras dos simultáneamente - también lo hacen.

Los restauradores trifásicos más grandes emplean el modo b) en el cual las tres fases disparan simultáneamente a pesar de que una sola fase sea la que detecte la sobrecorriente.

Los restauradores deben estar diseñados con cualquier combinación de medio de interrupción, aislamiento, sistemas de control y número de fases. Las siete combinaciones producidas actualmente son:

- 1.- Monofásico: control hidráulico, interrupción en aceite y aislamiento en aceite.
- 2.- Monofásico: control hidráulico, interrupción en vacío y aislamiento en aceite.
- 3.- Trifásico: control hidráulico, interrupción en aceite y aislamiento en aceite.
- 4.- Trifásico: control hidráulico, interrupción en vacío y aislamiento en aceite.

5.- Trifásico: control electrónico, interrupción en aceite y aislamiento en aceite.

6.- Trifásico: control electrónico, interrupción en vacío y aislamiento en aceite.

7.- Trifásico: control electrónico, interrupción en vacío y aislamiento en aire.

OPERACION

La mayoría de los restauradores aplicados hoy día operan en una secuencia de hasta cuatro disparos y tres recierres, en un intento por librar una falla persistente antes de que sus contactos abran finalmente. La figura 4.1 muestra la secuencia de operación de un restaurador típico - con cuatro disparos antes de la apertura final.

La figura 4.2 muestra las características tiempo-corriente para operaciones rápidas y retardadas.

La curva A es la curva rápida (instantánea), las curvas B y C son las curvas de tiempo retardado.

La función de las dos diferentes curvas características es como sigue: los disparos rápidos libran o tratan de librar fallas temporales - mientras permite a la protección de fusibles conectados línea abajo que pueda detectar también la corriente de falla temporal. Los disparos retardados libran la falla permanente o permiten a

5.- Trifásico: control electrónico, interrupción en aceite y aislamiento en aceite.

6.- Trifásico: control electrónico, interrupción en vacío y aislamiento en aceite.

7.- Trifásico: control electrónico, interrupción en vacío y aislamiento en aire.

OPERACION

La mayoría de los restauradores aplicados hoy día operan en una secuencia de hasta cuatro disparos y tres recierres, en un intento por librar una falla persistente antes de que sus contactos abran finalmente. La figura 4.1 muestra la secuencia de operación de un restaurador típico - con cuatro disparos antes de la apertura final.

La figura 4.2 muestra las características tiempo-corriente para operaciones rápidas y retardadas.

La curva A es la curva rápida (instantánea), las curvas B y C son las curvas de tiempo retardado.

La función de las dos diferentes curvas características es como sigue: los disparos rápidos libran o tratan de librar fallas temporales - mientras permite a la protección de fusibles conectados línea abajo que pueda detectar también la corriente de falla temporal. Los disparos retardados libran la falla permanente o permiten a

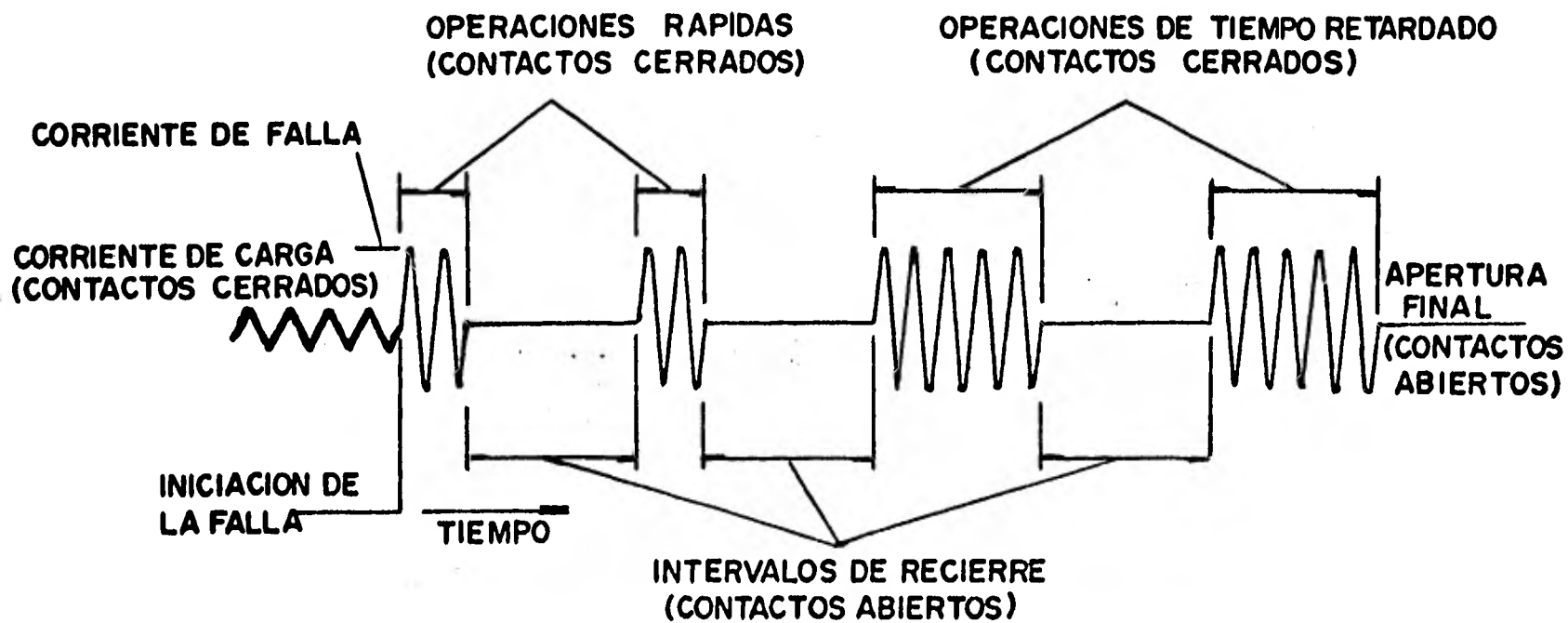
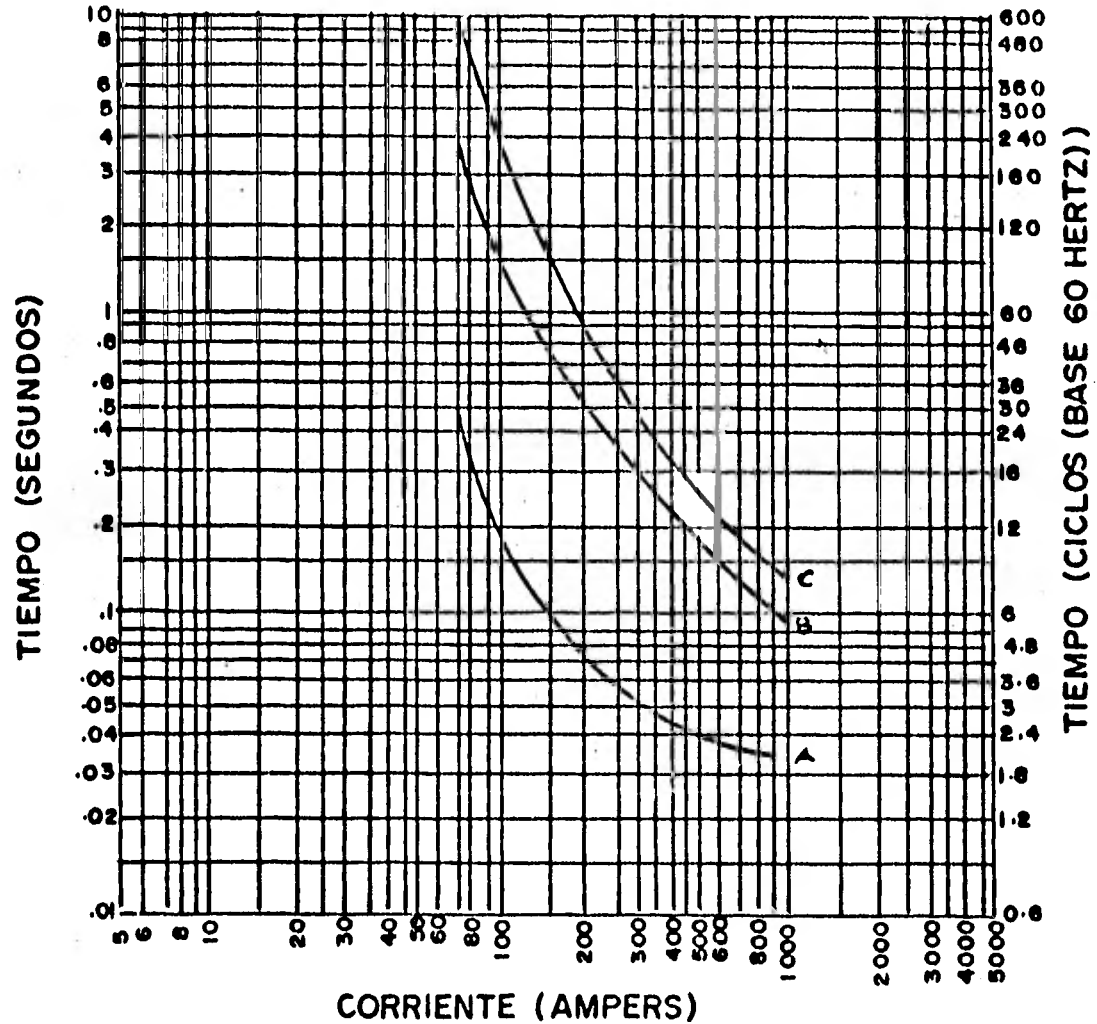


FIG. 4.1 SECUENCIA DE OPERACION TIPICA DE CUATRO DISPAROS PARA LA APERTURA FINAL.

FIG. 4.2 CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE PARA OPERACIONES DE DISPARO RAPIDAS Y RETARDADAS.



los dispositivos conectados línea abajo hacerlo. Si la falla no es librada antes del último disparo, el restaurador la considera permanente y abre definitivamente el circuito.

La operación unitaria básica de un restaurador se muestra en la figura 4.3.

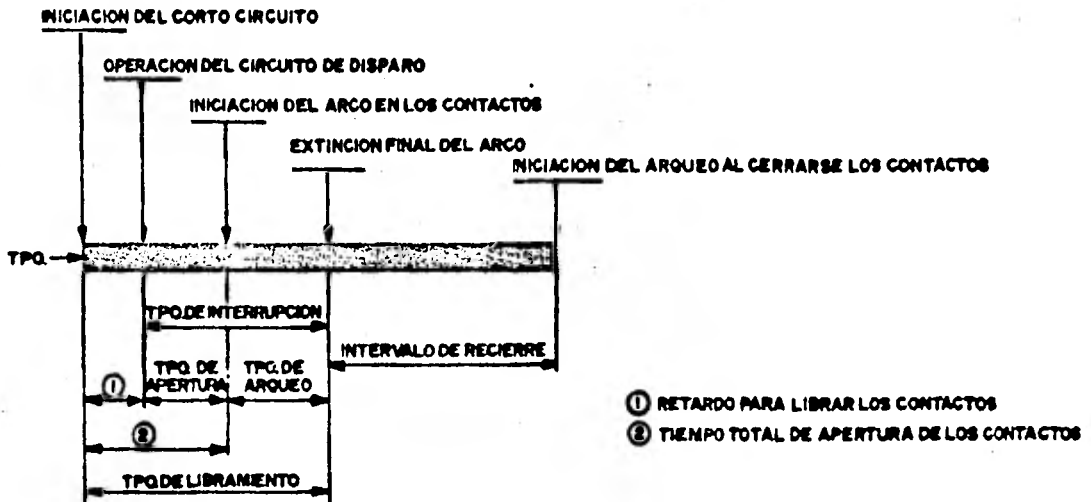


Fig. 4.3 OPERACION UNITARIA

Los restauradores se clasifican de acuerdo con los siguientes parámetros, como se muestra en las tablas 4.1 y 4.2.

Voltaje máximo. - Este es el máximo voltaje al cual el restaurador deberá estar sujeto. Se utilizan voltajes de 15.0Kv a 72.5 Kv.

TABLA 4.1

CAPACIDAD DE VOLTAJE MAXIMO, CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMANENTE, CAPACIDAD DE CORRIENTE DE INTERRUPCION, CAPACIDAD DE AISLAMIENTO AL IMPULSO DE VOLTAJE Y CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE RESTAURADORES EN ACEITE.

NO. DE LINEA	VOLTAJE NOMINAL DEL SISTEMA KV RMS	CAPACIDAD DE VOLTAJE MAXIMO KV RMS	CAPACIDAD AL IMPULSO DE VOLTAJE KV CRESTA	PRUEBA DEL NIVEL DE AISLAMIENTO AL IMPULSO EN BAJA FRECUENCIA KV RMS		CAPACIDADES DE CORRIENTE AMPS		FUNCIONAMIENTO DE UNA OPERACION STANDARD						NUMERO TOTAL DE OPERACIONES UNITARIAS
				1 MINUTO SECO	10 SEGUNDOS HUMEDO	PERMANENTE 60HZ	INTERRUPCION SIMETRICA A VOLTAJE MAXIMO	PORCIENTO DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA						
								15-20		45-55		90-100		
				MINIMO X/R	NUMERO DE OPERACIONES UN.	MINIMO X/R	NUMERO DE OPERACIONES UN.	MINIMO X/R	NUMERO DE OPERACIONES UN.					
(COL 1)	(COL 2)	(COL 3)	(COL 4)	(COL 5)	(COL 6)	(COL 7)	(COL 8)	(COL 9)	(COL 10)	(COL 11)	(COL 12)	(COL 13)	(COL 14)	(COL 15)
RESTAURADOR MONOFASICO														
1	14.4	15.0	95	35	30	50	1250	2	40	4	40	8	20	100
2	14.4	15.5	110	50	45	100	2000	2	32	5	24	10	12	68
3	14.4	15.5	110	50	45	280	4000	3	22	6	20	12	12	64
4	14.4	15.5	110	50	45	560	8000	5	18	7	20	14	10	58
5	24.9	27.0	150	60	50	100	2500	2	32	5	24	12	12	68
6	24.9	27.0	150	60	50	280	4000	3	22	6	20	13	12	64
7	34.5	38.0	150	70	60	560	8000	4	18	8	20	15	10	58
RESTAURADOR TRIFASICO														
8	14.4	15.0	95	35	30	50	1250	2	40	4	40	8	20	100
9	14.4	15.5	110	50	45	100	2000	2	32	5	24	10	12	68
10	14.4	15.5	110	50	45	280	4000	3	22	6	20	12	12	64
11	14.4	15.5	110	50	45	560	8000	5	18	7	20	14	10	58
12	14.4	15.5	110	50	45	560	16000	4	18	8	20	14	10	58
13	14.4	15.5	110	50	45	1120	16000	4	18	8	20	14	10	58
14	24.9	27.0	150	60	50	100	2800	2	32	5	24	12	12	68
15	24.9	27.0	150	60	50	280	4000	3	22	6	20	13	12	64
16	24.9	27.0	150	60	50	560	8000	4	18	8	20	15	10	58
17	24.9	27.0	150	60	50	560	12000	4	18	8	20	15	10	58
20	34.5	38.0	150	70	60	400	6000	4	18	8	20	15	10	58
21	34.5	38.0	200	80	70	560	12000	4	18	8	20	15	10	58
22	34.5	38.0	200	80	70	1120	12000	4	18	8	20	15	10	58
23	48.0	48.3	280	105	95	560	10000	4	18	8	20	15	10	58
24	69.0	72.5	350	160	140	560	8000	4	18	8	20	15	10	58

TABLA 4.2

CAPACIDADES DE CORRIENTE PERMANENTE Y CORRIENTE DE INTERRUPCION DE RESTAURADORES EN ACEITE.

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE INTERRUPCION EN AMPERES A VOLTAJE MAXIMO NOMINAL														
CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMANENTE AMPERES	RESTAURADOR MONOFASICO CON BOBINA SERIE							RESTAURADOR TRIFASICO CON BOBINA SERIE						
	1	2	RESTAURADOR EN LINEA NO.			6	7	8	9	RESTAURADOR EN LINEA NO.			18	20
			3	4	5					10	11	12-17		
			VOLTAJE MAX. NOMINAL, KV							VOLTAJE MAX. NOMINAL, KV				
	15.0	15.5	15.5	15.5	27.0	27.0	38.0	15.0	15.5	15.5	15.5	15/27	27.0	34.0
5	125	200			200			125	200				200	
10	250	400			400			250	400				400	
15	375	600			600			375	600				600	
25	625	1000	1500		1000			625	1000	1500	1500		1000	1500
35	875	1400	2100		1400			875	1400	2100	2100		1400	2100
50	1250	2000	3000		2000	3000		1250	2000	3000	3000		2000	3000
70		2000	4000		2500	4000			2000	4000	4000		2500	4200
100		2000	4000	6000	2500	4000	6000		2000	4000	4000	6000	2500	6000
140			4000	8000		4000	8000			4000	4000	8000		6000
200			4000	8000		4000	8000			4000	4000	8000		6000
280			4000	8000		4000	8000			4000	4000	8000		6000
400				8000			8000				4000	8000		6000
550				8000			8000				4000	8000		6000
RESTAURADOR TRIFASICO CON BOBINA NO SERIE														
MINIMO DISPARO	11	12	13	14	15	RESTAURADOR EN LINEA NO.			20	21	22	23	24	
						17	18	19						
							VOLTAJE MAX. NOMINAL, KV.							
	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	27.0	27.0	27.0	38.0	38.0	38.0	48.3	72.5	
100	3000								3000	3000		3000	3000	
140	4000								4200	4200		4200	4200	
200	4000	6000	6000	6000		6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	
280	4000	8000	8400	8400		8000	8000	8400	6000	6000	6000	8400	8000	
400	4000	8000	12000	12000	12000	8000	8000	12000	6000	12000	12000	10000	8000	
550	4000	8000	16000	16000	16000	8000	8000	12000	6000	12000	12000	10000	8000	
800	4000	8000	16000	16000	16000	8000	8000	12000	6000	12000	12000	10000	8000	
1120		8000	16000	16000	16000	8000	8000	12000		12000	12000	10000	8000	
1600					16000						12000	10000	8000	
2240					16000						12000	10000	8000	

Frecuencia.- La frecuencia nominal puede ser de 60 Hertz o 50 Hertz de acuerdo con la frecuencia a que opere el sistema donde se van a instalar.

Corriente permanente.- Es la máxima corriente permanente que el restaurador es capaz de conducir. Esta capacidad está limitada, en los restauradores con bobinas en serie, por la capacidad de la bobina en serie.

Corriente mínima de disparo.- Esta capacidad se aplica únicamente a restauradores con bobina en serie; para estos restauradores la mínima corriente de disparo es de dos veces la capacidad de corriente permanente más un 10% de tolerancia.

Corriente simétrica de interrupción.- - Esta capacidad da la corriente simétrica máxima que el restaurador es capaz de interrumpir; para restauradores con devanado serie esta capacidad está basada en algunos casos en la capacidad de corriente permanente de los devanados serie. Esta limitación de la corriente de interrupción se debe, en los devanados de menor capacidad de amperaje, a las fuerzas que se desarrollan bajo condiciones de falla de alta intensidad. Sin esta limitación, sería posible que los devanados de bajo amperaje desarrollasen suficiente fuerza de apertura para dañar el mecanismo de operación del restaurador. Algunos restauradores sin devanados serie tienen sus capacidades de interrupción basadas en su ajuste mínimo de disparo; está no es una limitación mecánica como la descrita anterior

mente, sino una limitación debida a la cantidad de energía que puede ser alimentada a los controles electrónicos durante la falla. Existen accesos para salvar esta limitación de los restauradores no serie, para hacer su máxima capacidad de corriente independiente de la mínima corriente de disparo.

Corriente de conexión.- Este valor es el mismo que el dado por la capacidad de interrupción de corriente simétrica e incluye la posible asimetría.

Nivel de aislamiento al impulso (BIL).- Este valor indica que el aislamiento es capaz de soportar la aplicación de un impulso de voltaje con una forma de onda de 1.2×50 microsegundos y un valor de cresta especificado.

Ciclo normalizado de operación.- Aunque no es una capacidad nominal, es una característica de comportamiento; establece la capacidad para interrumpir un número relativamente grande de fallas consecutivas a tres valores diferentes de capacidad interruptiva de corriente, expresada en por ciento y para una mínima relación X/R del circuito. Para la prueba de ciclo de operación, el restaurador se ajusta para que de un número máximo posible de operaciones unitarias (figura 4.3) antes de la apertura final, con los intervalos mínimos de recierre con que el restaurador está diseñado; además, deberá soportar lo menos un disparo rápido seguido de una operación de disparo retardada a un valor no menor que la capacidad interruptiva de corriente.

Intervalo de recierre.- Se define como el tiempo desde el momento de la interrupción de la corriente de falla hasta que recierran los contactos del restaurador principal (figura 4.3). Este tiempo es independiente de la magnitud de la corriente de falla.

Tiempo de restablecimiento.- Se define como el tiempo requerido por el mecanismo de control del restaurador para regresar de alguna posición intermedia de su secuencia de operación a su posición inicial.

FACTORES DE APLICACION

La correcta aplicación de los restauradores en la protección de sistemas de distribución requiere de la consideración y selección de las siguientes capacidades nominales y características de los restauradores.

Capacidad nominal de voltaje y nivel básico de aislamiento.- Las capacidades nominales de voltaje para restauradores deben ser mayores o iguales al máximo voltaje anticipado, línea a línea o línea a neutro, según sea el caso. Teniendo en cuenta además que los requerimientos del nivel básico de aislamiento sean satisfechos.

Capacidad nominal de corriente permanente.- Debe ser mayor o igual a la corriente de carga en horas pico que puede circular a través del restaurador.

Deberá dejarse una tolerancia por anticipado para el crecimiento de carga, posible transferencia de carga y efectos de conexión de carga en frío. Es usual considerar una corriente de disparo mínima de 2.5 a 3 veces la corriente de carga máxima.

Capacidad de corriente de interrupción.-

Debe ser mayor que la máxima corriente de falla simétrica esperada en el punto de aplicación del restaurador; debe considerarse una tolerancia para un incremento futuro en la corriente de falla del sistema.

Corriente mínima de disparo.- Debe seleccionarse menor que la corriente de falla mínima esperada al final de la zona de protección del restaurador; para los restauradores con devanado serie es automáticamente determinada por la selección de capacidad de corriente permanente.

Para restauradores con devanado no serie, puede ser seleccionado un nivel inferior de la corriente mínima de disparo, multiplicando el pico de corriente de carga esperado por un factor que va desde 2.5 hasta 3.

Características de operación tiempo-corriente.- Deben seleccionarse de tal manera que se coordinen con los dispositivos protectores de línea arriba y línea abajo.

La figura 4.4 muestra las características de libramiento tiempo-corriente típicas para restauradores con devanado serie; las figuras 4.5 y 4.6 muestran las características de respuesta y libramiento tiempo-corriente para restauradores con devanado no serie. Las curvas de respuesta indican la cantidad de tiempo a partir de la iniciación de la corriente de falla que transcurre hasta que el circuito de disparo del restaurador es activado. Las curvas de libramiento se componen del tiempo de respuesta más el tiempo de interrupción.

Secuencias de operación.- Se escogen sobre la base de proporcionar protección contra fallas temporales y de coordinación con otros dispositivos de protección. Las secuencias típicas así como sus características se pueden observar en la tabla 4.3.

Tiempos de intervalo de recierre.- Cuando es seleccionable, puede ser escogido sobre la base de auxiliar en la coordinación con otros dispositivos de protección y limitar el tiempo muerto del circuito. En la práctica, el tiempo deberá ser suficientemente largo para permitir la desionización de cualquier trayectoria del arco.

En términos generales los intervalos llamados instantáneos son del orden de 0.5 segundos. Los intervalos instantáneos y de 2 segundos se utilizan después de operaciones de disparo rápido y tiempos más largos (5-10 segundos) para después de la operación de disparo retardado. En

FIG. 4.4 CARACTERISTICAS DE LIBRAMIENTO DE UN RESTAURADOR TIPICO CON BOBINA SERIE.

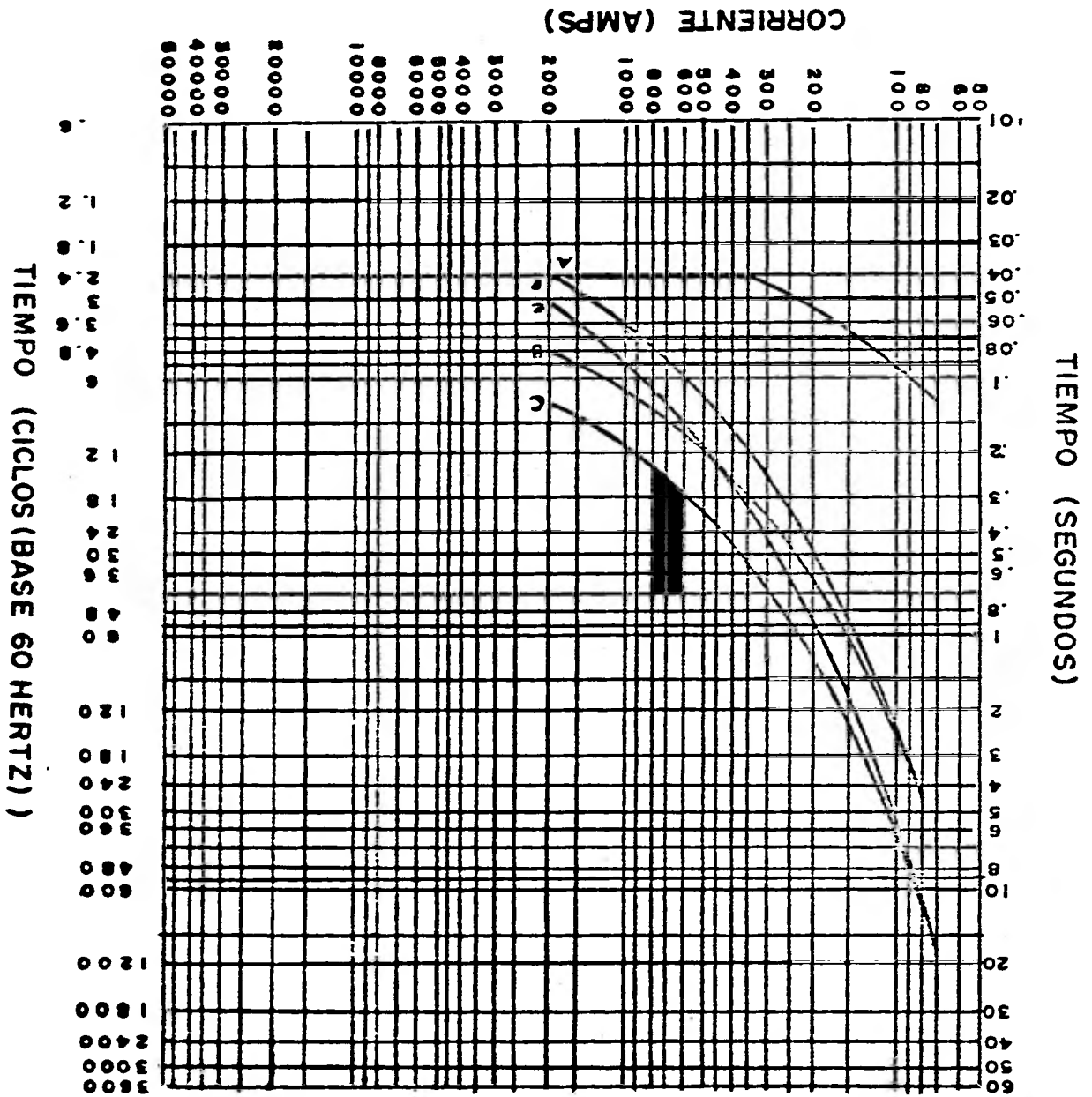


FIG. 4.5 CARACTERISTICA DE RESPUESTA DE UN RESTAURADOR TIPICO CON BOBINA NO SERIE.

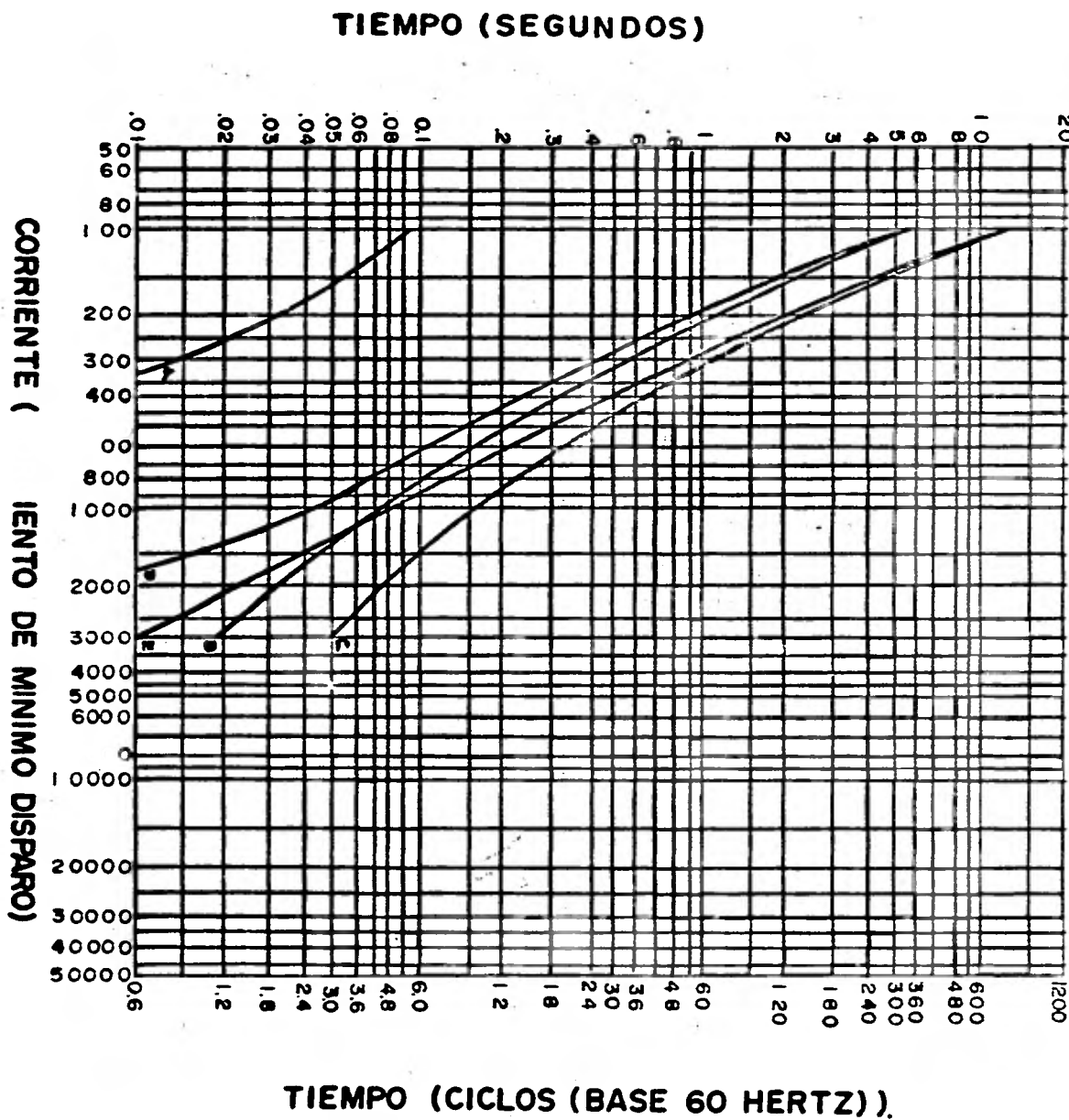
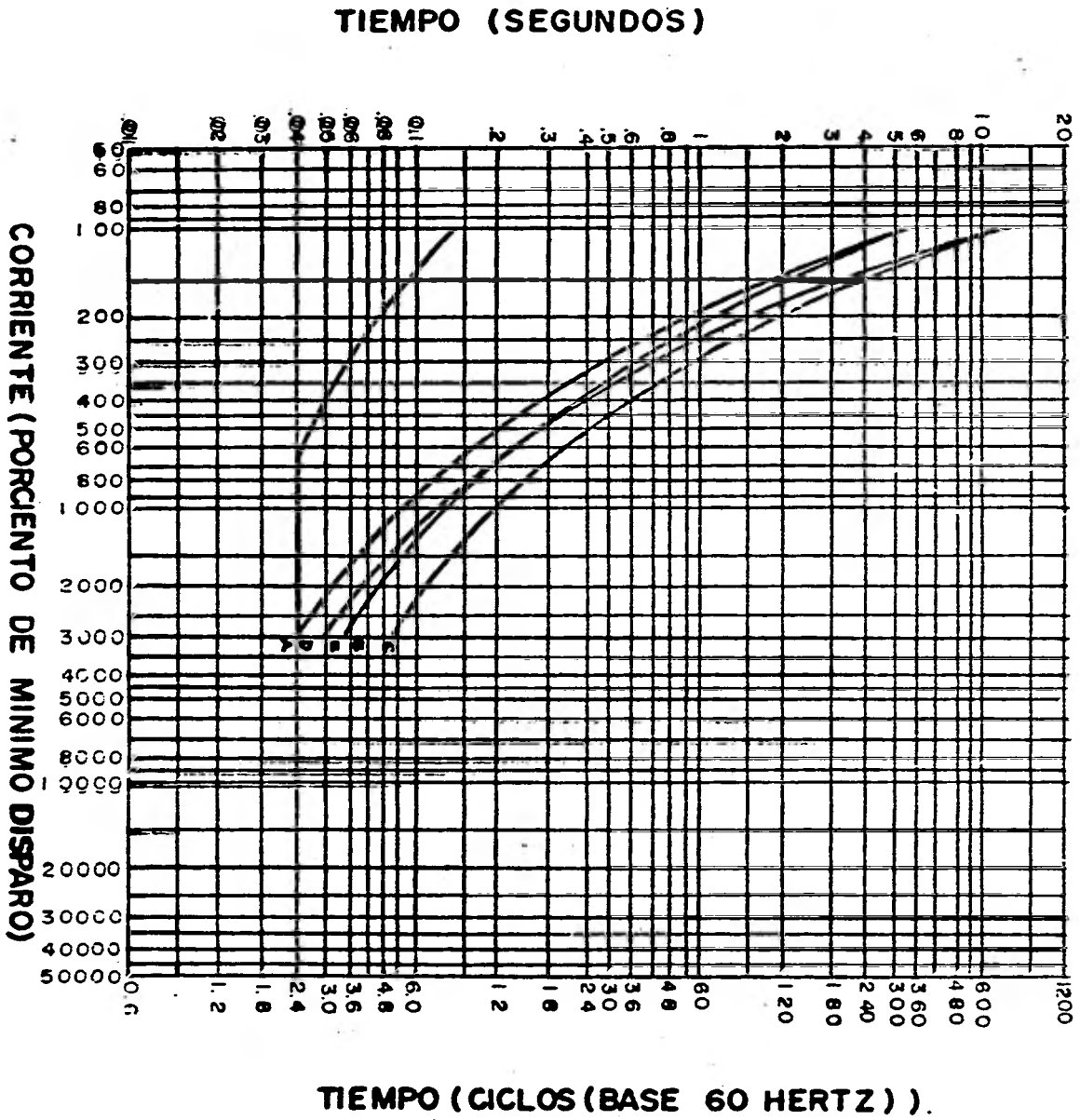


FIG. 4.6 CARACTERISTICAS DE LIBRAMIENTO DE UN RESTAURADOR TIPICO CON BOBINA NO SERIE.



TIEMPO (CICLOS (BASE 60 HERTZ)).

TABLA No. 4.3.
MERITOS RELATIVOS DE LAS SECUENCIAS DE VARIOS RESTAURADORES.

SECUENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMENTARIOS
2A 2B (dos rápidos/ dos retardados)	Excelente para la coordinación con listones fusible.		Es el más ampliamente aplicado libra 90% de las fallas durante las operaciones rápidas, 5% durante la tercera operación cuando protege el libramiento por fusible y 5% para apertura final en fallas permanentes.
	Excelente para coordinar con relevadores para interruptor en aceite de respaldo.		
	Bueno para coordinar con seccionadores.		
		Posibilidad de operación limitada en cascada.	Puede ocurrir una operación limitada en cascada cuando dos restauradores de parecido tamaño son coordinados en serie y c/u es ajustado para una operación de 2 rápidos/2 retardados.
		Deficiente para la coordinación en serie de restaurador/seccionador/listón fusible.	El seccionador contará el libramiento del fusible como la tercera operación.
2A 2C (dos rápidos/ dos retardados).	Más amplio rango de coordinación con listón fusible - que el posible con la secuencia 2A2B.		La curva del fusible y la curva \underline{C} del restaurador se intersectan a un valor de corriente más bajo, igual al valor máximo en la curva \underline{A} .

Continuación Tabla No. 4.3.

SECUENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMENTARIOS
		Posibilidad de operación limitada en cascada.	Puede ocurrir una operación limitada en cascada cuando dos restauradores de parecido tamaño son coordinados en serie y c/u es ajustado para una operación de 2 rápidos/2 retardados.
		Tiempo de operación total más grande que la secuencia 2A2B.	El relevador del interruptor en aceite debe ajustarse a un valor más alto.
2A2D (dos rápidos/ dos retardados).	Excelente para coordinar con listones fusible.		El mismo retardo de tiempo a baja corriente final pero más rápido para alta corriente final.
			Tiempo total menor que la secuencia 2A2B.
		Posibilidad de operación limitada en cascada.	Puede ocurrir una operación limitada en cascada cuando dos restauradores de parecido tamaño son coordinados en serie y c/u es ajustado para una operación de 2 rápidos/2 retardados.
1A3B 1A3C 1A3D (Un rápido/ 3 retardados).	Excelente para coordinación en serie de restaurador/seccionador/listones fusible.		Fusión del fusible y libramiento en la primera operación de tiempo retardado. El seccionador ajustado para una cuenta de 3 permanece cerrado.
		Incremento del libramiento del listón fusible.	Fusión del fusible y libramiento en la primera operación de tiempo retardado. El restaurador libera el 80% de fallas durante la operación rápida.

SECUENCIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMENTARIOS
		Tiempo total de operación más grande que una secuencia de 2 rápidos/2 retardados.	Posible daño de arco menor que durante la operación B04.
A40 (cuatro rápidos).	Adecuado para la coordinación con relevador de respaldo para interruptor en aceite.		Mucho más rápido que relevadores para interruptor.
	Tiempo de libramiento rápido para todas las fallas.		Máxima protección contra daños arco.
		No es posible la coordinación con listón fusible.	El listón fusible no tendría un tiempo adecuado para fundirse durante todas las operaciones rápidas, pero puede fundir por calor acumulado.
B04 C04 D04 (cuatro lentas).	Adecuado para coordinación de restaurador/restaurador en serie.		Para uso cuando el restaurador de protección usa secuencias rápidas.
	Previene operación limitada en cascada.		No existe curva rápida que cause operación limitada en cascada.
		No es posible la coordinación con listón fusible.	El fusible se funde y libera durante la primera operación del restaurador.
		Tpo. total de operación más grande que la secuencia 2A 2B.	El relevador del interruptor en aceite tiene que ser ajustado más alto que para la secuencia 2A2C.
			Posible daño de arco al sistema.

los restauradores con bobinas en serie el intervalo de tiempo generalmente no es seleccionable y se encuentra en el rango de 1 a 2 segundos.

Tiempo de restablecimiento.- Generalmente es seleccionable para restauradores sin bobinas en serie y no lo es para restauradores con bobina en serie. Cuando se puede seleccionar el tiempo, éste puede ajustarse a partir de la primera interrupción por falla o a partir del recierre con éxito. Si el tiempo se ajusta tomando como base la primera interrupción por falla, el tiempo de restablecimiento deberá ser mayor que la suma de todos los tiempos de intervalo de recierre más la suma de los tiempos de libramiento más largos para todas las características de las curvas de operación, con una cierta tolerancia. Tomando como base el recierre con éxito, el restaurador es cerrado con una corriente menor a la mínima de disparo y el tiempo de restablecimiento puede ser bastante corto, del orden de 5 a 10 segundos. La única limitación en este caso es que el tiempo de recierre deberá ser mayor que el intervalo de recierre más largo de cualquier dispositivo de protección línea arriba o línea abajo con el cual el restaurador podría disparar simultáneamente.

SELECCION DE FASE

La aplicación de un restaurador trifásico o tres restauradores monofásicos para la protección de un circuito trifásico, depende mucho del tipo de conexión de las cargas que se van a proteger. La tabla 4.4 indica las ventajas relati

vas de aplicación de varios restauradores a sistemas, teniendo los transformadores diferentes conexiones.

TABLA No. 4.4

Méritos relativos en la aplicación de restauradores monofásicos y trifásicos en sistemas trifásicos. Localización de la falla.

Conexión de los devanados.	Tipo de falla.	Consideraciones	3 restauradores 1ϕ no interconectados.	Un restaurador 3ϕ	
				Disparo 1ϕ con apertura final 3ϕ .	Disparo y apertura final 3ϕ
Y - Δ Con neutro no aterrizado	Línea a tierra.	Continuidad de servicio	2 fases no afectadas permanecen en servicio.	Todas las fases se interrumpen excepto en fallas transitorias.	Todas las fases disparan y se enganchan simultáneamente.
		Carga monofásica	El servicio 1ϕ es suministrado al secundario con una fase fuera.	El servicio 1ϕ no es posible después de la interrupción.	No es posible el servicio 1ϕ .
		Corriente de realimentación.	Interrumpida la fase y neutro. - Alguna realimentación a través de los capacitores de los devanados con posibilidades de un voltaje peligroso.	Todas las fases se abren con lo que se quita el potencial y los peligros.	No hay peligros porque la posibilidad de realimentación capacitiva está eliminada.
		Que los transformadores de distribución se quemem.	Poco probable porque la corriente de realimentación a través de los capacitores será pequeña.	No es posible	No es posible. Tampoco pueden ocurrir sobrevoltajes resonantes que dañen los transformadores.
	Línea a línea.	Continuidad de servicio	2 fases desconectadas, todo el servicio sale fuera.	3 fases desconectadas.	Todas las fases disparadas y desconectadas al mismo tiempo.

Continuación Tabla No. 4.4

		Carga I_0	Ninguna, por posible inducción debida a inductancia - capacitancia en serie.	No es posible.	No es posible.
		Corriente de realimentación.	Una fase energizada con posible sobrevoltaje resonante.	No hay peligro después de la desconexión.	No ha peligro.
	Trifásica.		Las fallas trifásicas en sistemas estrella-delta causan que los restauradores interrumpen en todas las fases aproximadamente al mismo tiempo bajo condiciones normales. Sin embargo existe una posibilidad de que las corrientes de la línea trifásica sean desbalanceadas, lo cual puede causar que 2 fases sean libradas antes de que la fase restante sea disparejada. En este caso los restauradores monofásicos actuarán como se describió para las condiciones de falla línea a línea y los restauradores trifásicos sacarán todas las fases como con fallas de fase a fase.		
Y - Δ	Línea a tierra.	Continuidad de servicio	Las 2 fases no dañadas permanecen en servicio; sin embargo la fase con falla puede salirse aún en fallas transitorias, por lo posible realimentación a la sección fallada por parte del secundario delta. Ver nota 1.	Todas las fases son desconectadas posiblemente también en fallas transitorias - por que las corrientes de realimentación mantienen un arco. Ver nota 1.	Todas las fases son desconectadas. No hay posibilidades de realimentación - que cause desconexión con fallas transitorias.
		Carga monofásica.	No es posible el servicio I_0 .	No es posible el servicio I_0	No es posible el servicio I_0 .
		Corriente de realimentación	La corriente de realimentación y el voltaje inducido por el secundario son un peligro cuando una fase está fuera.	La realimentación posible y resultante peligrosa se eliminan al sacar las 3 fases.	No hay peligro porque las posibilidades de realimentación se eliminan.

Con neutro aterrizado.		Que los transformadores de distribución se quemaron.	El peligro existe porque la corriente de realimentación a través de la fase interrumpida y el neutro puede ser muy alta. Ver nota 1.	Después de abrir las 3 fases la realimentación no puede fluir. El peligro al transformador se reduce.	No hay posibilidad de que la realimentación dañe los transformadores.
	Línea a Línea.	Continuidad del servicio.	2 fases son desconectadas. Servicio \emptyset a la carga.	Las 3 fases son desconectadas.	Todas las fases desconectadas y disparadas simultáneamente.
		Carga \emptyset .	Servicio \emptyset después de desconectar 2 fases.	Después de abrir las 3 fases no puede haber servicio monofásico.	No es posible el servicio \emptyset
		Corriente de realimentación	Una fase energizada a tierra después de desconectar 2 fases.	No hay peligro después de la desconexión.	No hay peligro.
	Trifásica.	Ver fallas trifásicas.	trifásica con estrella-delta con neutro no aterrizado.		
$\Delta-\Delta$	Línea a Línea.	Continuidad del servicio.	2 fases son abiertas; el servicio es interrumpido en las 3 fases.	Todas las fases son abiertas, el servicio suspendido.	Servicio suspendido.
		Carga monofásica.	No es posible servicio monofásico cuando 2 fases son abiertas. Ver nota 2.	Todas las fases son abiertas con 2 fases interrumpidas en un transitorio.	No es posible.

Continuación de la Tabla 4.4.

	Corriente de realimentación	2 fases interrumpidas, permanece una fase energizada a tierra a través de las capacitancias solamente; no hay peligro.	No hay peligro con todas las fases abiertas.	Peligro eliminado.
	Que los transformadores de distribución se quemem.	No es posible.	No es posible.	No es posible.
Trifásica.	Continuidad de servicio. Carga monofásica. Corriente de realimentación	Todas las fases son desconectadas. No es posible. No hay peligro cuando las 3 fases están desconectadas. Ver nota 3.	Todas las fases interrumpidas. No es posible. No hay peligro después de la interrupción.	Todas las fases interrumpidas. No es posible. No hay peligro.

NOTA 1.- Existe corriente de realimentación a una falla monofásica a tierra cuando el secundario delta, energizado por el primario en 2 fases, induce un voltaje en el primario abierto en la fase restante. Este voltaje es aplicado a la falla después que el restaurador en esa fase abre, con el resultado de que la corriente puede fluir a través de la falla al neutro, completando el circuito. Si la falla es un arco a tierra, la corriente de realimentación puede ser suficiente para mantener el arco. Entonces, cuando los contactos del restaurador cierran después de interrumpir, la falla continuará presente. Esto causa aperturas innecesarias debido a las que ordinariamente serían fallas transitorias.

Si el restaurador es del tipo que abre las 3 fases simultáneamente, la energía del arco es removida y éste librado. La proporción de fallas de fase a tierra temporales y permanentes varía en diferentes sistemas. La relación promedio es alrededor de 9 fallas temporales por una permanente. Así en la mayoría de los casos una gran mejoría de la continuidad de servicio puede ser obtenido en sistemas estrella-delta aterrizado con el uso de restauradores que interrumpen las 3 fases simultáneamente.

NOTA 2.- Debido a que 2 restauradores detectan corriente durante una falla línea a línea, ambos restauradores abrirán aproximadamente al mismo tiempo. Este es el caso más general, pero el servicio monofásico podría ser alimentado cuando se usan restauradores monofásicos y uno libera la falla antes de que el otro dispare.

NOTA 3.- Todos los restauradores normalmente abren simultáneamente en una falla trifásica. Sin embargo, podrían abrir 2 restauradores antes que el tercero dispare, y una línea permanecería energizada, con un posible peligro por las corrientes capacitivas.

CAPITULO V

SECCIONADORES AUTOMATICOS

Los seccionadores automáticos son dispositivos autocontenidos con circuito de apertura -- controlado automáticamente, los cuales aislan un tramo con falla de un alimentador de distribución después de que el circuito ha sido desenergizado -- por un dispositivo de protección como un restaurador o un interruptor.

Los seccionadores, en esencia, detectan las sobrecorrientes y registran cuando ocurre una interrupción por falla; el dispositivo abrirá cuando un número predeterminado de operaciones ha sido registrado. En otras palabras, un seccionador es -- un dispositivo de protección que trabajando con -- un dispositivo de respaldo aísla las secciones de línea con falla de un sistema de distribución. El seccionador cuenta las operaciones con sobrecorriente del dispositivo de respaldo; después de -- un número predeterminado de operaciones de interrupción por corriente de falla y mientras el dispositivo de respaldo está abierto, el seccionador abre la sección con falla; esto permite a los dispositivos del lado de la fuente recerrar restituyendo el servicio a las secciones de línea no dañadas.

Los seccionadores, a diferencia de la mayoría de los dispositivos de protección en sistemas de distribución, no tienen características tiempo-corriente, por lo tanto son usados comun --

mente entre 2 dispositivos de protección que tengan curvas de operación que estén muy próximas (casi iguales) o sea donde un paso adicional de coordinación no es práctico; los seccionadores son también comunmente empleados en la conexión de ramales, donde las altas corrientes de falla disponibles impiden la coordinación con fusibles.

Tipos de Seccionadores:

Pueden ser clasificados por su aislamiento y medio de interrupción o por su medio de control; sin embargo en la práctica existen cuatro variedades definidas de seccionadores:

- a) Hidráulicos
- b) Electrónicos
- c) Tipo seco
- d) En vacío.

Seccionadores Hidráulicos.- La interrupción de corriente de carga y la desconexión se logra por las propiedades dieléctricas del aceite de manera similar a un interruptor en aceite convencional; la temporización, conteo y control se logran hidráulicamente. El control es operado por medio de una bobina conectada en serie, sumergida en aceite.

Seccionador tipo seco.- El aislamiento es proporcionado mediante la distancia en el aire; la interrupción de corriente de carga puede ser lograda a través del uso de un extinguidor de arco constituido por una cuchilla que cae. El seccionador es activado por una bobina serie tipo se

co. El mecanismo de conteo es mecánico y la temporización se logra a través del uso de goma de silicón.

Seccionadores en Vacío.- Se emplea el aire como aislante y el vacío para la interrupción de corriente de carga. El seccionador es activado por la pérdida de voltaje y utiliza temporizadores para llevar a cabo sus funciones de control de disparo, de aire y de apertura final.

Seccionadores Electrónicos.- Externamente en apariencia son similares a los seccionadores trifásicos hidráulicos o a interruptores en aceite, con la excepción de que se monta un control electrónico sobre el seccionador o se localiza remotamente y se conecta por medio de un cable de control. El aislamiento y la interrupción de la corriente de carga tienen lugar dentro del aceite. El mecanismo de control es activado por medio del uso de transformadores de corriente. La temporización, el recierre, el conteo y otras operaciones de control se ejecutan por medio del uso de circuitos electrónicos.

Teoría de Operación.-

Los seccionadores hidráulicos, electrónicos y tipo seco tienen una teoría de operación similar. La figura 5.1 ilustra una falla línea abajo de un seccionador. Cuando circula una corriente a través del seccionador, cuya magnitud es superior al nivel mínimo de corriente actuante, el seccionador se prepara para contar. Esto es, -

el núcleo de la bobina serie es jalado hacia abajo en los seccionadores hidráulicos ó tipo seco - o bien un dispositivo electrónico es energizado - en los seccionadores electrónicos.

Esta sobrecorriente es causada generalmente por una falla, pero el seccionador puede -- también prepararse para el conteo durante una con dición debida a una corriente de excitación. El - conteo se completa cuando la corriente a través - del seccionador cae por debajo de un valor de sol tado típicamente del 40% de la mínima corriente - actuante de los seccionadores. Idealmente el con- teo se completa cuando el dispositivo del lado de la fuente interrumpe la corriente de falla, que - actuó el seccionador. El seccionador también pue- de completar un conteo cuando la corriente de ex- citación decae a un valor inferior al valor de - soltado; ó puede completar su conteo cuando un - dispositivo línea abajo interrumpe la corriente - de falla; si la corriente de carga remanente a - través del seccionador es menor del valor de sol- tado, después de un intervalo de recierre, el dis positivo interruptor de falla se restaurará. Si - la falla fue temporal, no deberá resultar una so- brecorriente y ambos dispositivos se restaurarán. Si la falla fue permanente, la sobrecorriente se se restablecerá y el proceso se repetirá. Después de que un número prestablecido de conteos han sido - registrados por el seccionador, éste abrirá duran te el intervalo de recierre de el dispositivo in- terruptor de falla, aislando la sección fallada - de la línea. El interruptor de falla entonces ce- rrará y restaurará el servicio a las secciones de

línea que no están bajo falla del lado de la fuente con respecto del seccionador.

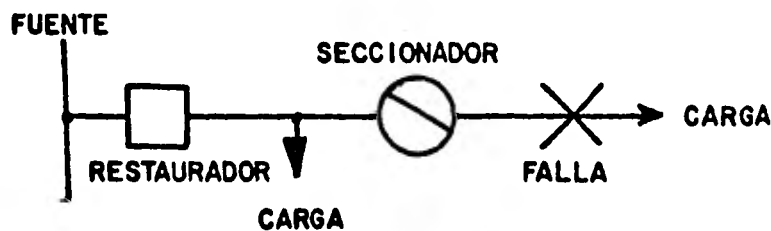


FIG. 5.1

Definición de Términos del Seccionador.- Los seccionadores automáticos tienen una serie de términos propios para definir su operación.

Corriente mínima actuante.- Es la corriente mínima requerida para iniciar una operación de conteo. Una corriente a través del seccionador mayor que el mínimo nivel de corriente actuante causaría que este se prepare para el conteo. Los seccionadores tipo seco e hidráulicos accionan con el 160% de la capacidad de corriente de su bobina serie; las corrientes actuantes del seccionador electrónico se ajustan independientemente de la capacidad de corriente permanente del seccionador.

Operación de conteo.- Es cada avance del mecanismo de conteo hacia una operación de apertura final.

Conteos para disparo.- Es el número de conteos que realizará el seccionador antes de abrir sus contactos y aislar el circuito. La mayoría de los seccionadores pueden ser ajustados a 1, 2 ó 3 conteos para disparar.

Tiempo de memoria.- Es el período de tiempo durante el cual el seccionador retendrá un conteo. El tiempo de memoria es usualmente especificado como un valor mínimo.

Tiempo de restablecimiento.- Es el tiempo requerido después de una o más operaciones de conteo para que el mecanismo de conteo retorne a su posición inicial de una nueva operación de conteo.

Capacidades de los seccionadores.- La tabla 5.1. muestra la lista de valores normalizados de voltaje máximo, nivel de voltaje de aislamiento al impulso, corriente permanente y capacidad de interrupción de corriente para seccionadores de línea. Estas capacidades son similares a las capacidades dadas a otros dispositivos de distribución.

La tabla 5.2. muestra la lista de valores de corriente permanente, corriente actuante mínima y momentánea y capacidad de corriente de corto tiempo. Los seccionadores deben ser capaces

de cerrar contra corrientes de falla, asegurándose y conduciendo la corriente de falla sin daño térmico ó daño mecánico hasta que un dispositivo de respaldo libre la falla.

TABLA 5.1

IDENTIFICACION		VOLTAJE NOMINAL MAXIMO KV RMS (3)	IMPULSO DE VOLTAJE K V (VALOR DE CRESTA) (4)	NIVEL DE AISLAMIENTO A BAJA FRECUENCIA		60 HZ. NIVELES DE CORRIENTE (A)	
LINEA No. (1)	VOLTAJE NOMINAL KV RMS (2)			KV RMS.	1 MIN. SECO (5)	10 SEG. HUMEDO (6)	PERMANENTE (7)
MONOFASICOS							
1	14.4	18.0	95	35	30	200	440
2	14.4	15.0	125	42	36	200	200
3	14.4	18.0	125	42	36	200	440
4	24.9	27.0	125	60	50	200	...
TRIFASICOS							
5	14.4	15.5	110	80	48	200	440
6	14.4	15.5	110	50	45	400	880
7	14.4	15.5	110	50	45	600	1320
8	34.5	38.0	150	70	60	400	880

CARACTERISTICAS DE SECCIONADORES AUTOMATICOS DE LINEA.

TABLA 5.2

		CORRIENTE NOMINAL EN AMPERS								
		SECCIONADORES LINEA. 1y3 (MONOFASICO)			SECCIONADORES LINEA. 2y4 (MONOFASICOS) LINEA. 5 (TRIFASICOS)			SECCIONADORES LINEA. 6,7y8 (TRIFASICOS)		
PERMANENTE. 60 HZ	CORRIENTE MINIMA ACTUANTE RMS ASIMETRICA	RMS MOMENTANEA	1 SEG RMS	10 SEG RMS	RMS MOMENTANEA	1 SEG RMS	10 SEG RMS	RMS MOMENTANEA	1 SEG RMS	10 SEG RMS
		ASIMETRICA	SIMETRICA	SIMETRICA	ASIMETRICA	SIMETRICA	SIMETRICA	ASIMETRICA	SIMETRICA	SIMETRICA
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
10	16	1600	400	125	1600	400	125			
15	24	2400	600	140	2400	600	190			
25	40	4000	1000	325	4000	1000	325			
35	56	6000	1500	450	6000	1500	450			
50	80	6500	2000	650	7000	2000	650			
70	112	6500	3000	900	8000	3000	900			
100	160	6500	4000	1250	8000	4000	1250			
140	274	6500	4000	1800	8000	4000	1800			
200	320	6500	4000	2500	8000	5700	2600			
400	—							15 000	10 000	3 500
600	—							15 000	10 000	3 500

Capacidad de corriente permanente.- (Columna 7, tabla 5.1.). Es la corriente máxima que el seccionador puede conducir sin que se exceda la elevación de temperatura establecida del punto caliente. Como en los restauradores, esta capacidad queda generalmente determinada por el tamaño del armazón de los seccionadores con bobina serie, puesto que la capacidad de corriente permanente de un seccionador está en función de las limitaciones térmicas de la bobina serie.

Corriente de interrupción simétrica.- (Interrupción de carga) (Columna 8 tabla 5.1.). La mayoría de los seccionadores tienen una capacidad de interrupción de carga, la cual les permite el doble propósito de servir como un dispositivo seccionador automático y como un conmutador de interrupción de carga operado manualmente o por motor; además, esta capacidad de interrupción de carga evita una eventual falla en caso de que el seccionador deba abrir sus contactos bajo carga, debido a registros de corriente de excitación o interrupciones por corriente de falla de dispositivos colocados línea abajo.

Corriente momentánea y de conexión:- Es la corriente máxima asimétrica contra la cual se requiere que pueda cerrar el seccionador y permanezca cerrado hasta que un dispositivo interruptor libre la falla.

En seccionadores con bobinas en serie, ésta capacidad es dependiente de las propias bobinas serie, mientras que en los seccionadores sin bobinas en serie, la capacidad de corriente momen

tánea y de conexión es independiente del ajuste - de la mínima corriente actuante.

Capacidades de corto tiempo de: 1 seg.- y 10 seg:- Esta capacidad es una medida de la capacidad de los seccionadores de soportar los efectos térmicos y mecánicos impuestos por las temporizaciones repetidas por corriente de falla del - dispositivo interruptor del lado de la fuente. Para seccionadores hidráulicos y tipo seco las capacidades de corto tiempo están limitadas por las - capacidades térmicas de las bobinas serie, por lo tanto el efecto acumulativo de recierres múltiples debe ser considerado. Para seccionadores sin bobinas serie, las capacidades de corto tiempo están dictadas por las limitaciones mecánicas del - mecanismo del seccionador; por lo tanto únicamente el máximo tiempo de retraso de falla debe ser considerado.

Factores de aplicación.

Puesto que los seccionadores operan en conjunción con un dispositivo de interrupción de la falla del lado de la fuente, la selección de la capacidad adecuada para una aplicación dada dependen primordialmente de las características de los dispositivos interruptores de falla asociados.

Al seleccionar la capacidad correcta - del seccionador, deben ser considerados los siguientes factores:

- . Voltaje del sistema
- . Máxima corriente de carga
- . Máxima corriente de falla
- . Secuencia de operación y temporizaciones de corriente de falla de los otros dispositivos, tanto del lado de la fuente como de la carga.

Valor máximo de voltaje.

El valor máximo de voltaje nominal de el seccionador debera ser seleccionado para que sea más alto que el máximo voltaje entre fases del sistema en el cual el seccionador se va a aplicar.

Voltaje nominal de aislamiento al impulso.

El BIL del seccionador debe escogerse de tal manera que sea compatible con el nivel de aislamiento de otros equipos del sistema donde el seccionador será aplicado. En general este criterio será satisfecho si el valor máximo de voltaje se escoge mayor que el nivel de voltaje línea a línea del sistema.

Capacidad de corriente permanente.

La máxima capacidad de corriente permanente del seccionador deberá ser mayor que la máxima corriente de carga esperada en la localización del seccionador. Un 25-50% de margen deberá observarse para permitir futuros aumentos de carga (si la información específica no está disponible).

Otras consideraciones de capacidad.- En adición a los factores de aplicación antes mencionados uno deberá también asegurarse de que los siguientes requerimientos se cumplan.

- 1.- El seccionador deberá contar todas las interrupciones de corriente de falla del dispositivo interruptor de falla de respaldo. Este requisito se logra normalmente escogiendo que la mínima corriente actuante sea menor que el 80% de la mínima corriente de disparo del dispositivo de respaldo.
- 2.- El seccionador debe lograr su apertura final en un número menor de operaciones que el número menor de operaciones que el número total de disparos hasta la apertura final del dispositivo de respaldo interruptor de falla.
- 3.- Los seccionadores trifásicos pueden únicamente ser usados con dispositivos de interrupción trifásicos del lado de la fuente. Si los dispositivos del lado de la fuente son tres restauradores monofásicos entonces deben ser usados tres seccionadores monofásicos; esto evita que el disparo no simultáneo del dispositivo del lado de la fuente interfiera con el conteo y disparo del seccionador trifásico operado simultáneamente, lo que podría causar que el seccionador tratara de abrir bajo condiciones de falla.
- 4.- El tiempo de memoria del seccionador debe ser suficientemente grande para que el seccionador retenga a lo largo de los conteos la secuencia de disparos y recierres del interruptor de falla de respaldo. Los tiempos de memoria de seccionadores hidráulicos y tipo seco varían con la temperatura y esta variación de ser incluida en los procesos de cálculo. Esta

consideración depende del tipo y manufactura del seccionador. En general, si un seccionador con bobinas en serie se usa conjuntamente con un restaurador con bobinas en serie del lado de la fuente, el tiempo de memoria será adecuado. Si el dispositivo de respaldo es controlado electrónicamente o por relevadores, el tiempo de memoria deberá ser examinado más cuidadosamente. Para seccionadores electrónicos el tiempo de memoria se preselecciona y no varía con la temperatura.

SECUENCIA TIPICA DE UN RESTAURADOR

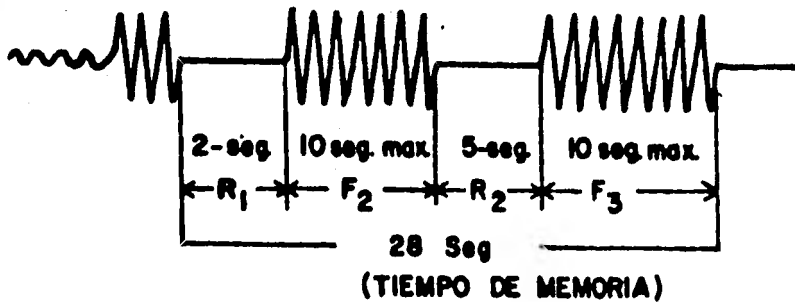
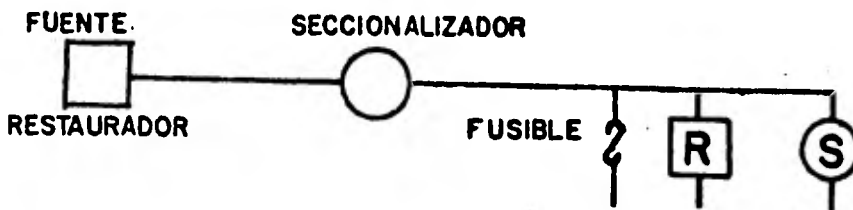


FIG. 5.2

5.- Efecto de dispositivos línea abajo.- Los fusibles, seccionadores y dispositivos interruptores de falla tienen un efecto sobre la aplicación del seccionador.

- a) Fusibles línea abajo.- Si existen fusibles línea abajo de un seccionador (figura 5.3), uno debe asegurarse de que el fusible no se funda, ya que el seccionador ha iniciado su cuenta para su apertura final. Por ejemplo si un restaurador tiene una secuencia de dos operaciones rápidas y dos retardadas, un fusible línea abajo deberá fundirse, si está coordinado adecuadamente, en la primera operación retardada del restaurador. Un seccionador interpuesto se preparará para contar por tercera vez cuando el fusible se funde, iniciará el conteo después que el fusible libre y desconectará las secciones del circuito sin falla. Para evitar esta operación inconveniente, debe usarse una secuencia de operación del restaurador de una operación rápida y tres retardada.

FIG. 5.3



EFFECTOS DE DISPOSITIVOS LINEA ABAJO, EN LA APLICACION DE SECCIONADORES.

b) Seccionadores línea abajo.- Si hay seccionadores adicionales localizados línea abajo de un seccionador, cada seccionador línea abajo deberá tener un conteo menor para que su apertura final se realice antes que la del seccionador que le precede.

c) Restauradores línea abajo.- Un seccionador no debe estar localizado entre dos dispositivos de recierre, puesto que el seccionador puede contar las operaciones de sobre corriente de cualquier dispositivo.

CAPITULO VI

COORDINACION DE DISPOSITIVOS DE PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES CONECTADOS EN SERIE

El objetivo principal de la coordinación de los dispositivos de protección contra sobrecorrientes conectados en serie, es mejorar el servicio al usuario de potencia eléctrica. La aplicación de este objetivo al sistema eléctrico de distribución, requiere un conocimiento completo del sistema y ciertos cálculos.

El punto inicial es el diagrama del circuito, el cual muestra toda la información necesaria tal como la localización de transformadores, interruptores, restauradores, seccionadores y fusibles; también usualmente muestran la localización de conductores, calibre y longitudes de los mismos, los KVA conectados y los cálculos de máxima corriente de falla disponible en el lugar de cada dispositivo de protección.

Después de determinar las capacidades nominales y limitaciones de cada dispositivo, se agrega también esta información al diagrama unifilar de circuito; este diagrama es la guía y herramienta de trabajo, el cual se desarrolla por pasos a medida que se va obteniendo la información correspondiente.

La figura 6-1 muestra un diagrama unifilar al cual se le ha incorporado la indicación de restauradores y fusibles; las líneas llenas ilustran el alimentador principal y sus ramales;

las líneas punteadas establecen las zonas de protección. Los restauradores A, B y C tienen como finalidad librar fallas temporales que ocurran dentro de su zona de protección.

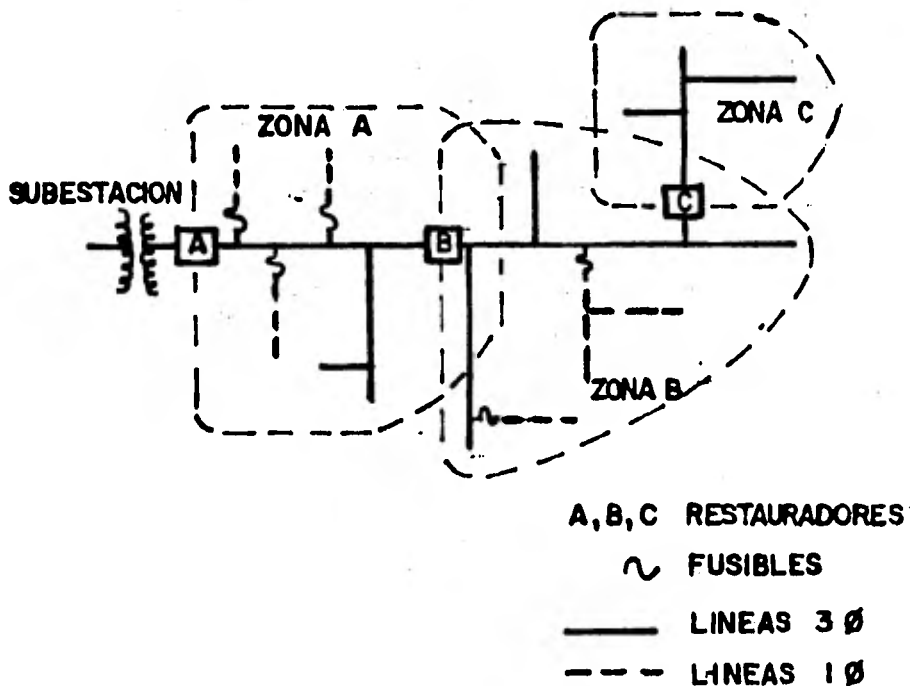


FIG. 6.1

Primeramente para el restaurador "A" - se verá que la máxima corriente de falla disponible calculada en su localización no excede su capacidad nominal; la zona de protección del restaurador "A" se extenderá hasta el punto donde la co

riente de falla disponible mínima sea igual a la de "Enganchado" (PICKUP) de la bobina del restaurador; este valor es igual a 2 veces la capacidad de la bobina más su tolerancia; en este punto debe de ser instalado otro restaurador con una bobina de valor nominal más pequeño para proteger la parte más lejana del sistema. Esto se ilustra en la fig. 6-1 por los restauradores "B y C".

COORDINACION FUSIBLE CON FUSIBLE: La mayoría de las coordinaciones fusible con fusible se logran mediante el uso de las curvas características de los propios fusibles tales como las curvas de mínimo tiempo de fusión y de libramiento total tiempo-corriente. El requisito para una coordinación fusible con fusible adecuada es que el fusible protector debe fundirse y librar el circuito antes de que el fusible protegido sea dañado (fig. 6-2).

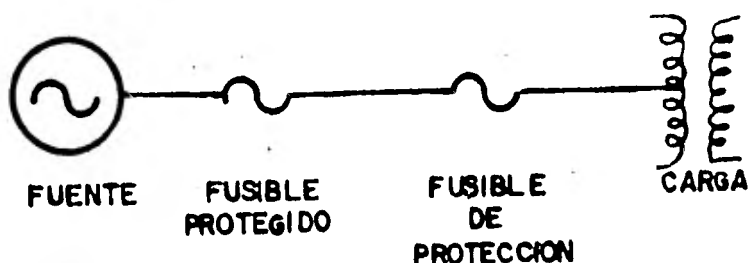


FIG. 6.2

CARACTERISTICAS DE FUSIBLES

La mayor parte de las curvas tiempo-corriente de los fusibles están graficadas en el rango de tiempo de 0.01 segundos a 1000 segundos; esto indica que el uso de estas curvas permite la coordinación sólo para aproximadamente una parte de la región de tiempo correspondiente a 1/2 ciclo. Puesto que los fusibles de expulsión normalmente deben de esperar al primer paso por cero de la corriente, hay un nivel máximo de corriente por cada tamaño de fusible para el cual la coordinación es posible. Por esta razón las curvas para fusibles de expulsión están limitadas a 0.8 de ciclo para indicar el tiempo mínimo para el que la coordinación pueda ser lograda. Sin embargo, cuando los fusibles limitadores de corriente son involucrados en el estudio de coordinación, o cuando es necesario determinar con precisión si un listón fusible de expulsión resistirá un solo ciclo completo de corriente de falla sin fundirse, existe la necesidad de expresar las características del tiempo de fusión y/o libramiento total en la región de tiempo correspondiente a un ciclo o un sub-ciclo. El efecto agregado de un pulso de corriente de corto circuito puede ser evaluado en términos de una cantidad eléctrica de una sola componente: la integral en el tiempo del cuadrado de la corriente:

$$\int i^2 dt$$

la cual comunmente se representa como I^2t . Para el caso del fusible de expulsión, la I^2t de un solo ciclo de corriente de falla puede ser comparada con el mínimo tiempo de fusión I^2t del fusible protegido, para asegurar que el fusible resistirá esta corriente.

Cuando consideramos una coordinación entre fusibles limitadores de corriente con igual tipo de fusibles, el requisito para que el fusible protector deba fundirse y librar el circuito antes que el fusible protegido sea dañado puede ser determinado por comparación de los respectivos I^2t del libramiento total e I^2t mínimo de fusión.

La figura 6-3 muestra que la corriente de falla se inicia en "A" y el fusible protector interrumpe en "B", con lo cual la corriente cae hasta "E". Si este fusible protector no hubiera estado en el circuito, la corriente hubiera continuado fluyendo en el fusible protegido hasta que la interrupción ocurriese en "C". El tiempo "AD" para que el fusible protegido se funda puede ser menor que el tiempo de interrupción total "AE" del fusible protector. Pero todavía existirá coordinación si el I^2t de fusión del fusible protegido (área G) es mayor que el I^2t del libramiento total del fusible protector (área F).

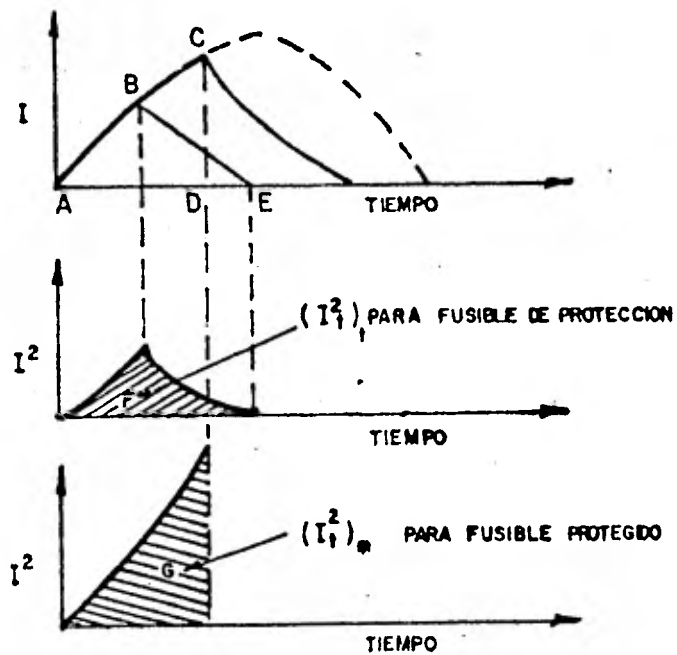


FIG. 6.3

FUSIBLES DE EXPULSION

La mayoría de los fusibles de expulsión en los sistemas de distribución se montan en des-

conectadores o se usan en transformadores de distribución autoprotegidos. Se debe prestar una cuidadosa atención a las capacidades nominales de los fusibles, de tal manera que concuerden con las capacidades nominales del sistema o de los transformadores. Si las capacidades de interrupción de los fusibles se dan en amperes asimétricos, entonces deben considerarse las relaciones X/R en los puntos de instalación.

La forma de las características tiempo-corriente para cada uno de los fusibles conectados en serie debe de ser similar con el fin de lograr una buena coordinación. La forma de la curva se especifica por su relación de velocidad, que es la relación entre la corriente de fusión a 0.1 segundos y la corriente de fusión a 300 ó 600 segundos, cualquiera que sea especificada. Los fusibles de expulsión con listones más comunmente usados son el ANSI tipo K y el tipo T; la figura 6-4 muestra las curvas típicas del libramiento total tiempo-corriente para esos listones de fusibles.

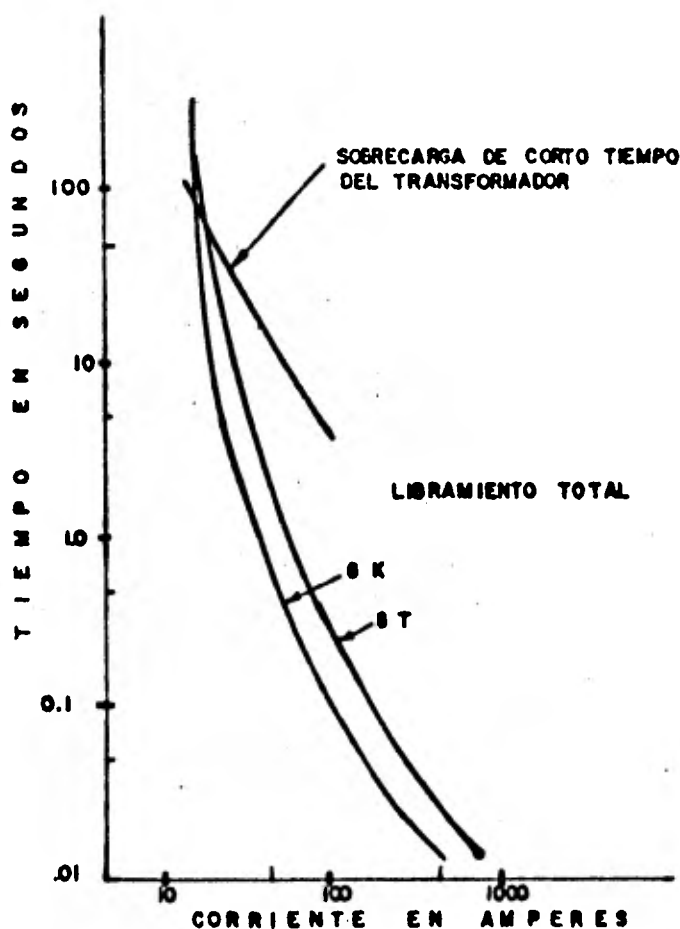


FIG. 6.4

FUSIBLE DE EXPULSION PROTEGIENDO A UN FUSIBLE DE EXPULSION.

Quando va a ser determinada la coordinación entre dos listones de fusibles de expulsión - conectados en serie, la curva de tiempo de libramiento total-corriente del listón fusible protector, trazada para los valores máximos, se compara con los valores mínimos.

Además es común en la práctica desplazar la curva del mínimo tiempo de fusión a un 75% del tiempo. Este desplazamiento provee un margen para tales variables de operación como calentamiento debido a la carga y sirve para evitar la fusión del alambre del fusible pero no del alambre de tensión de alta resistencia conectado en paralelo, que se usa en muchos listones fusibles de expulsión. La figura 6-5 muestra un ejemplo de

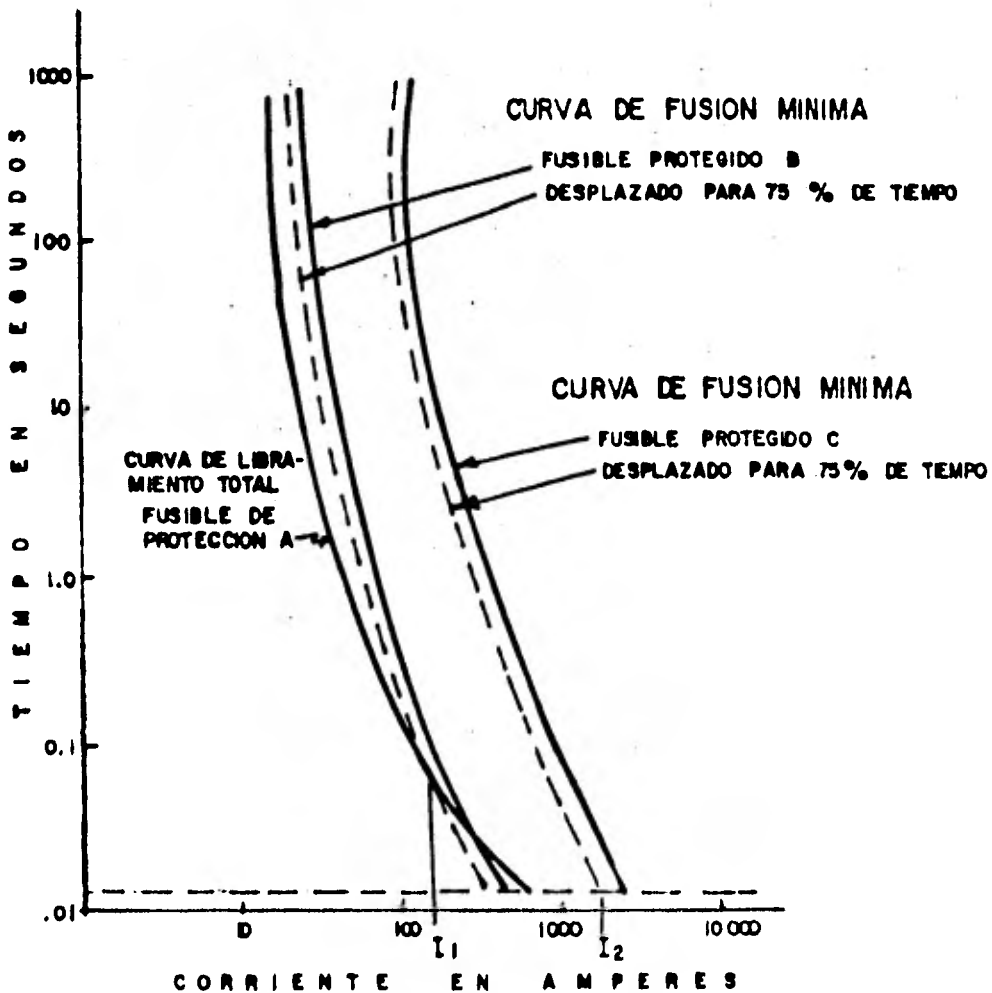


FIG. 6.5

esta coordinación entre listones fusibles de expulsión; esta figura ilustra el caso en que el fusible protector "A" está conectado en serie con el fusible "B" o con el fusible "C". La corriente máxima para la cual el fusible "A" protegerá al "B" es la corriente I_1 puesto que las curvas se cruzan a este nivel de corriente. La corriente máxima para la cual el fusible "A" protegerá al fusible "C" es la corriente I_2 puesto que el fusible "C" se fundirá a ésta o a una corriente mayor antes que el fusible "A" pueda protegerlo.

FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE

Los conceptos de coordinación son similares a aquéllos descritos anteriormente. La diferencia principal es que las características limitadoras de corriente de estos fusibles están descritas por su capacidad de conducción I^2t como se ha ilustrado previamente en la figura 6-3.

Cuando se efectúa la coordinación por comparación de los I^2t , no es común proveer un margen de veracidad puesto que están presentes varios factores que proporcionan el factor de seguridad necesarios. El libramiento total I^2t debe ser determinado por pruebas; estas pruebas se hacen a la máxima capacidad de voltaje nominal del fusible y en condiciones de corriente y tiempo inicial de falla que produzcan el máximo I^2t .

En servicio hay una alta probabilidad de que el voltaje del circuito sea bajo y que el tiempo en que ocurre la falla sea distinto del que ocasiona el peor caso, resultando en un libramiento total I^2t mas bajo que el máximo.

Los valores I^2t de fusión, obtenidos de las curvas tiempo-corriente o de los valores publicados, también tienen un factor de seguridad puesto que el mínimo tiempo de fusión es reducido al 90% del tiempo de fusión promedio para permitir tolerancias en los fusibles fabricados. El mínimo I^2t de fusión calculado es por lo tanto el 81% del I^2t de fusión promedio puesto que la reducción de la corriente de fusión (90%) esta elevada al cuadrado.

FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE PROTEGIENDO A UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.

De igual manera los estudios de coordinación se realizan por comparación del I^2t de fusión del fusible protegido con el I^2t de libramiento total del fusible de protección, como ha sido previamente mostrado. La característica tiempo-corriente (Fig. 6.6) da la información necesaria para asegurar una coordinación apropiada para el rango de tiempo completo.

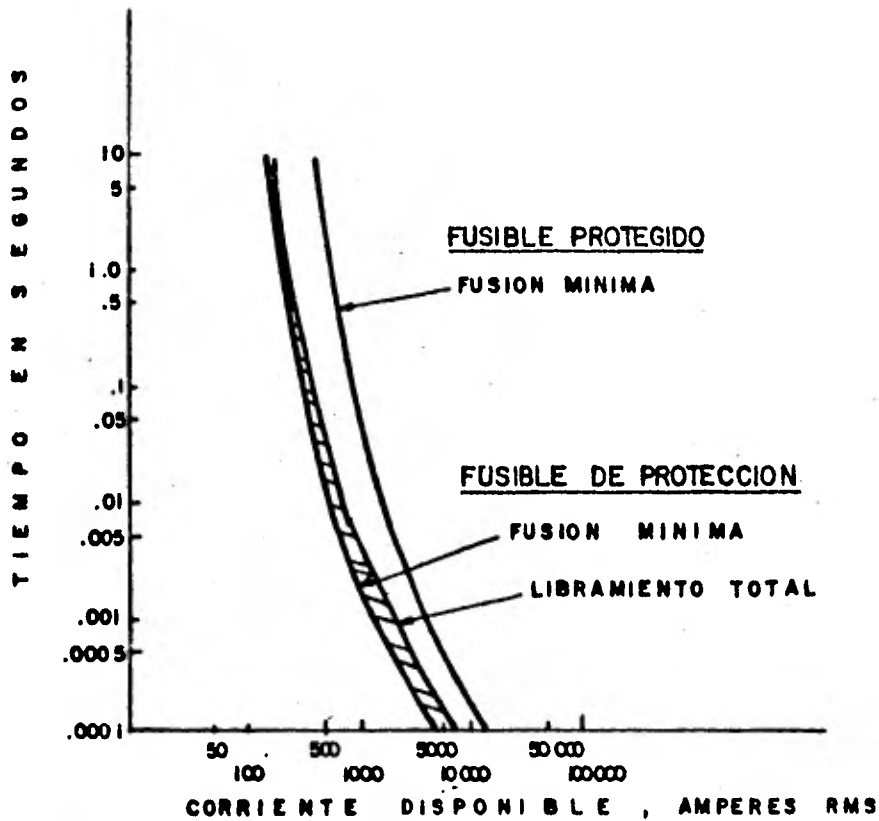


FIG. 6.6

La característica tiempo de libramiento total-corriente del fusible de protección debe de estar a la izquierda de la característica mínima - del tiempo de fusión-corriente del fusible protegido.

FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE PROTEGIENDO UN FUSIBLE DE EXPULSION.

Aquí nuevamente puede hacerse una comparación de el I^2t de fusión del fusible protegido - con el I^2t de libramiento total, para ver si existe una coordinación apropiada. Una comparación de las curvas características tiempo-corriente - -

(Fig. 6.7) da la información necesaria para asegurar una coordinación apropiada para el rango completo de tiempo. Usualmente existirá buena coordinación cuando un fusible limitador de corriente sea el fusible de protección.

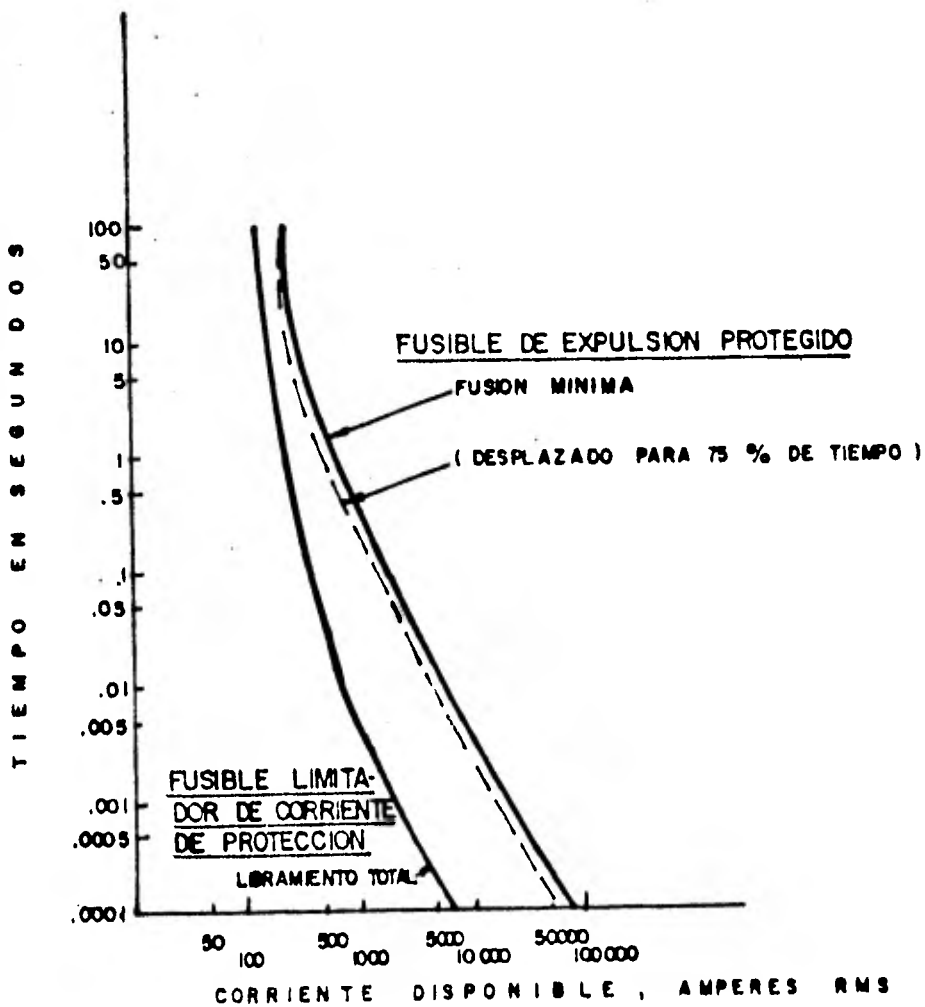


FIG. 6.7

FUSIBLE DE EXPULSION PROTEGIENDO A UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.

Esta aplicación únicamente proporciona coordinación hasta un nivel finito de corriente.- La característica tiempo total de libramiento-corriente del fusible de expulsión se compara con la característica mínimo tiempo de fusión corriente del fusible limitador de corriente. Ya que el fusible de protección no puede librar el circuito sino hasta el tiempo aproximado en que la corriente tenga su primer paso por cero, su curva del libramiento total se dibuja paralela al eje de la corriente a 0.8 ciclos ó 0.0133 segundos.

La figura 6.8 muestra esta interrupción en la característica e indica que esta coordinación es únicamente posible arriba del valor de la corriente indicado en la figura.

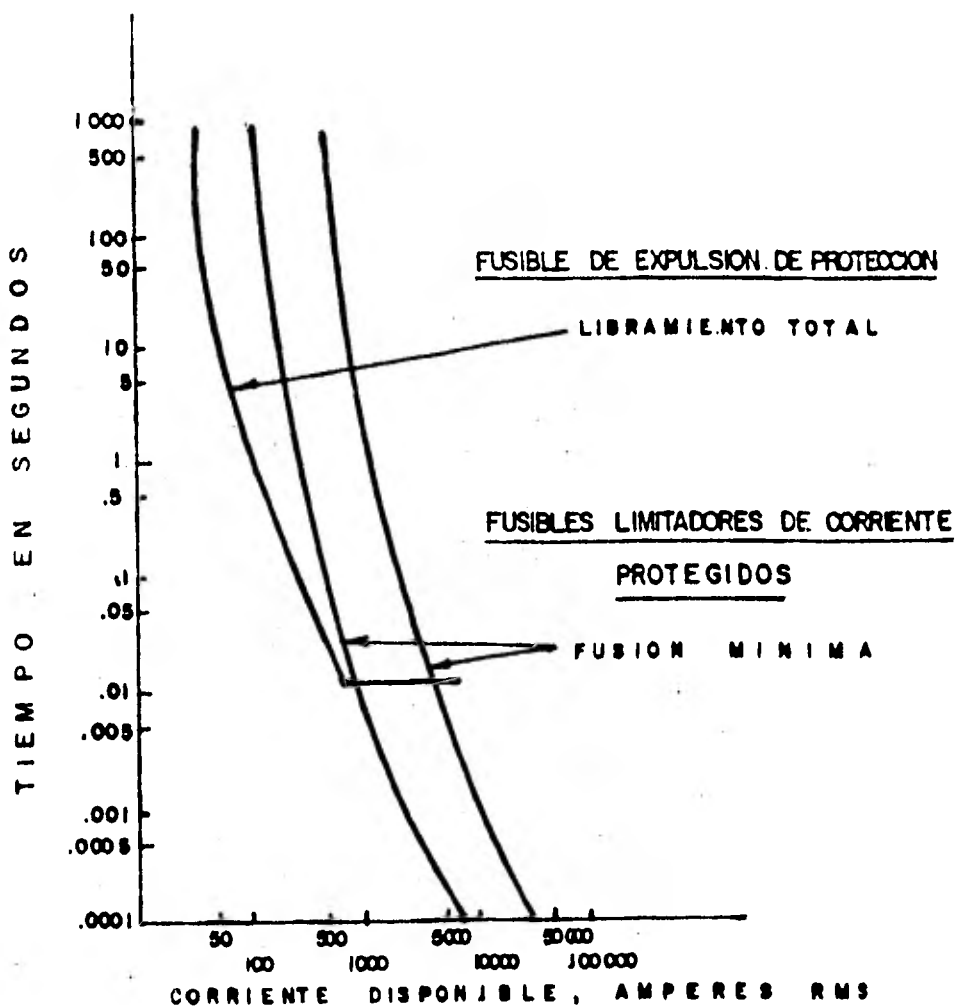


FIG. 6.8

FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE DE APLICACION GENERAL.

Se denominan con este nombre los fusibles capaces de interrumpir todas las corrientes comprendidas entre la corriente máxima de interrupción nominal y la corriente que causa la fusión del elemento del fusible en una hora.

Se usa para proteger un sistema contra una corriente de falla demasiado alta para la capacidad de un fusible de expulsión, en el primario de los transformadores de distribución. Sin embargo, el principal motivo del desarrollo de los fusibles limitadores de corriente es la reducción de energía de la falla.

FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE DE RESPALDO

Un fusible de éste tipo interrumpe corrientes comprendidas desde la corriente máxima de interrupción nominal hasta la corriente mínima de interrupción nominal.

La aplicación principal que emplean las compañías eléctricas es el arreglo del fusible de respaldo conectado en serie con un fusible de expulsión para cubrir el rango completo de la capacidad de interrupción de corrientes de falla y de sobrecargas. Ambos fusibles se coordinan trabajando con el mejor rango de interrupción de corriente de cada tipo. El primer paso es escoger las características requeridas del fusible de expulsión, esto es, la corriente de excitación y la protección contra sobrecargas, si no hay dispositivos de protección secundarios suplementarios. Contra sobrecargas o bajas corrientes de falla en la región de 2 a 4 veces la corriente de plena carga, la protección más comúnmente usada es con fusible en el primario. Cuando se consideren fusibles o interruptores en el secundario, el fusible de expulsión del primario debe coordinarse con esos dispositivos.

Se emplan 2 enfoques para la selección del fusible limitador de corriente de respaldo donde se involucran las características de tiempo-corriente del fusible (ver figura 6.9).

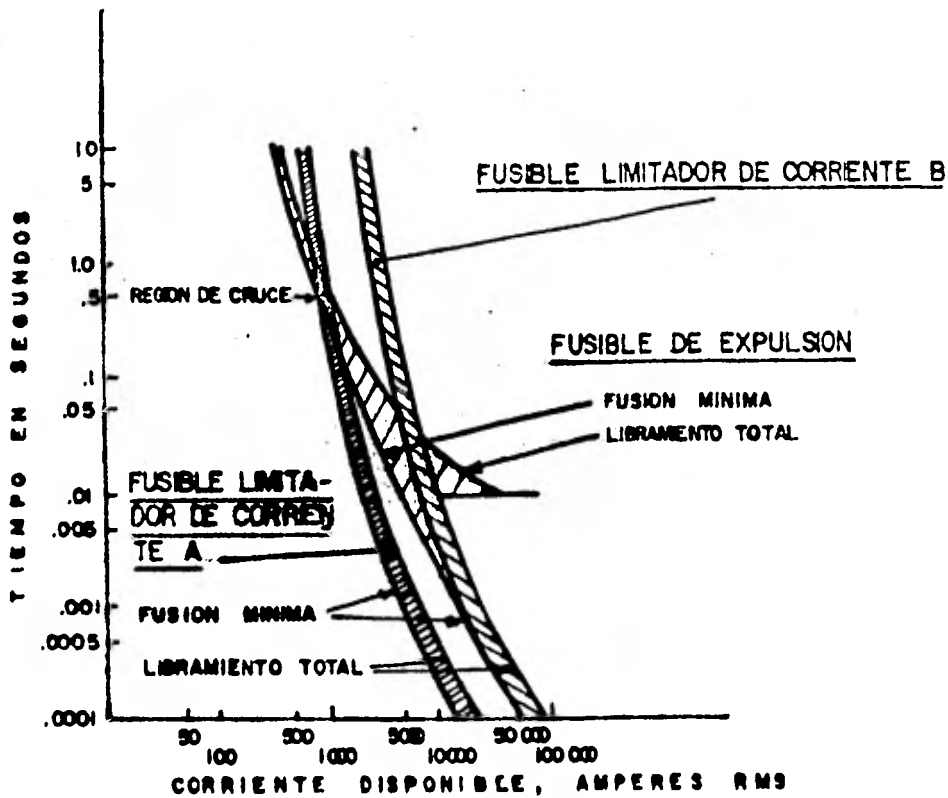


FIG. 6.9

De acuerdo con la figura, la coordinación del fusible de expulsión con el fusible limitador de corriente "A" implica un cruce de las curvas características. Mientras que con el fusible limitador de corriente "B" se requiere que éste tenga un I^2t de fusión aproximadamente igual o mayor que el del fusible de expulsión, lo que da lugar a la fusión del elemento de éste para todos los niveles de corriente de falla.

Método 1

El fusible de expulsión se funde para las bajas corrientes de falla (Fusible limitador de corriente A).

- a) El fusible limitador de corriente de respaldo debe tener una capacidad interruptiva mínima que incluya la región de traslape en forma de rombo para cubrir su corriente de fusión mínima (ver fig. 6.9). Se recomienda incluir un factor de seguridad.
- b) Esta condición, aún para proporcionar capacidad interruptiva a corrientes que se encuentren ligeramente abajo del área de cruce, requiere físicamente un fusible más grande para la misma fusión I^2t que un fusible que no esté sujeto a ese requisito.
- c) El fusible limitador de corriente "A" tiene un I^2t de fusión menor que el fusible limitador de corriente "B" aunque los dos se coordinen con el mismo fusible de expulsión.

Método 2

El fusible de expulsión se funde para

todos los niveles de corriente de falla (Fusible limitador de corriente B).

- a) Dada esta condición, el fusible de expulsión compartirá la función de interrupción con el fusible limitador de corriente é interrumpirá el voltaje de éste. Por ello es posible que el diseño del fusible limitador de corriente sea más pequeño y simple. Una comparación de I^2t de fusión entre el fusible de expulsión y el limitador de corriente indicará los tiempos de fusión relativos.

La coordinación de los fusibles deberá ser hecha cuidadosamente tratando de que el fusible de expulsión no resulte de capacidad demasiado grande ó pequeña pues provocaría que el fusible limitador de corriente no quedara protegido contra corrientes de falla inferiores a su capacidad interruptiva.

- b) Puesto que la I^2t de fusión del fusible limitador de corriente de respaldo empleado en este método (fusible limitador de corriente "B") es más grande que la del fusible limitador de corriente "A", es muy probable que la I^2t de libramiento total para una corriente alta, sea también grande. Este factor puede ser una desventaja para el fusible "B", pero para la mayoría de los transformadores este valor ligeramente mayor de I^2t no será un problema.
- c) Si el fusible de expulsión del método 2 es un fusible interno del transformador, su arqueo aumentará algo el total de la energía generada por la falla interna del transformador. Debido a la presencia del fusible limitador de co-

rriente este incremento de energía se reducirá. El efecto resultante en el transformador resulta un poco mayor con el método 2 comparado con el 1.

COORDINACION DEL RESTAURADOR CON EL FUSIBLE COLOCADO DEL LADO DE LA CARGA.

Donde se emplean restauradores de circuito automáticos con fusibles, la teoría de coordinación básica de limitar los efectos de cualquier falla del sistema al menor número de consumidores y la minimización del daño potencial al equipo, continúa vigente. El sistema básico más comúnmente usado es aquel en el que la seccionalización de la línea principal se hace con restauradores tipo poste (fig. 6.10).

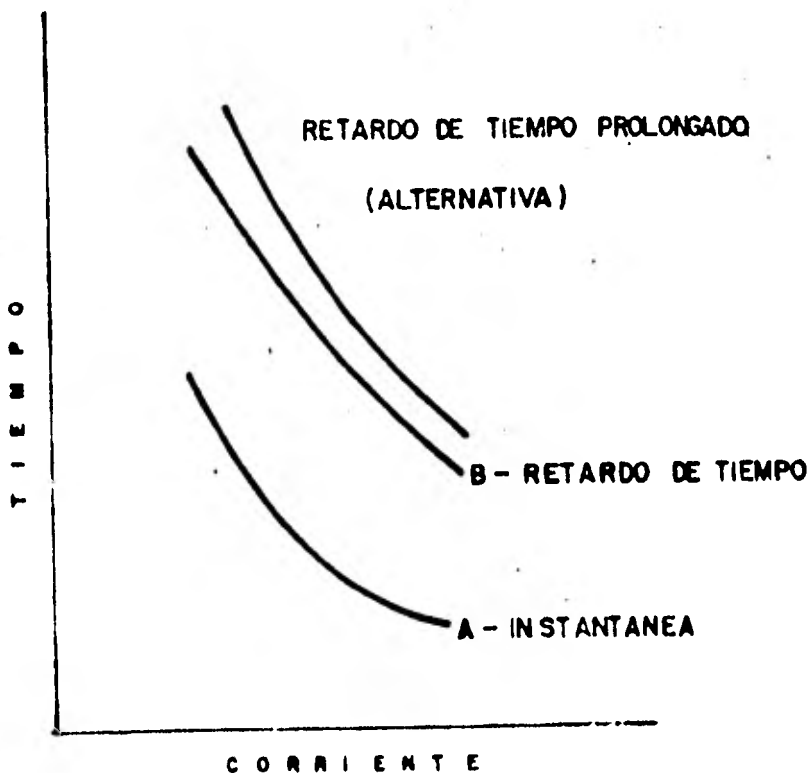


FIG. 6.10

Hay dos tipos básicos de características de operación: Curvas A (instantáneas) y curvas B (tiempo retardado). El restaurador puede ajustarse para operar una, dos ó tres veces instantáneamente si ocurre una falla en su lado de carga. Este tipo de operación es un intento para manejar fallas temporales autolibradas. Sin embargo, puesto que la falla puede ser permanente, es deseable proveer algún medio de interrupción, el cual se localice cerca de la falla. Por esta razón el restaurador puede ajustarse para una, dos ó tres operaciones correspondientes a la curva de tiempo retardado la cual está diseñada para permitir que la corriente de falla fluya por un tiempo suficiente para fundir un fusible localizado en el lado de la carga del restaurador. Después de la cuarta apertura, si la falla continúa en la línea, el restaurador quedará abierto. Para este tipo de coordinación restaurador-fusible las características tiempo corriente del fusible deberán seleccionarse de tal manera que las operaciones instantáneas no fundan el fusible, pero el fusible se fundirá y abrirá en la operación de tiempo retardado antes que el restaurador quede abierto. Si en cada rama ó subrama en un alimentador de distribución se localizan fusibles debidamente coordinados, una falla permanente en una rama no causará la apertura de la línea principal.

COORDINACION USANDO LISTONES FUSIBLE DE EXPULSION.

La fig. 6.11 muestra las características tiempo-corriente de un restaurador. Superpuestas a estas curvas están las características tiempo-corriente de un fusible de expulsión típico. La curva de libramiento total se usa para establecer el límite inferior de corriente para la coordinación con la curva de tiempo retardado del restaurador. La curva de fusión mínima se utiliza para establecer el límite superior de corriente para la coordinación con la curva del restaurador instantáneo.

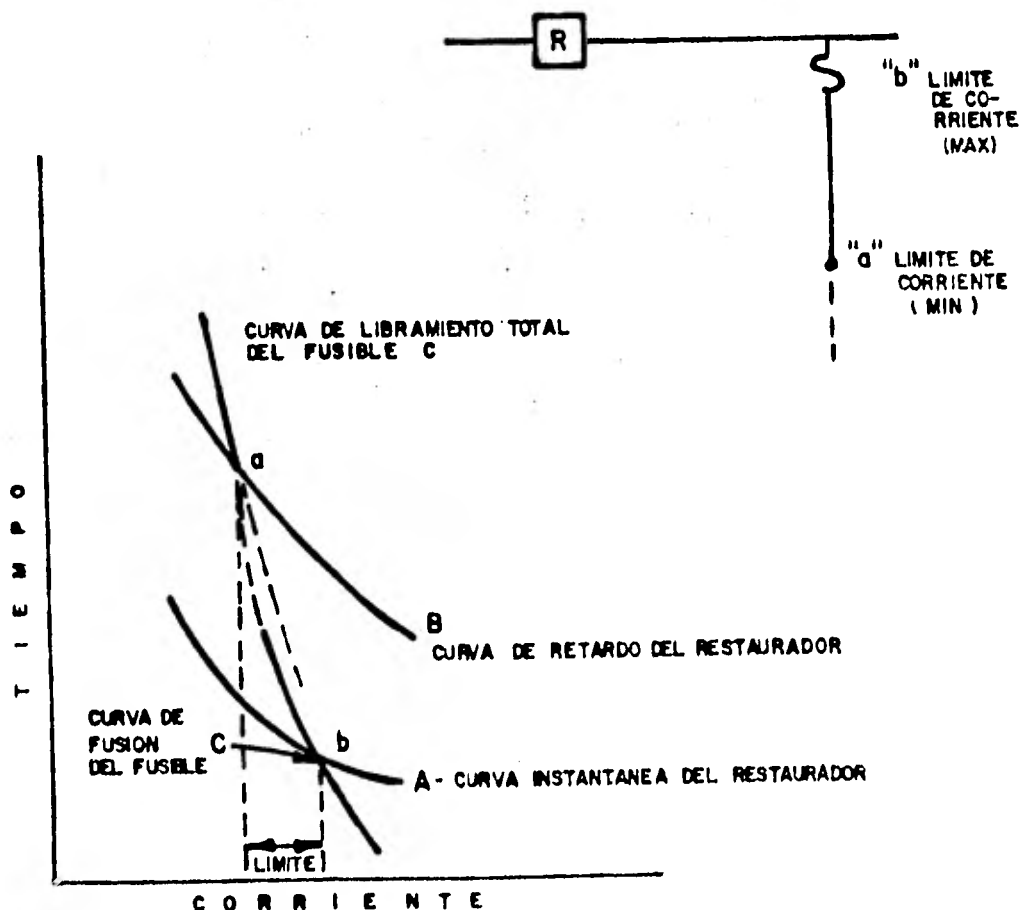


FIG. 6.11

Para establecer exactamente la intersección de los puntos a y b, es necesario que las curvas características del restaurador sean modificadas para que así reflejen los ajustes que se han utilizado y las curvas del fusible sean también cambiadas ó modificadas teniendo en cuenta el calentamiento y enfriamiento del elemento fusible cuando el restaurador trabaje durante sus secuencias de operación. Para una operación de un restaurador típico 2-2.1a fig. 6.12 indica el tipo de

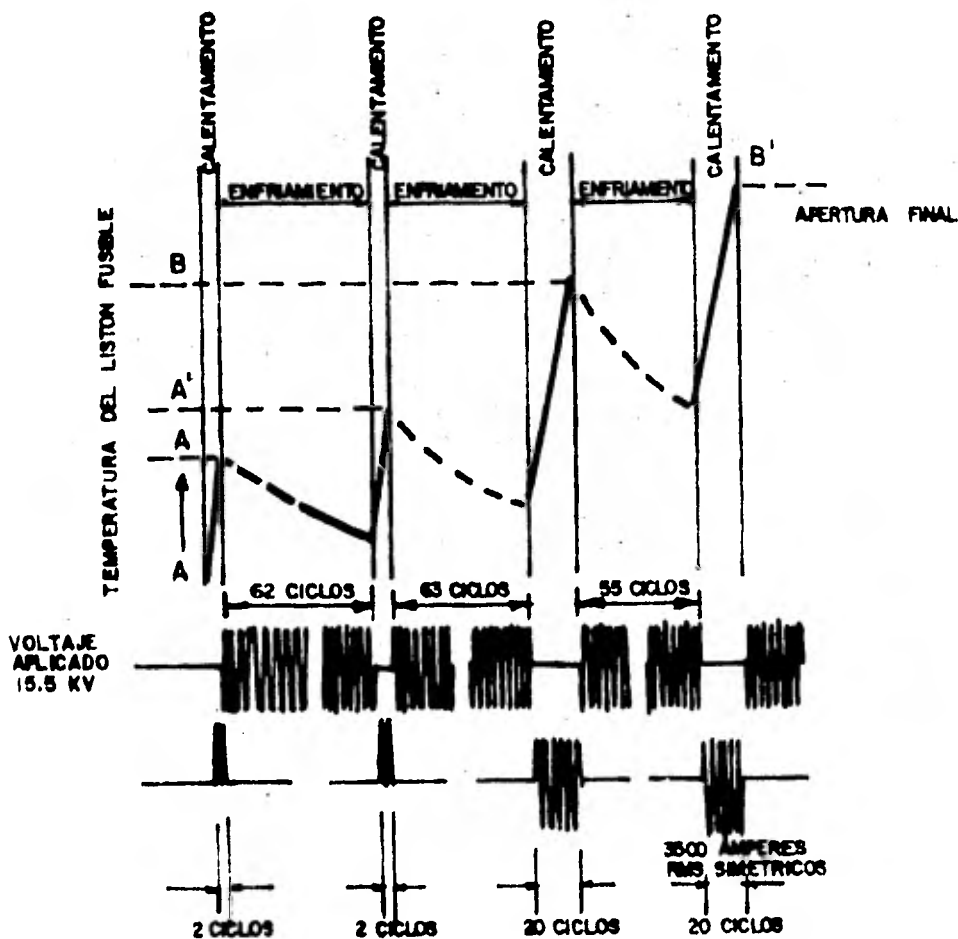


FIG. 6.12

calentamiento y enfriamiento que ocurre en el listón del fusible debido a la corriente que fluye a través de él. Para esta secuencia las primeras - dos operaciones son instantáneas y cada una re - quiere dos ciclos. Las dos operaciones de tiempo - retardado requieren 20 ciclos cada una.

El calor debido a la corriente de fa - lla durante las dos operaciones instantáneas no - deberá dañar térmicamente al elemento del fusible. La curva A' en la fig. 6.13 es la suma de las dos

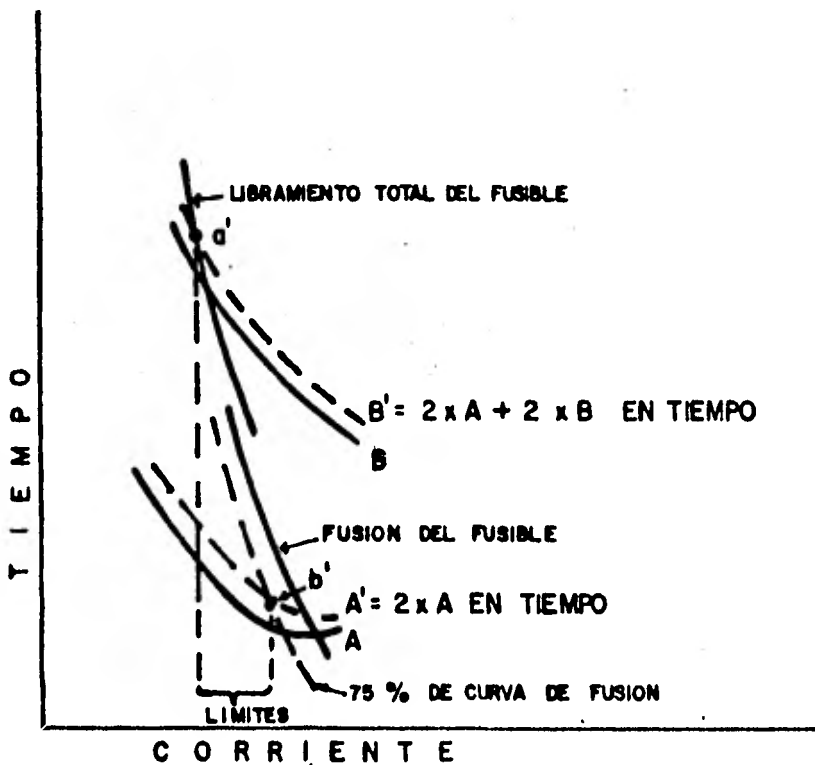


FIG. 6.13

aperturas instantáneas (A) y es comparada con la curva de daño del fusible graficada al 75% de la curva del fundido mínimo del elemento del fusible. Para una coordinación satisfactoria el límite de la corriente alta se indica por la intersección del punto \underline{b}' en la fig. 6.13.

Para establecer el límite inferior de la corriente para una coordinación apropiada, el calor total de entrada al fusible representado por la curva \underline{B}' (la cual es igual a la suma de dos operaciones instantáneas \underline{A} más dos aperturas de tiempo retardado \underline{B}) se compara con la curva de libramiento-tiempo del fusible. El punto de intersección está representado por \underline{a}' .

Los límites para la coordinación están por lo tanto entre los niveles de corriente representados por \underline{a}' y \underline{b}' . Si la corriente de corto circuito máxima calculada en el punto del fusible no excede la corriente \underline{b}' , el fusible será protegido durante fallas transitorias, ya que una ó dos operaciones instantáneas del restaurador no dañarán al elemento fusible. Sin embargo, si la falla es permanente, el fusible deberá librar el circuito antes que el restaurador haga su apertura final. Cuando la corriente de corto circuito mínima de línea a tierra, al final de un circuito ramal protegido, es más grande que la corriente indicada por el punto \underline{a}' de la figura 6.13, el fusible interrumpirá la falla antes de que el restaurador haga su apertura final.

Si esta coordinación entre el restaurador y el fusible de lado de la carga se base en el uso de las curvas publicadas tiempo de fusión corriente, los límites establecidos tenderán a ser conservadores. Por otra parte, cuando se incluyan los efectos de enfriamiento del elemento del fusible, el rango de coordinación (el rango de corriente entre los límites) tenderá a incrementarse. El período de enfriamiento correrá las curvas de fundido y libramiento total hacia la derecha, pero el efecto del cruce en ambos niveles de corriente es más pronunciado en la región de corriente alta. Las razones para esto son resultado de la forma de la curva característica de los elementos de fusibles de expulsión. El cruce en la región de corriente baja tiene lugar donde la curva de libramiento del fusible es más pronunciada. Esto significa que un incremento en el tiempo de libramiento total resulta en un pequeño desplazamiento en el cruce de nivel de corriente. Puede, por lo tanto, verse que incrementando el tiempo de fundido del elemento fusible de expulsión, para compensar el enfriamiento, tenderá a incrementar el rango de corriente para la coordinación.

Pueden hacerse algunos cálculos, para corregir la pérdida del elemento fusible debido al tiempo de apertura del restaurador, y si se desea mayor aproximación debe considerarse este paso.

Cabe señalar que el cruce en la región de corriente alta se realiza donde la curva de fundido del fusible es aproximadamente de 2 a 1 -

con respecto de la condición adiabática (todo el calor almacenado).

Esto significa que un aumento de tiempo de fundido del fusible resulta en un gran incremento en el cruce de nivel de corriente. Un requisito importante es que todo el circuito, incluyendo los circuitos derivados y ramales, sean protegidos contra corrientes de falla por interruptores actuados por relevadores y por restauradores. Así, las corrientes de falla permanentes afectarán al menor número de usuarios. En puntos con corrientes de falla altas ocurrirán algunas operaciones de fusible innecesarias si se desarrolla una falla de muy baja impedancia; sin embargo, para la mayoría de las condiciones de falla este tipo de protección será de operación satisfactoria.

Hay dos tipos predominantes de elementos de fusibles, que son generalmente usados en esta coordinación con restaurador. Son los elementos tipo K y T. La relación de velocidad para el tipo K se especifica entre 6 y 8.1, mientras que para el tipo T se encuentra entre 10 y 13 y tiene la ventaja de proporcionar coordinación en un rango de corrientes más amplio cuando se utilizan en el lado de la carga. (Ver. ejemplo de la fig. 6.14). Para la coordinación de fusibles 25K ó 25T con un restaurador de 35 Amp., el rango de coordinación para el tipo K es aproximadamente 370 Amp., comparado con un rango aproximadamente de 525 Amp. de tipo T.

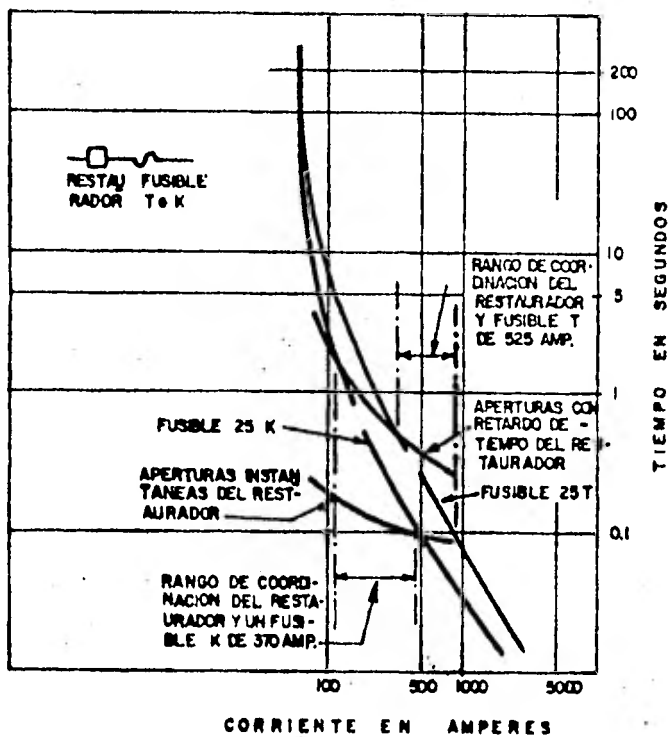


FIG. 6.14

Los fusibles conectados en serie que se aplican dentro de la zona de protección de un restaurador deben ser coordinados para que el aislamiento se realice con los fusibles más cercanos a la falla. El uso de los fusibles limitadores para la protección individual de transformadores de distribución contra los efectos potenciales de explosiones ocurridas debidas a una falla interna de baja impedancia se adapta muy bien a este esquema de coordinación. El fusible de expulsión comúnmente utilizado para transformadores, protege contra fallas de baja corriente ó fallas secundarias del transformador y su característica de tiempo-corriente se coordina adecuadamente con los de otros ramales. La característica tiempo-corriente de los fusibles limitadores de corriente de respaldo conectados en serie se escoge de manera que proporcione protección contra las fallas internas permanentes del transformador. Para éste propósito es muy deseable su característica de rápido libramiento y aislará el transformador fallado antes de que un fusible normal opere.

COORDINACION DEL RESTAURADOR DEL LADO DE LA FUENTE

Los fusibles localizados del lado de la fuente con respecto a los restauradores de circuito automáticos son normalmente fusibles seccionadores de la línea entre el interruptor de la subestación y el restaurador.

Este tipo de operación de fusibles no se usa frecuentemente en la protección de sistemas de distribución. La principal razón es que los fusibles localizados en esta región son difíciles de coordinar con interruptores y restauradores de la subestación para mantener así la capacidad de servicio rápido de restauración después de fallas transitorias. Si hay una falla permanente en el alimentador principal, el fusible aislará esta falla y dará una indicación visual del lugar donde se efectuó ésta. Sin embargo, si la corriente de falla en el punto del fusible es alta puede ser difícil ó imposible escoger la capacidad del fusible de manera que no opere durante operaciones instantáneas del interruptor. Si el fusible asignado es un tipo K ó T en un desconectador, la corriente de falla máxima disponible para que la coordinación sea posible, es aproximadamente 10,000 amp. Este nivel de corriente se reduce adicionalmente si se requieren fusibles de menos de 200 amp. Los fusibles limitadores de corriente suelen ser de operación demasiado rápida en altas corrientes de falla para ser de utilidad en este tipo de aplicación.

Los mejores tipos de fusibles para la coordinación del restaurador del lado de la fuente son los de expulsión. Ciertos tipos de estos fusibles se producen para capacidades de corriente mayores de por lo menos 400 Amp. y para capacidades de voltaje que cubren el rango de sub-transmisión. La característica de tiempo-corriente de estos fusibles se adaptan mejor a la coordinación requerida con los interruptores de la subestación y con los restauradores del circuito del lado de la fuente.

Un problema adicional con los fusibles seccionalizadores de línea, es que el alimentador de la fuente es normalmente un circuito trifásico y estos fusibles son monofásicos. Las corrientes y los voltajes desbalanceados que resultan de la apertura de una fase, que puede ocurrir si un fusible libra una falla de línea a tierra, puede causar daño al equipo de un usuario, dando lugar a operaciones complicadas e interrupciones prolongadas. Por esta razón la operación con fusibles se limita generalmente a circuitos ramales ó derivados donde solamente hay una ó dos fases y neutro.

COORDINACION RESTAURADOR - RESTAURADOR.

Normalmente se aplican restauradores en serie, los cuales son del mismo tipo y de la misma secuencia, con niveles descendentes de nivel mínimo de disparo.

En esta coordinación el restaurador de más abajo deberá operar antes que el restaurador de más arriba para todas las fallas que ocurren - más allá del restaurador de más abajo y además deberá quedar definitivamente abierto antes que el restaurador de más arriba, para fallas permanentes.

En ésta coordinación es importante que los restauradores no operen simultáneamente; los fabricantes recomiendan (para la mayoría de los restauradores hidráulicos) que la separación de sus curvas tiempo-corriente sea de 12 ó más ciclos, para evitar una operación simultánea.

COORDINACION RESTAURADOR - SECCIONADOR.

Los siguientes principios se aplican - para la coordinación de seccionadores con restauradores.

- 1).- El seccionador deberá estar ajustado para abrir definitivamente en una operación menos que el restaurador de más arriba; si se aplican más seccionadores estos deberán estar ajustados en 2, 3, etc. operaciones menos para abrir definitivamente antes que el restaurador de más arriba.
- 2).- La capacidad del seccionador será escogida para que la corriente mínima de disparo sea aproximadamente el 80% de la corriente mínima de disparo de dispositivo del lado de la fuente, para asegurar que ocurra una opera-ción del seccionador después de cada flujo -

discreto de corriente de falla.

- 3).- La combinación de tiempos de disparo (excepto el primero) y de recierre del dispositivo de respaldo deberá ser más corta que el tiempo de retención de cuenta del seccionador; - si esto no se logra, entonces operará cualquiera de los dos dispositivos (seccionador y restaurador) para apertura final, sin seguir ninguna coordinación.

COORDINACION RESTAURADOR - SECCIONADOR - LISTON FUSIBLE.

Para un seccionador seguido de un fusible más abajo, los dos después de un restaurador, ambos se seleccionarán para coordinar con el restaurador.

Para una falla más allá del fusible, - éste deberá fundirse antes de que el seccionador abra definitivamente.

APLICACION DE LA PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE A UN ALIMENTADOR DE DISTRIBUCION

Tenemos tres actividades básicas asociadas a la aplicación de la protección con restauradores, seccionadores y fusibles; estas son:

- 1).- Identificar, definir ó categorizar completamente el sistema al cuál se aplicará la protección.

Esto con el fin de conocer las características actuales del sistema y también las futuras, debiendo considerar: voltajes, cargas, distribución de la carga, corrientes de falla disponibles, calibres de los conductores, capacidades de los transformadores, etc.

- 2).- Definir el sistema de protección contra sobrecorrientes deseando, bajo condiciones de operación normales y anormales, considerando qué se va a proteger y como, además observando si no hay cargas especiales que necesiten protección especial, etc..
- 3).- Por último, seleccionar y aplicar los restauradores, seccionadores y fusibles compatibles con el sistema y capaces de operar como se desea, bajo condiciones normales y anormales.

PARAMETROS DEL SISTEMA.

Es necesario conocer los siguientes parámetros del sistema para poder hacer los cálculos necesarios para la aplicación de la protección: voltajes a los que trabaja el sistema y tipo de cargas que alimenta, así como su magnitud presente y futura, también es importante conocer la densidad de la carga.

ELEMENTOS DEL SISTEMA.

Los elementos del sistema más importantes que deben ser identificados son: los transformadores.

madores de potencia y los conductores de los alimentadores (tipo, calibre y longitud), ya que su selección afecta en forma importante la impedancia del sistema y sus requerimientos de protección.

NIVELES DE CORRIENTES DE FALLA DISPONIBLES.

Se conoce el valor de las corrientes de falla en algún punto del sistema (por ejemplo en el lado de alta tensión de la subestación) y en base a éste, se calcularán los valores en todos los puntos de interés, empezando por la subestación y extendiéndose hacia el alimentador.

Ya que los dispositivos de protección deben de funcionar correctamente cuando se expongan a las corrientes de falla, para un número determinado de años después de su instalación, se deberán anticipar los valores de corrientes de falla futuros, de la misma forma en que se identificaron los iniciales.

CARGAS Y DISTRIBUCION DE CARGAS.

Las siguientes características de las cargas son de gran importancia, por lo que deben ser consideradas:

- Magnitud.
- Localización (distribución de las cargas sobre el alimentador y sus ramales).
- Cambio dinámico de las cargas (como varían dinámicamente con respecto a otras).

- Cambio a largo plazo (como crecimiento anual, etc.).

La evaluación de las cargas y su distribución es importante, para poder establecer los niveles de corrientes de falla en cualquier localización del sistema.

ESTABLECIMIENTO DEL CRITERIO DE PROTECCION.

Hay dos criterios para establecer la protección: el primero consiste en establecer ciertas condiciones ó criterios que pueden ser consideradas como normas y las cuales serán aplicadas a todos los sistemas que serán protegidos. El segundo consiste en tomar estas condiciones ó criterios para casos específicos; esto incluye asignar especial atención y seguridad a cargas importantes (como hospitales, etc.).

GENERAL.

Los sistemas de protección tienen como objetivo el proteger los elementos del sistema de potencia de daños debidos a altos valores de corriente por falla.

Esta protección debe ser diseñada para que al operar y desconectar los elementos del circuito, afecte en lo más mínimo posible a los consumidores no involucrados directamente en la falla, para lo que se cuenta con elementos de recierre que permiten más confiabilidad y eficiencia, sin descuidar nunca los compromisos que caracterizarán nuestra protección debido a los tipos de carga y configuración del sistema.

RESTAURADORES.

Los restauradores se instalan en el circuito de distribución para dar protección contra sobrecorrientes de falla a una parte muy específica del sistema, que va desde el punto donde se encuentra el restaurador hasta el punto donde la corriente de falla disponible sea todavía de magnitud suficiente para causar la operación del restaurador, la cuál se denomina zona de protección. Sin embargo en la práctica esto no se puede definir tan exactamente, debido a los diferentes parámetros específicos que se presentan en cada falla.

Los criterios para establecer la zona de protección de un restaurador son los siguientes:

- a).- El final de la zona de protección es aquel punto donde la corriente de falla monofásica, calculada con una cierta resistencia a tierra que se aumenta al circuito de falla, es igual al valor de la corriente mínima de disparo del restaurador.
- b).- El final de la zona de protección, es aquel punto donde la corriente calculada para la falla monofásica es igual a dos veces el valor de la corriente mínima de disparo del restaurador.
- c).- El final de la zona de protección, es aquel punto donde la corriente calculada para falla monofásica es igual a 1.5 veces el valor de la corriente mínima de disparo del restaurador.

La selección del criterio para implementar la protección depende de nuestro criterio de confiabilidad ó del económico.

FUSIBLES.

En los fusibles, a diferencia de los restauradores, el final de la zona de protección está definida por el tiempo máximo de libramiento total, con una corriente mínima de operación.

SECCIONADORES.

Debido a que los seccionadores operan durante el período en que el circuito está desenergizado (apertura de un restaurador por ejemplo) no tienen el problema de coordinación por no tener características tiempo-corriente, por lo que estos se usan generalmente, cuando no puede encontrarse una buena coordinación entre fusibles y restauradores.

SELECCION DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTES.

La tercera actividad básica es seleccionar los dispositivos requeridos y aplicar estos para satisfacer el criterio de operación en el sistema de potencia en cuestión.

Para lo anterior, se necesita recopilar toda la información necesaria y con ésta, identificar los elementos requeridos.

La información requerida es:

- Circuito completo y parámetros de operación (ya descrito anteriormente).
- Criterio de aplicación (los cuales ya fueron descritos).
- Información relativa al equipo disponible (normas é información del fabricante).

CAPITULO VII

APLICACION DE COORDINACION DE LA PROTECCION CONTRA SOBRE-CORRIENTES A UN ALIMENTADOR RADIAL DE DISTRIBUCION DE 23 KV.

En los capítulos anteriores se ha visto lo importante que es proteger un sistema de distribución radial contra cualquier tipo de falla que dé como resultado una sobrecorriente, así mismo se analizaron las características de operación del equipo necesario para lograr este objetivo.

En este capítulo se pretende aplicar todo lo anteriormente visto a un caso real, es decir, se tratará de proteger un alimentador radial de 23KV mediante la coordinación apropiada de un equipo similar al analizado previamente: restauradores, seccionadores automáticos y fusibles.

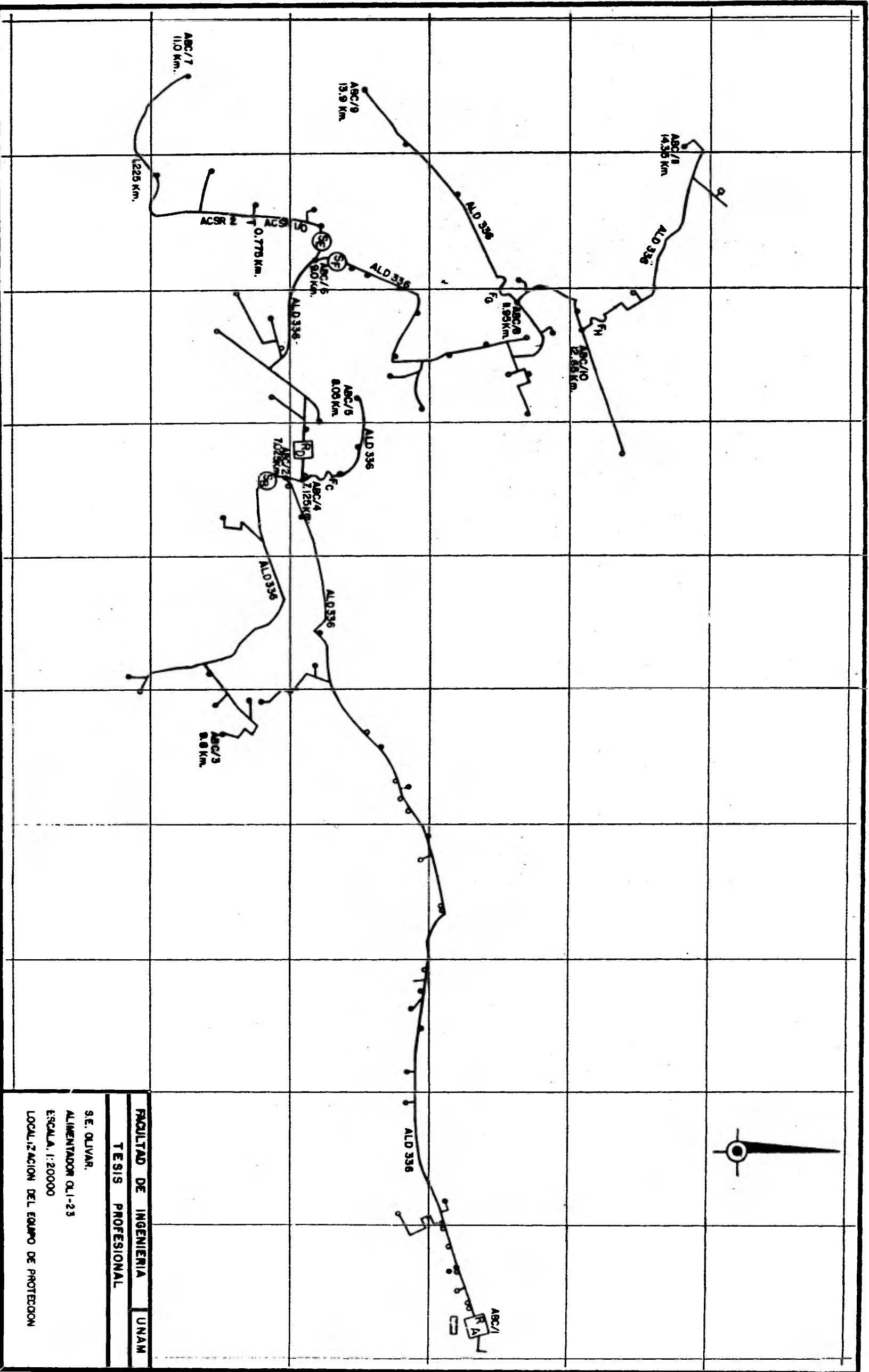
El alimentador al que se pretende proteger y que lleva por nombre "OLI 23", parte de la subestación "El Olivar", de 85/23 KV, con banco de transformadores de 30 MVA, la cual pertenece a la Cía. de Luz y Fuerza del Centro, S.A. Tiene una longitud aproximada de 14 Km.

Para efecto de la protección se ha fraccionado el alimentador en varias zonas, tal como se aprecia en el plano de la figura 7.1. En cada punto marcado sobre el plano se propone instalar un dispositivo de protección.

Para lograr la coordinación es necesario conocer varios parámetros en cada punto donde se piense instalar un dispositivo; estos parámetros son los siguientes: voltaje, corriente de carga, corriente de corto circuito monofásico a tierra ($I_{cc1\phi}$) y corriente de corto circuito trifásico ($I_{cc3\phi}$).

De datos obtenidos de la Compañía de Luz y Fuerza, se sabe que la magnitud del corto circuito en 85 KV tienen un valor actualmente de 3785 MVA, el cual con la apertura de los anillos existentes en esta tensión disminuirá a un valor de 2550 MVA para el año de 1985.

Como un sistema de 23KV en la mayoría de los casos funciona como un sistema radial y en ningún caso de operación normal se ponen en paralelo dos subestaciones a través de un alimentador de distribución, el valor del corto circuito queda limitado principalmente por la impedancia de los transformadores de la subestación de distribución correspondiente.



FACULTAD DE INGENIERIA UNAM
 TESIS PROFESIONAL

S.E. OLIVAR.
 ALIMENTADOR QL-1-23
 ESCALA: 1:20000
 LOCALIZACION DEL EQUIPO DE PROTECCION

Cálculo de la magnitud de la corriente de cortocircuito en varios puntos del alimentador.

Características del Transformador de la subestación:

Transformador Trifásico, 30 MVA.

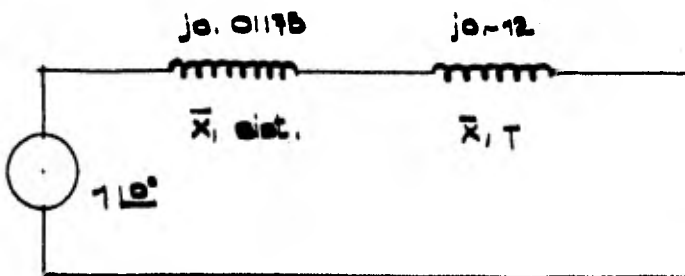
85/25 KV, $\Delta - Y_4$

$\bar{Z}_T = 0.12$ p.u.

el neutro del secundario del transformador está aterrizado a través de una sección de reactor de 0.4Ω .

Cálculo del cortocircuito trifásico en las barras de 25 KV de la subestación (punto A BC/1):

$MVA_{base} = 30$ MVA ; $MVA_{cc\ sist.} = 2550$ MVA.



$$\bar{X}_{\text{ sist.}} = \frac{MVA_{\text{ base}}}{MVA_{\text{ cc sist.}}} = \frac{30}{2550} = 0.01175 \text{ p.u.}$$

Capacidad de corto circuito trifásico en las barras de 25KV. :

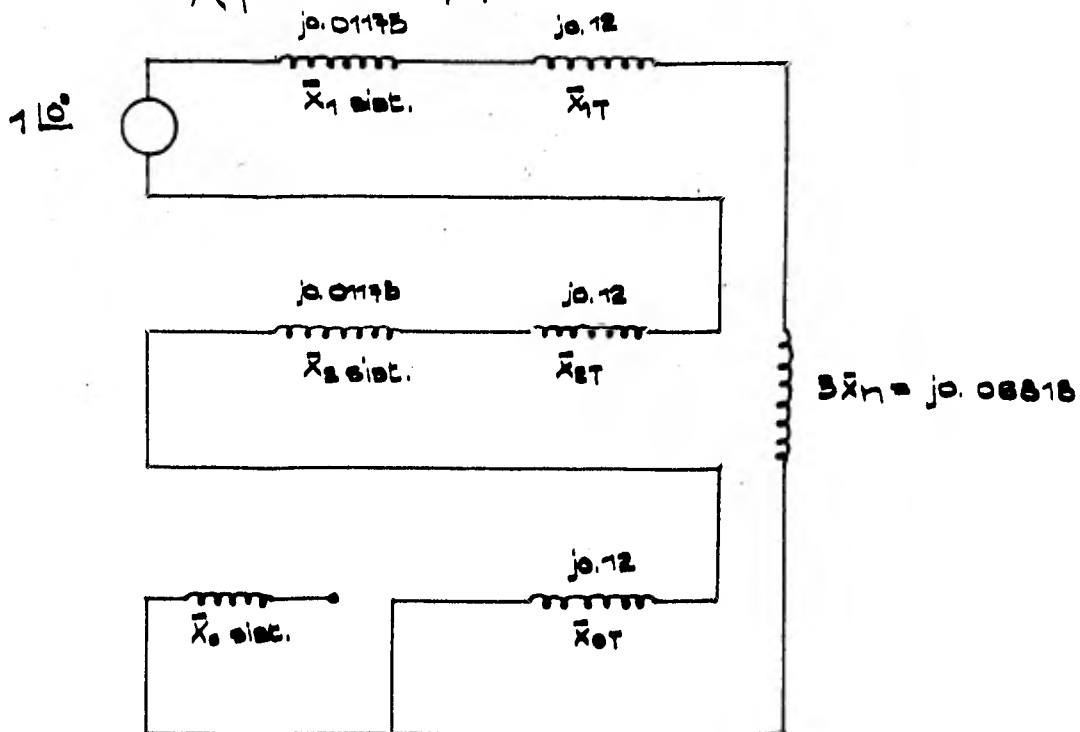
$$MVA_{cc} = \frac{MVA_{base}}{\bar{X}} = \frac{50}{j0.01175 + j0.12} = 227.3 \text{ MVA.}$$

$$MVA_{cc3\phi} = 227.7 \text{ MVA.}$$

$$\tilde{I}_{cc3\phi} = \frac{227.700 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 25 \text{ KV}} = 5715.76 \text{ A}$$

$$\tilde{I}_{cc3\phi} = 5715.76 \text{ Ampere.}$$

Cálculo del corto circuito monofásico en las barras de 25KV, (punto ABC/1):



$$MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \text{ MVA}_{base}}{\bar{X}_{1T} + \bar{X}_{2T} + \bar{X}_{0T} + 3\bar{X}_n + \bar{X}_{1 \text{ sist.}} + \bar{X}_{2 \text{ sist.}}}$$

$$X_{base} = \frac{KV^2_{base}}{MVA_{base}} = \frac{(23)^2}{30} = 17.6 \Omega$$

183

$$B\bar{X}_n = \frac{3X_n}{X_{base}} = \frac{3 \times 0.4}{17.6} = 0.06818 \text{ p.u.}$$

$$\therefore MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \times 30}{3 \times j0.12 + 2 \times j0.01175 + j0.068} = 199.55 \text{ MVA.}$$

$$I_{cc1\phi} = \frac{199.55 \times 10^3 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 23 \text{ KV}} = 5009.1411 \text{ A}$$

$$MVA_{cc1\phi} = 199.55 \text{ MVA.}$$

$$I_{cc1\phi} = 5009.1411 \text{ A.}$$

Cálculo de corto circuito monofásico y trifásico en algunos puntos de la línea de distribución de aluminio desnudo 336 (ALD 336):

De tablas:

$$ALD 336 - P_1 25^\circ C, 60 \text{ Hz} = 0.17518 \Omega/\text{km.}$$

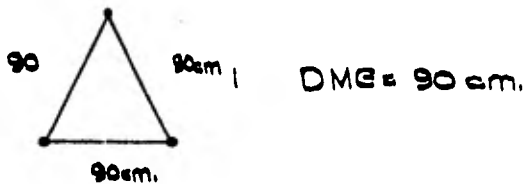
$$X_L = 0.3086 \Omega/\text{km. a 1 ft. de separación.}$$

factor de separación a 3 ft.

$$X = 0.1333 \Omega/\text{milla} = \frac{0.1333}{1.609} = 0.0828 \Omega/\text{km.}$$

$$\therefore X_{LT} = 0.3086 + 0.0828 = 0.3914 \Omega/\text{km.}$$

Disposición de los conductores:



Cálculo de la impedancia de secuencia cero (Z_0):

$$Z_0 = R + j0.002964f + j0.008676f \log_{10} \frac{658 \sqrt{P/f}}{\sqrt{r_g (d_{ab} \times d_{ac} \times d_{bc})^{2/3}}} \quad [\Omega/\text{km}]$$

Diámetro = 0.721 pulg.

$$D = 0.721 \text{ pulg.} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{\text{pulg.}} = 1.83134 \text{ cm.}$$

$$r_g = \text{radio medio geométrico} = \frac{1.83134}{2} \times 0.758 = 0.694 \text{ cm.}$$

$$\therefore Z_0 = 0.17319 + 0.002964(60) + j0.00867(60) \log_{10} \frac{658 \sqrt{100/60} \pi \times 100 \frac{\text{cm}}{\pi}}{\sqrt{0.694 (90)^2}} \text{ cm}$$

$$Z_0 = 0.35103 + j1.91392 \frac{\Omega}{\text{km}} \Rightarrow \bar{Z}_0 = \frac{0.35103 + j1.91392}{17.6}$$

$$\boxed{Z_0 = 0.0199 + j0.1087 \text{ pu/km.}}$$

Cálculo de corto circuito monofásico y trifásico en el punto ABC/2:

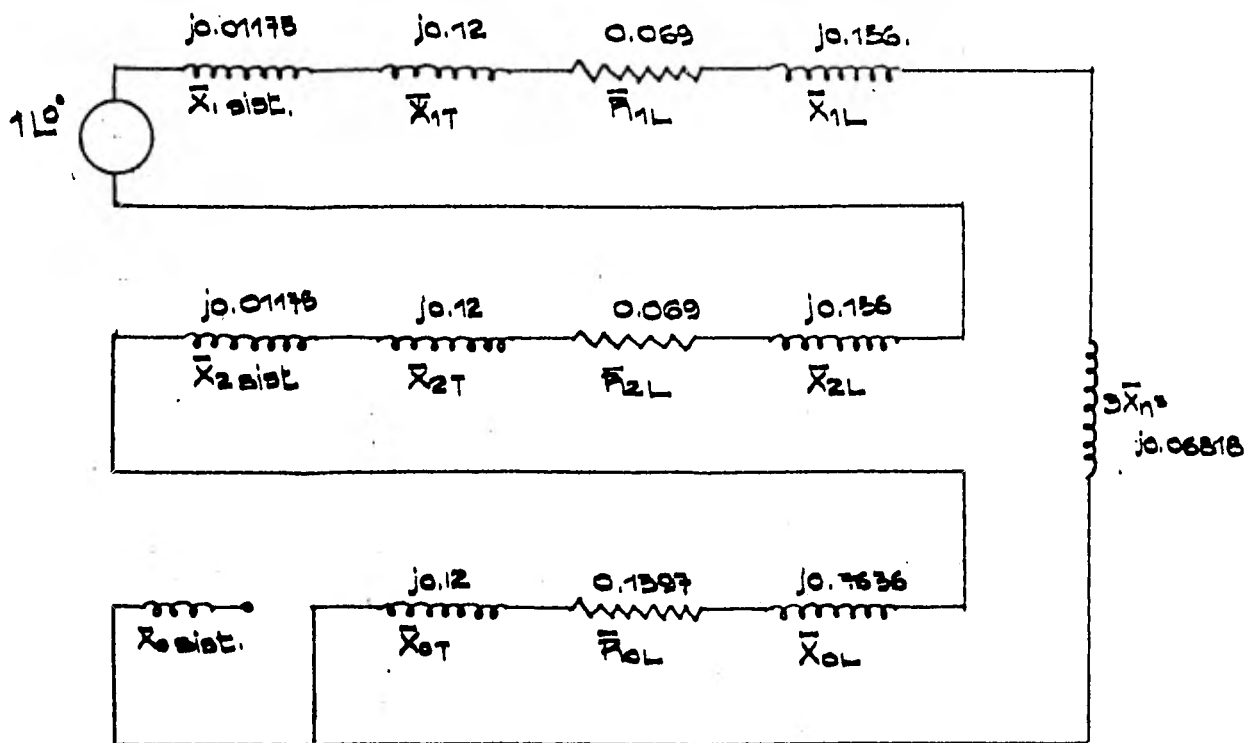
$$K_m = 7.025$$

$$R = (0.17319 \Omega/\text{km})(7.025 \text{ km}) = 1.216 \Omega \Rightarrow \bar{R} = \frac{1.216}{17.6} = 0.069 \text{ p.u.}$$

$$X_L = (0.3914 \Omega/\text{km})(7.025 \text{ km}) = 2.749 \Omega \Rightarrow \bar{X}_L = \frac{2.749}{17.6} = 0.156 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_L = 0.069 + j0.156 \text{ p.u.}$$

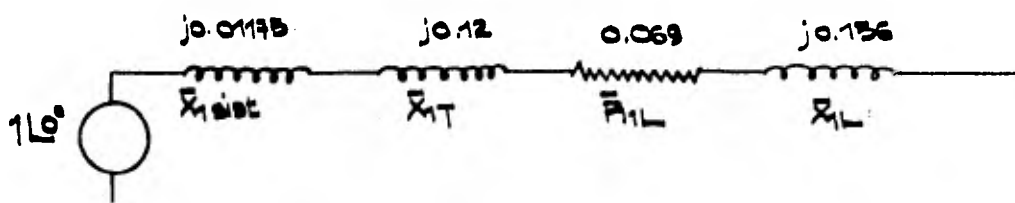
$$\bar{Z}_0 = (0.0199 + j0.1086) \times 7.025 = 0.1397 + j0.7636 \text{ p.u.}$$



$$MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \times 50}{(j0.01175)^2 + (j0.12)^2 + j0.06818 + (0.069 + j0.156)^2 + 0.1397 + j0.7636} =$$

$$MVA_{cc1\phi} = 58.92 \text{ p.u.}$$

$$\therefore I_{cc1\phi} = 1479.22 \text{ amp.}$$



$$MVA_{cc3\phi} = \frac{50}{j0.01175 + j0.12 + 0.069 + j0.156} = 104.25 \text{ p.u.}$$

$$\therefore I_{cc3\phi} = 2617.08 \text{ amp.}$$

Cálculo de corto circuito monofásico en el punto ABC/3:

$$Km = 9.8 \text{ Km.}$$

$$R = \Omega / Km = 0.17319 \Rightarrow \Omega = 1.6972 \Rightarrow \bar{R} = 0.0964 \text{ p.u.}$$

$$X_L = \Omega / Km = 0.3914 \Rightarrow \Omega = 3.835 \Rightarrow \bar{X}_L = 0.2179 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_L = 0.0964 + j0.2179 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_0 = (0.0199 + j0.1087) \times 9.8 = 0.195 + j1.065$$

$$MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \times 30}{j0.0175 \times 2 + j0.12 \times 3 + (0.0964 + j0.2179) \times 2 + j0.06818 + 0.195 + j1.065} =$$

$$MVA_{cc1\phi} = 46.095$$

$$\tilde{I}_{cc1\phi} = 1157.09 \text{ Amp.}$$

$$MVA_{cc3\phi} = \frac{30}{j0.0175 + j0.12 + 0.0964 + j0.2179} = 85.60$$

$$\tilde{I}_{cc3\phi} = 2155.76 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/4:

$$Km = 7.125$$

$$R = \Omega / Km = 0.17319 \Rightarrow \Omega = 1.235 \Rightarrow \bar{R} = 0.07 \text{ p.u.}$$

$$X_L = \Omega / Km = 0.3914 \Rightarrow \Omega = 2.788 \Rightarrow \bar{X}_L = 0.156 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_L = \bar{Z}_{L_2} = 0.0701 + j0.1565$$

$$\bar{Z}_0 = (0.0199 + j0.1087) \times 7.125 = 0.1418 + j0.7745$$

$$MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \times 30}{j0.0175 \times 2 + j0.12 \times 3 + j0.06818 + 2(0.0701 + j0.1565) + 0.1418 + j0.7745} =$$

$$MVA_{cc1\phi} = 57.57 \text{ MVA.}$$

$$\tilde{I}_{cc1\phi} = 1440.17 \text{ Amp.}$$

Corto circuito trifásico punto ABC/4:

$$MVA_{cc3\phi} = \frac{30}{j0.13175 + j0.158} = 105.55 \text{ MVA}$$

$$\tilde{I}_{cc3\phi} = 2599.01 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/5:

$$km = 8.05$$

$$R = \Omega/km = 0.1739 \Rightarrow \underline{R} = 1.399 \Rightarrow \bar{R} = 0.079 \text{ p.u.}$$

$$X_L = \Omega/km = 0.3914 \Rightarrow \underline{X}_L = 3.15 \Rightarrow \bar{X}_L = 0.179 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_{L1} = \bar{Z}_{L2} = 0.079 + j0.179 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_0 = 8.05(0.0199 + j0.1087) = 0.16 + j0.875 \text{ p.u.}$$

$$MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \times 30}{j0.01175 \times 2 + j0.12 \times 3 + j0.06818 + 2(0.079 + j0.179) + 0.16 + j0.875}$$

$$MVA_{cc1\phi} = 53.42$$

$$\tilde{I}_{cc1\phi} = 1341.024 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/6:

$$km = 9$$

$$R = \Omega/km = 0.17319 \Rightarrow \underline{R} = 1.558 \Rightarrow \bar{R} = 0.088 \text{ p.u.}$$

$$X_L = \Omega/km = 0.3914 \Rightarrow \underline{X}_L = 3.552 \Rightarrow \bar{X}_L = 0.2 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_{L1} = \bar{Z}_{L2} = 0.088 + j0.2 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_0 = 9(0.0199 + j0.1087) = 0.1791 + j0.9783 \text{ p.u.}$$

$$MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \times 30}{j0.01175 \times 2 + j0.12 \times 3 + j0.06818 + 2(0.0885 + j0.2) + 0.1791 + j0.9783} =$$

$$MVA_{cc1\phi} = 48.275$$

$$\tilde{I}_{cc1\phi} = 1211.808 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla trifásica en el punto ABC/6:

$$MVA_{cc3\phi} = \frac{50}{j0.13175 + j0.2} = 90.42 \text{ MVA}$$

$$\boxed{\tilde{I}_{cc3\phi} = 2269.97 \text{ Amp.}}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/7:

El ramal que va de ABC/6 a ABC/7 está compuesto por un tramo de ACSN 1/0 que mide 0.775 Km y otro tramo de ACSN 2 que mide 1.225 Km. La disposición de los conductores es igual que, para el tramo de ALD.

Cálculo de \tilde{Z}_0 para el tramo de ACSN 1/0:

de tablas:

$$R = 0.536 \Omega/\text{km.}$$

$$X_L = 0.4394 \Omega/\text{km.}$$

$$r_g = \text{radio medio geométrico} = 0.00446 \text{ ft} = 0.00446 \text{ ft} \times \frac{30.5 \text{ cm}}{1 \text{ ft}}$$

$$r_g = 0.13605 \text{ cm.}$$

$$\tilde{Z}_0 = 0.536 + j0.002964(60) + j0.008676(60) \log_{10} \frac{693 \sqrt{10960} \text{ m} \times 100 \text{ cm/m}}{\sqrt{0.13605(60)^2}}$$

$$\tilde{Z}_0 = 0.71584 + j2.038 \Omega/\text{km.}$$

$$\tilde{Z}_0 = \frac{Z_0}{\tilde{Z}_{base}} = \frac{0.71584 + j2.038}{17.6} = \boxed{0.04055 + j0.11579 \text{ p.u./km.}}$$

Cálculo de \tilde{Z}_0 para el tramo de ACSN 2:

de tablas:

$$R = 0.855 \Omega/\text{km.}$$

$$X_L = 0.4569 \Omega/\text{km.}$$

$$r_g = 0.00418 \text{ ft} \times \frac{30.5 \text{ cm}}{1 \text{ ft}} = 0.12749 \text{ cm.}$$

$$Z_0 = 0.853 + 0.002964(60) + j0.008676(60) \log_{10} \frac{658\sqrt{100/60} \times 100}{\sqrt[3]{0.12749(90)^2}}$$

$$\bar{Z}_0 = 1.05084 + j2.0429 \Omega/\text{km.}$$

$$\bar{Z}_0 = 0.0585 + j0.11607 \text{ pu/km.}$$

∴ En el punto ABC/7 se tiene el siguiente valor de impedancia:

$$\bar{Z} = \frac{0.536 \times 0.775}{17.6} + \frac{0.853 \times 1.225}{17.6} + 0.088 \text{ pu.} = 0.1709 \text{ pu.}$$

$$X_L = \frac{0.4594 \times 0.775 \text{ km.}}{17.6} + \frac{0.4567 \times 1.225 \text{ km.}}{17.6} + 0.2 \text{ pu.} = 0.2511 \text{ pu.}$$

$$\bar{Z}_{L1} = \bar{Z}_{L2} = 0.1709 + j0.2511 \text{ p.u.}$$

$$\bar{Z}_0 = 0.775(0.4053 + j0.11579) + 1.225(0.0585 + j0.11607) + 0.1791 + j0.9783$$

$$\bar{Z}_0 = 0.28218 + j1.21022 \text{ p.u.}$$

$$MVA_{cc1\phi} = \frac{3 \times 30}{j0.01195 \times 2 + j0.12 + j0.06818 + 2(0.1709 + j0.2511) + 0.28218 + j1.21022} =$$

$$MVA_{cc1\phi} = 41.567$$

$$\bar{I}_{cc1\phi} = 1043.94 \text{ Amp.}$$

$$MVA_{cc3\phi} = \frac{30}{j0.01195 + j0.12 + 0.1709 + j0.2511} = 78.359$$

$$\bar{I}_{cc3\phi} = 1966.98 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/8:

$$K_m = 11.95$$

$$\bar{F} = 0.17319 \times 11.95 / 17.6 = 0.117 \text{ p.u.}$$

$$\bar{X}_L = 0.9914 \times 11.95 / 17.6 = 0.265 \text{ p.u.}$$

$$\bar{E}_{L_1} = \bar{E}_{L_2} = 0.117 + j0.265 \text{ p.u.}$$

$$\bar{E}_0 = 11.95(0.0199 + j0.1087) = 0.2378 + j1.299 \text{ p.u.}$$

$$MVA_{\text{cmf}} = \frac{3 \times 30}{j0.01175 \times 2 + j0.12 \times 3 + j0.06518 + 2(0.1176 + j0.2357) + 0.2378 + j1.299}$$

$$MVA_{\text{cc1}\phi} = 58.62 \text{ MVA}$$

$$\tilde{I}_{\text{cc1}\phi} = 969.61 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla trifásica en el punto ABC/8:

$$MVA_{\text{cc3}\phi} = \frac{30}{j0.12175 + j0.265} = 76.61 \text{ MVA.}$$

$$\tilde{I}_{\text{cc3}\phi} = 1896.085 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/9:

$$K_m = 13.9$$

$$\bar{F} = 0.17319 \times 13.9 / 17.6 = 0.1367 \text{ p.u.}$$

$$0.9914 \times 13.9 / 17.6 = 0.3091 \text{ p.u.}$$

$$\bar{E}_{L_2} = 0.1367 + j0.3091 \text{ p.u.}$$

$$13.9(0.0199 + j0.1087) = 0.2766 + j1.5109 \text{ p.u.}$$

$$= \frac{3 \times 30}{j0.01175 \times 2 + j0.12 \times 3 + j0.06518 + 2(0.1367 + j0.3091) + 0.2766 + j1.5109} =$$

$$MVA_{\text{cc1}\phi} = 54.57 \text{ MVA}$$

$$\tilde{I}_{\text{cc1}\phi} = 875.39 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/10:

$$Km = 12.65$$

$$\bar{A} = 0.17319 \times 12.65 / 17.6 = 0.1244 \text{ p.u.}$$

$$\bar{X}_{L_2} = 0.3914 \times 12.65 / 17.6 = 0.281 \text{ p.u.}$$

$$\bar{E}_{L_1} = \bar{E}_{L_2} = 0.1244 + j0.281 \text{ p.u.}$$

$$\bar{E}_0 = 12.65(0.0199 + j0.1087) = 0.2517 + j1.375 \text{ p.u.}$$

$$MVA_{cc1\phi} = \frac{5 \times 30}{j0.0175 \times 2 + j0.12 \times 3 + j0.06818 + 2(0.1244 + j0.281) + 0.2517 + j1.375} =$$

$$MVA_{cc1\phi} = 37.67 \text{ MVA.}$$

$$\bar{I}_{cc1\phi} = 945.79 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla trifásica en el punto ABC/10:

$$MVA_{cc3\phi} = \frac{30}{j0.13175 + j0.281} = 72.68 \text{ MVA}$$

$$\bar{I}_{cc3\phi} = 1824.509 \text{ Amp.}$$

Corriente de falla monofásica en el punto ABC/11:

$$Km = 14.35$$

$$\bar{A} = 0.17319 \times 14.35 / 17.6 = 0.1412$$

$$\bar{X}_{L_2} = 0.3914 \times 14.35 / 17.6 = 0.3191$$

$$\bar{E}_{L_1} = \bar{E}_{L_2} = 0.1412 + j0.3191 \text{ p.u.}$$

$$\bar{E}_0 = 14.35(0.0199 + j0.1087) = 0.2855 + j1.5598 \text{ p.u.}$$

$$MVA_{cc1\phi} = \frac{5 \times 30}{j0.0175 \times 2 + j0.12 \times 3 + j0.06818 + 2(0.1412 + j0.3191) + 0.2855 + j1.5598} =$$

$$MVA_{cc1\phi} = 33.86 \text{ MVA.}$$

$$\bar{I}_{cc1\phi} = 852.63 \text{ Amp.}$$

PUNTO	DISTANCIA (K.m.)	IMPEDANCIA TOTAL DE FALLA TRIFASICA. (ohms.)	IMPEDANCIA TOTAL DE FALLA MONOFASICA. (ohms.)	CAPACIDAD CORTOCIRCU- TO TRIFASICO (M.VA)	CAPACIDAD DE CORTOCIRCU- TO MONOFASI- CO. (M.V.A.)	CORRIENTE CORTOCIRCUITO TRIFASICO (A m.p.)	CORRIENTE CORTOCIRCUITO MONOFASICO (A m.p.)	CORRIENTE DE CARGAS. (Amp.)
ABC/1		0.1318	0.4510	227.70	199.55	5715.76	5009.14	163.79
ABC/2	7.025	0.2877	1.5275	104.25	58.92	2617.08	1479.22	68.72
ABC/3	9.8	0.3496	1.9524	85.80	46.095	2153.76	1157.09	17.0
ABC/4	7.125	0.2897	1.5687	103.53	57.37	2599.01	1440.17	5.65
ABC/5	8.05		1.6847		53.42		1341.02	
ABC/6	9.0	0.3318	1.8643	90.42	48.27	2269.97	1211.81	14.12
ABC/7	2	0.3828	2.1641	78.36	41.587	1966.98	1043.94	14.0
ABC/8	11.95	0.3916	2.3303	76.61	38.62	1898.09	969.61	5.65
ABC/9	13.9		2.5810		34.97		875.39	
ABC/10	12.65	0.4127	2.3891	72.68	37.67	1824.51	945.79	1.88
ABC/11	14.35		2.6501		33.96		852.63	

TABLA 7.1 DATOS DESCRIPTIVOS DEL CALCULO DE CORTOCIRCUITO DE LOS PUNTOS CONSIDERADOS DEL ALIMENTADOR DE 23 KV.

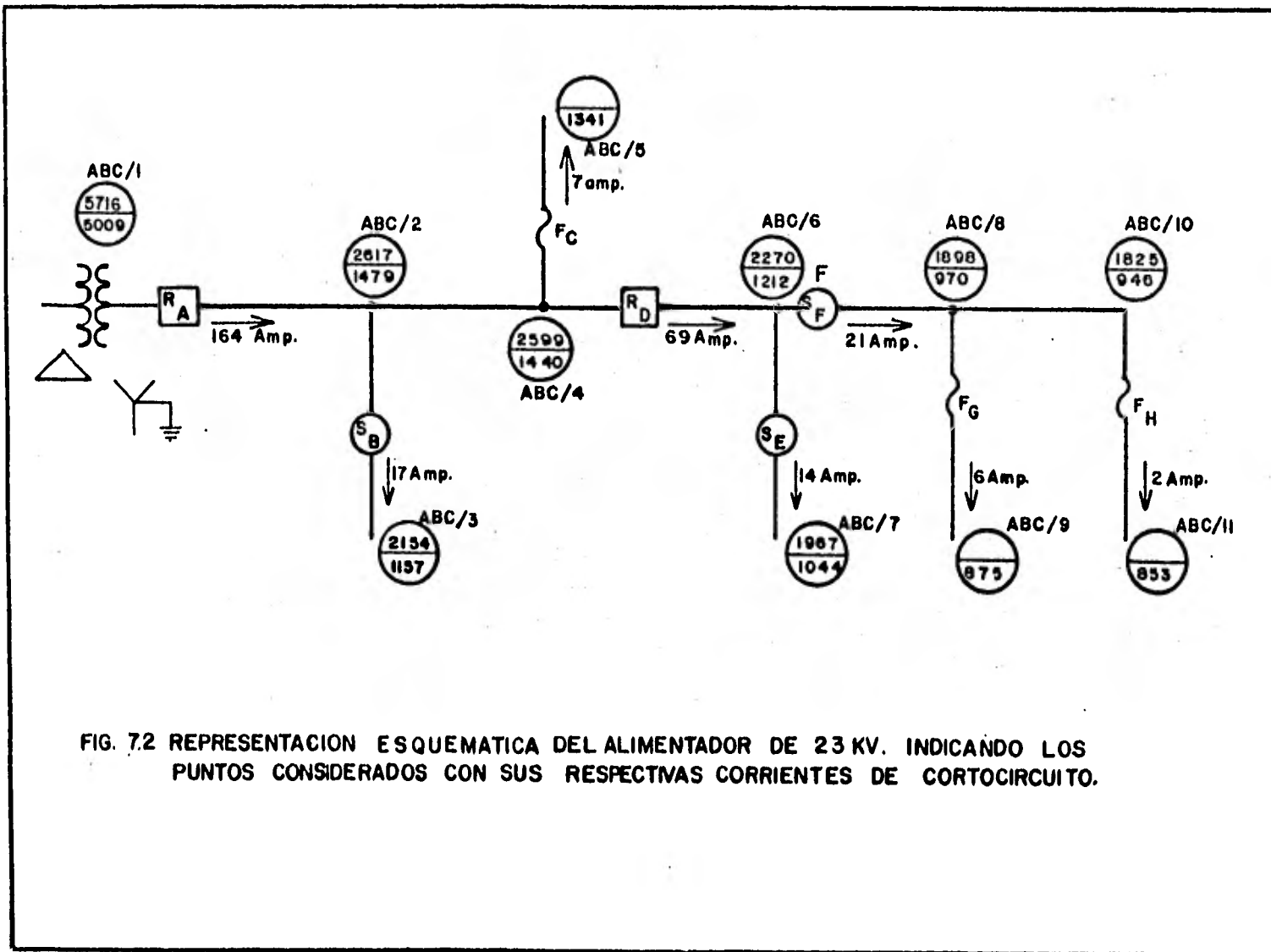


FIG. 7.2 REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL ALIMENTADOR DE 23 KV. INDICANDO LOS PUNTOS CONSIDERADOS CON SUS RESPECTIVAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO.

SELECCION Y COORDINACION DEL EQUIPO DE PROTECCION.

Restaurador "A".

Este restaurador está localizado en la salida de la subestación.

El seccionador B, el fusible C y el restaurador D deben coordinarse con este restaurador de manera que para cualquier falla entre los puntos ABC/2, ABC/3, ABC/4 y ABC/5, el circuito sea primeramente interrumpido por el restaurador A en su primera operación rápida; si la falla persiste, ésta será librada por el seccionador B, el fusible C ó el restaurador D, dependiendo de la localización de la falla.

Este restaurador A debe ser capaz de interrumpir cualquier falla que ocurra entre los puntos ABC/1 y ABC/2.

De acuerdo a la corriente de carga de 164 Amp. y una corriente de falla máxima de 5716 Amp., como se observa en la fig. 7.2, el restaurador apropiado es un tipo RV hidráulico con una bobina serie de disparo de 185 Amp., con capacidad de interrupción de 6000 Amp. para 24.9 KV (es suficiente para interrumpir 5716 Amp. en el secundario de la subestación, además este restaurador puede soportar una corriente nominal de 400 Amp., proporcionando capacidad para futuros crecimientos de carga). La corriente de carga permanente es de 164 Amp., menor que los 185 Amp. de capacidad del restaurador. Sin embargo, requerimientos más amplios del sistema dictan que este restaura-

dor debe responder a un valor de corriente de fase a tierra de 1341 Amp. existente al final del ramal que protege el fusible C. Como el valor de disparo mínimo del restaurador es el 200% de su capacidad nominal de su bobina, este valor es de 370 Amp., el cual permite al restaurador detectar el nivel mínimo de corriente de falla de 1341 Amp. en el punto ABC/5. En caso contrario, si el valor de disparo mínimo fuera mayor que el nivel de corriente de falla, se utilizaría un accesorio de disparo a tierra.

Por otra parte, como el fusible C, el seccionador B y el restaurador D se tienen que coordinar con el restaurador A, se puede seleccionar una secuencia 1A3B ó 2A2B. Pero la más adecuada es una secuencia 2A2B, ya que el restaurador en la primera apertura en su curva rápida libera alrededor del 80% de las fallas temporales, mientras que la segunda apertura libera aproximadamente otro 10% de fallas temporales. Antes de la tercera apertura, el fusible fundirá interrumpiendo fallas persistentes ó permanentes.

Por lo tanto, una selección lógica para este restaurador A es un tipo hidráulico trifásico con bobina de disparo serie de 185 Amp. y secuencia de operación 2A2B con tiempo de recierre de 120 ciclos.

Seccionador "B".

Este seccionador protegerá del punto ABC/2 al ABC/3. En este punto la corriente de carga es de 17 Amp., y debe soportar una corriente -

máxima de falla de 2617 Amp. y responder a una corriente de falla mínima de fase a tierra de 1157-Amp.

Por lo tanto, refiriéndonos a la tabla de seccionadores (tabla 5.2), una selección apropiada para este seccionador es un tipo GW electrónico para 24.9 KV entre fases con capacidad de corriente permanente de 400 Amp., corriente actuante de 320 Amp., el cual permite a este secciona-dor detectar el nivel mínimo de corriente de falla de 1157 Amp. y proporciona capacidad para futuros crecimientos de carga. Además, se deberá -ajustar a 3 cuentas para su apertura final. Tam-bién se debe verificar que los niveles de corriente de falla no excedan las capacidades de corriente de tiempo breve del seccionador. Este seccionador "B" puede experimentar 3500 Amp. de corriente de falla 3 veces antes de abrir, por lo cual si -soporta la falla trifásica mínima de 2154 Amp.

Fusible "C".

Este fusible protegerá del punto ABC/4 al ABC/5. En este punto la corriente de carga esde 7 Amp. y debe coordinar con el restaurador A -para todas las corrientes entre la máxima corriente de falla de 2599 Amp. y la mínima corriente de falla de fase a tierra de 1341 Amp. existentes en el ramal protegido por el fusible.

Como se escogió una secuencia de operación de 2A2B para el restaurador A, para un intervalo de recierre de 120 ciclos, la curva "A" (curva rápida) debe multiplicarse por un factor de -

1.35, como se observa en la tabla 7.2. Este factor es debido a que todas las operaciones del restaurador deben ser más rápidas que la curva de fusión mínima del fusible. Esto es realizado con el uso del factor de multiplicación apropiado en la curva rápida tiempo-corriente del restaurador para prevenir daño ó fatiga al fusible.

Se escogen fusibles 80T, debido a que su punto máximo de coordinación del cruce de la curva rápida del restaurador, multiplicado por el factor de 1.35 y la curva de fusión mínima del fusible es aproximadamente de 2800 Amp., el cual es suficiente para permitir al restaurador libre la falla máxima de 2599 Amp. con su curva rápida "A". En caso contrario, si se tiene un punto de coordinación máximo, menor a la falla máxima, para cualquier corriente de falla superior al valor del punto de coordinación máximo, el fusible deberá fundir antes que el restaurador pueda librar la falla en su curva rápida.

De la gráfica 7.3, el tiempo máximo de libramiento para el restaurador, en su curva rápida, a una corriente de falla de 2599 Amp. es 0.04 seg., aplicando el factor de multiplicación de 1.35 tomando de la tabla 7.2 para un restaurador con una secuencia de 2A2B, un tiempo de recierre de 2 seg.; el tiempo máximo de libramiento ajustado es de 0.054 seg. Para la coordinación entre restaurador y fusible, este valor de 0.054 seg. debe ser más rápido que el tiempo mínimo de fusión del elemento fusible.

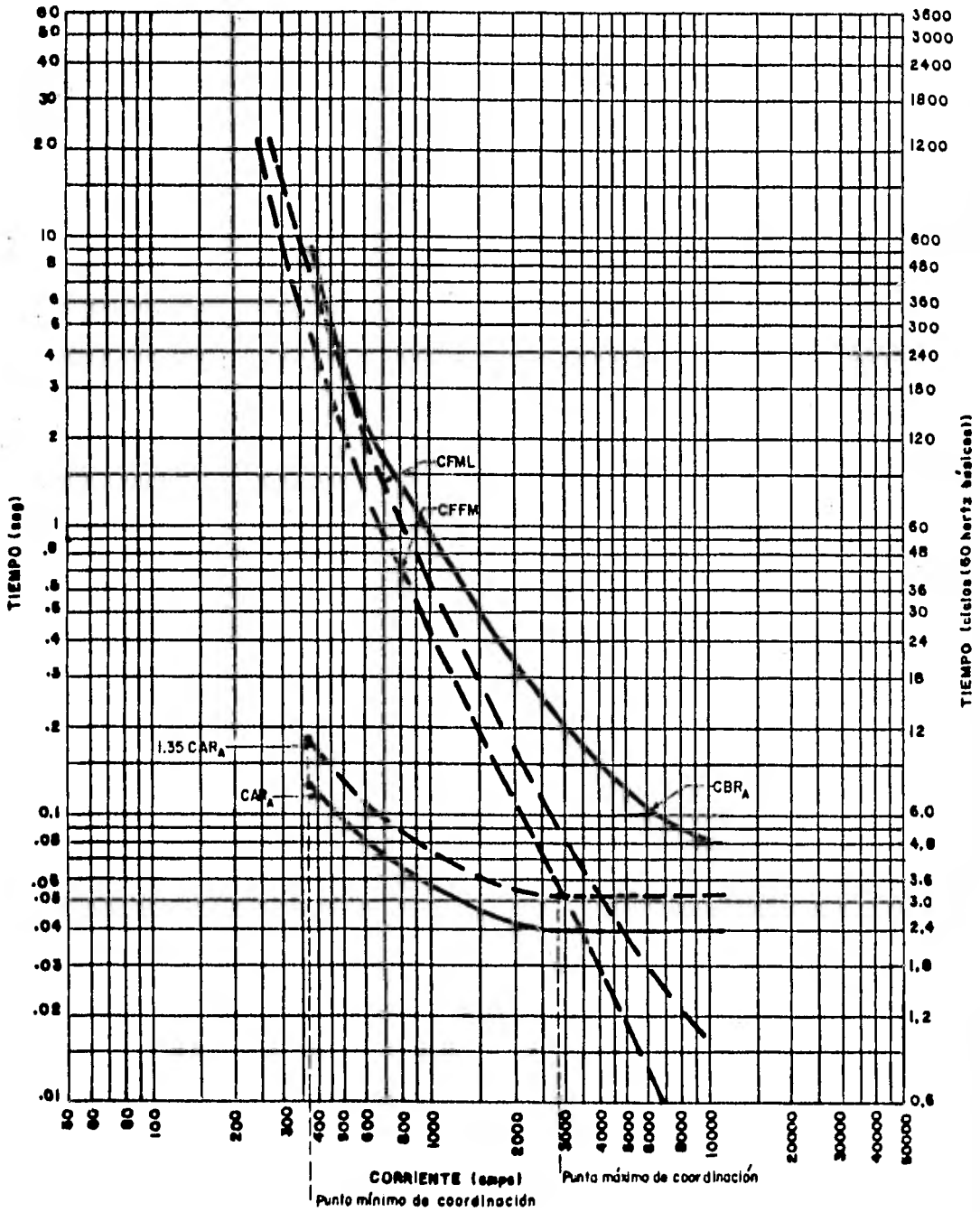
TABLA. 7. 2

FACTOR K. PARA COORDINACION RESTAURADOR EN LADO FUENTE CON FUSIBLE EN LADO CARGA

<u>TIEMPO DE RECIERRE EN CICLOS</u>	<u>UNA OPERACION RAPIDA</u>		<u>DOS OPERACIONES RAPIDAS</u>	
	<u>PROMEDIO</u>	<u>MAXIMO</u>	<u>PROMEDIO</u>	<u>MAXIMO</u>
25 - 30	1.3	1.2	2.0	1.8
60	1.3	1.2	1.5	1.35
90	1.3	1.2	1.5	1.35
120	1.3	1.2	1.5	1.35

El valor promedio y maximo son utilizados, dependiendo del dato de la curva rápida si es a valores máximos o medios.

Fig. 7.3.- Representación gráfica de la coordinación del restorador "A" con el fusible "C".



Un elemento fusible 80T funde en 0.068 seg. aproximadamente a 2599 Amp., además soporta adecuadamente la corriente de carga de 7 Amp., de este modo existe coordinación.

El tiempo de libramiento del restaurador en su curva retardada "B" a 2599 Amp. es aproximadamente de 0.25 seg., mientras que el tiempo máximo de libramiento del elemento fusible 80T a 2599 Amp. es aproximadamente de 0.11 seg.

Mediante la comparación de las características tiempo-corriente a valores de corriente menores, se observa que la coordinación existe entre el fusible 80T y el restaurador con bobinas de disparo de 185 Amp. para el disparo mínimo de fase del restaurador a 370 Amp.

Para determinar si existe coordinación a nivel de disparo mínimo por falla a tierra de 1341 Amp., las características del fusible deben ser comparadas con los valores tiempo-corriente de disparo por falla a tierra del restaurador.

De la misma gráfica, el tiempo de libramiento del restaurador en su curva rápida a 1341 Amp. es aproximadamente 0.05 seg.; aplicando el multiplicador de 1.35 el tiempo ajustado es de 0.068 seg. aproximadamente, el tiempo mínimo de fusión del elemento fusible a 1341 Amp. es aproximadamente de 0.26 seg.

El máximo tiempo de libramiento del elemento fusible 80T a 1341 Amp. es aproximadamen

te de 0.38 seg. comparado con 0.62 seg. del rest -
taurador en su curva retardada.

Comparando las características a otros niveles de corriente de falla se establece que el elemento fusible 80T coordina con un restaurador tipo RV hidráulico con bobinas de disparo de 185 Amp. con disparo por falla a tierra para todos los valores de corriente de falla desde la máxima corriente de falla de fase de 2600 Amp. a los 1341 Amp. de mínima falla a tierra.

Restaurador "D".

Este restaurador debe de coordinarse con el restaurador A, los seccionadores E y F, y los fusibles G y H, de modo que para cualquier falla entre los puntos ABC/6 y ABC/7, ABC/6 y ABC/8, ABC/8 y ABC/9, ABC/10 y ABC/11, el circuito sea primeramente interrumpido por el restaurador D en su operación rápida; si la falla persiste, éste será librada por los seccionadores o por los fusibles, dependiendo de la localización de la falla.

El restaurador D debe ser capaz de interrumpir cualquier falla que ocurra entre los puntos ABC/4 y ABC/6.

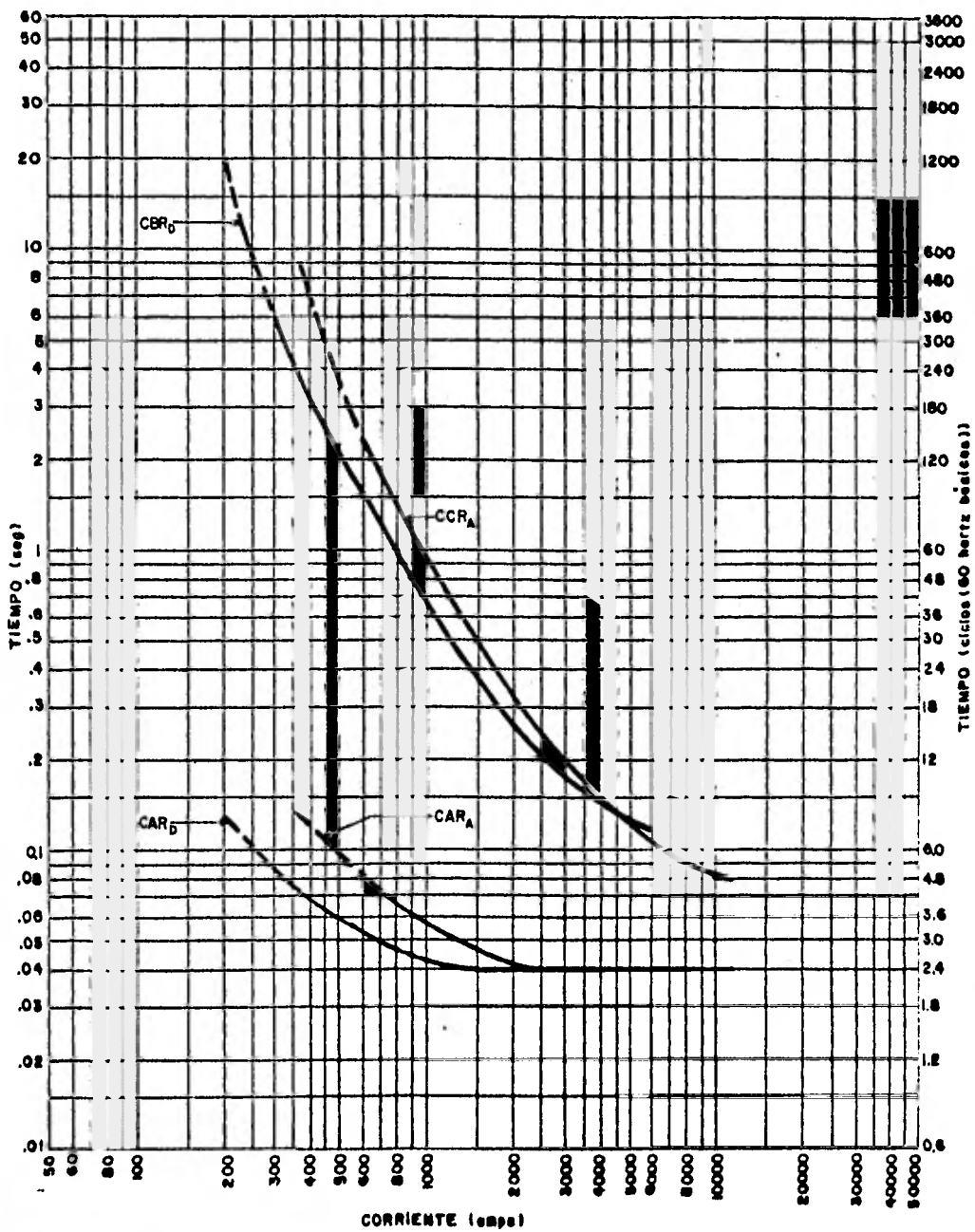
De acuerdo a la corriente de carga de 164 Amp. y a una corriente máxima de falla de 2599 Amp., el restaurador apropiado es un tipo RV hidráulico con una bobina serie de disparo de 100 Amp. con capacidad de interrupción de 6000 Amp. para 24.9 KV (es suficiente para interrumpir 2599 Amp. de falla máxima, además este restaurador puede soportar una corriente nominal de 400 Amp., proporcionando capacidad para futuros crecimientos de carga). La corriente de carga permanente es de 69 Amp., menor que los 100 Amp. de capacidad del restaurador. Sin embargo, requerimientos más amplios del sistema dictan que el restaurador D debe responder a un valor de corriente de falla de fase a tierra de 875 Amp. y 853 Amp. existentes al final de los ramales que protegen los fusibles G y H respectivamente.

Como los seccionadores y los fusibles deben de coordinarse con el restaurador D, se selecciona la secuencia de 2A2C. Debido a esta secuencia, el valor de disparo mínimo del restaurador es de aproximadamente 300 Amp., el cual permite al restaurador detectar el nivel mínimo de corriente de falla de 875 y 853 Amp. en los puntos ABC/9 y ABC/11. Si el valor de disparo mínimo fuera mayor que el nivel de corriente de falla, se utilizaría un accesorio de disparo a tierra.

Por lo anterior, una selección lógica para este interruptor D es un tipo hidráulico trifásico con bobinas de disparo serie de 100 Amp., secuencia de operación 2A2C y tiempo de recierre de 120 ciclos.

Otro punto muy importante es, como se observa en la fig. 7.4, que para cualquier falla en que operen los dos restauradores A y D siempre abrirá primero el restaurador D a pesar de que tiene una secuencia 2A2C (la curva C es más retardada que la curva B).

Fig. 4.- Representación gráfica de la coordinación del restaurador "A" con el restaurador "D".



Seccionador "E".

Este seccionador protegerá del punto - ABC/6 al ABC/7. En este punto la corriente de carga es de 14 Amp. y debe soportar una corriente máxima de falla de 2270 Amp. y responder a una falla mínima de fase a tierra de 1044 Amp.

Por lo tanto, refiriéndonos a la tabla de seccionadores 5.2, una selección adecuada para este seccionador es un tipo GW electrónico para - 24.9 KV entre fases, con capacidad de corriente - permanente de 400 Amp., corriente actuante de 160 Amp. y un ajuste de 3 cuentas para apertura final. También se debe verificar que los niveles de corriente de falla no excedan las capacidades de corriente de tiempo breve del seccionador. Este seccionador "E" puede experimentar 3500 Amp. de corriente de falla 3 veces antes de abrir, por lo cual si soporta la falla trifásica mínima de 1967 Amp.

Seccionador "F".

Este seccionador protegerá del punto - ABC/6 al ABC/8. En este punto la corriente de carga es de 21 Amp. y debe soportar una corriente máxima de 2270 Amp. y responder a una corriente de falla mínima de fase a tierra de 1044 Amp.

Por lo tanto, refiriéndonos a la tabla de seccionadores 5.2, una selección adecuada para este seccionador es un tipo GW electrónico con características idénticas a las del seccionar E.

También se debe verificar que los niveles de corriente de falla no excedan las capacidades de corriente de tiempo breve del seccionador. Este seccionador "F" puede experimentar 3500 Amp. de corriente de falla 3 veces antes de abrir, por lo cual si soporta la falla trifásica mínima de - 1898 Amp.

Fusible "G".

Este fusible protegerá del punto ABC/8 al ABC/9. En este punto la corriente de carga es de 6 Amp. y debe coordinar con el restaurador D - para todas las corrientes entre la máxima corriente de falla de fase 1898 Amp. y la mínima corriente de falla de fase a tierra de 875 Amp. existentes en el ramal protegido por este fusible.

La selección del fusible apropiado requiere la comparación entre las curvas características tiempo-corriente del restaurador y del elemento fusible.

Como se escogió una secuencia de operación 2A2C para el restaurador, con un intervalo de recierre de 120 ciclos, la curva rápida "A" debe multiplicarse por un factor de 1.35. Este factor es debido a que todas las operaciones del restaurador deben ser más rápidas que la curva de fusión mínima del fusible. Esto es realizado a través del uso de este factor de multiplicación apropiado en la curva rápida tiempo-corriente del restaurador para prevenir de daño ó fatiga al fusible.

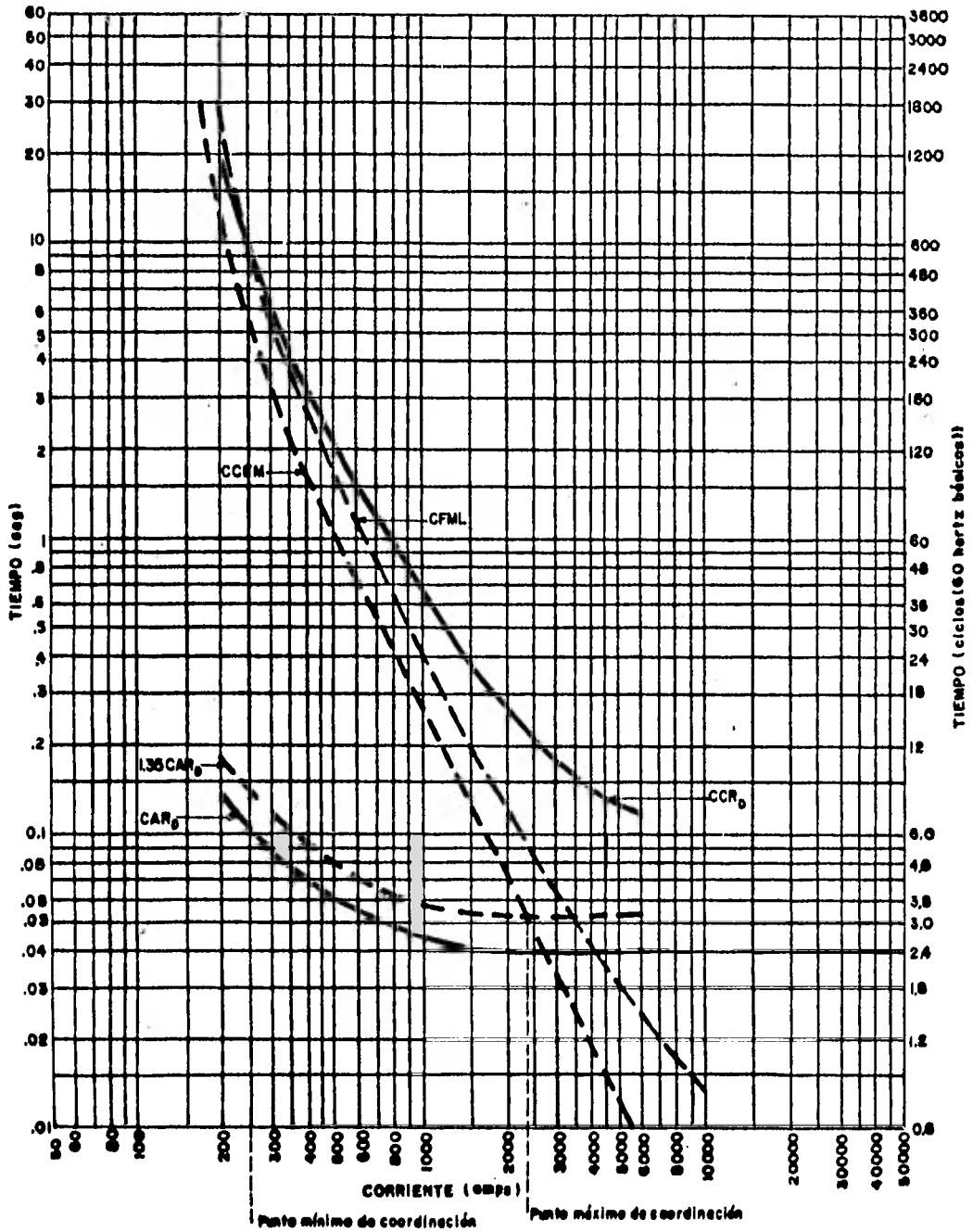
Se escogen fusibles 65T debido a que - su punto máximo de coordinación del cruce de la - curva rápida del restaurador multiplicado por el - factor de multiplicación de 1.35 y la curva de fu - sión mínima del fusible es aproximadamente 2400 - Amp., el cual es suficiente para permitir al res - taurador librar la falla máxima de 1898 Amp. con - su curva rápida "A". En caso contrario, si se tu - viera un punto de coordinación máximo menor a la - falla máxima, para cualquier corriente de falla - superior el valor del punto de coordinación máxi - mo, el fusible se fundiría antes de que el restau - rador pudiera librar la falla en su curva rápida.

De la gráfica 7.5, el tiempo máximo de libramiento para el restaurador, en su curva rápi - da, a una corriente de falla de 1898 Amp. es 0.04 seg.; aplicando un multiplicador de 1.35 tomando - de la tabla 7.2 para un restaurador con secuencia 2A2C y un tiempo de recierre de 120 ciclos, el - tiempo máximo de libramiento ajustado es de 0.054 seg. Para coordinación entre restaurador y fusi - ble, este tiempo de 0.054 seg. debe ser menor que el tiempo mínimo de fusión del elemento fusible.

Un elemento fusible 65 T funde en - 0.085 seg. aproximadamente a 1898 Amp., además so - porta adecuadamente la corriente de carga de 6 - Amp., de este modo, existe coordinación.

El tiempo de libramiento del restaura - dor en su curva retardada "C" a 1898 Amp. es apro - ximadamente de 0.27 seg., mientras que el tiempo - máximo de libramiento del elemento fusible 65T a 1898 Amp. es aproximadamente de 0.14 seg.

Fig.5.- Representación gráfica de la coordinación del restaurador "D" con el fusible "G" y el fusible "H."



Comparando las características tiempo-corriente a valores de corrientes menores, se observa que la coordinación existe entre el fusible 65T y el restaurador con bobinas de disparo de 100 Amp. para el disparo mínimo de fase de 300 Amp.

Para determinar si existe coordinación a nivel de disparo mínimo por falla a tierra de 875 Amp., las características del fusible deben ser comparadas con los valores tiempo-corriente de disparo por falla a tierra del restaurador.

De la misma gráfica, el tiempo de libramiento del restaurador en su curva rápida a 875 Amp. es aproximadamente de 0.045 seg.; aplicando el multiplicador de 1.35, el tiempo ajustado es de 0.06 seg. aproximadamente. El tiempo mínimo de fusión del elemento fusible a 875 Amp. es aproximadamente de 0.37 seg.

El tiempo de máximo libramiento del elemento fusible 65T Amp. a 875 Amp. es aproximadamente de 0.6 seg. comparado con alrededor de 0.84 seg. del restaurador en su curva retardada.

Comparando las características a otros niveles de corriente de falla se establece que el elemento fusible 65T coordina con un restaurador tipo RV hidráulico con bobinas de disparo de 100 Amp. con disparo por falla a tierra para todos los valores de corriente de falla, desde la máxima corriente de falla de fase de 1898 Amp. a los 875 Amp. de mínima falla a tierra.

Fusible "H"

Este fusible protegerá del punto ABC/10 al ABC/11. En este punto la corriente de carga es de 2 Amp. y debe coordinar, al igual que el fusible "G", con el restaurador "D" para todas las corrientes entre la máxima corriente de falla de fase de 1825 Amp. y la mínima corriente de falla de fase a tierra de 853 Amp. existentes en el ramal protegido por este fusible.

La selección del fusible apropiado requiere la comparación entre las curvas características tiempo-corriente del restaurador y del elemento fusible.

Como se escogió una secuencia de operación de 2A2C para el restaurador, para un intervalo de recierre de 120 ciclos, la curva rápida "A" debe multiplicarse por un factor de multiplicación de 1.35. Este factor es debido a que todas las operaciones del restaurador deben ser más rápidas que la curva de fusión mínima del fusible. Esto es realizado a través del uso de este factor de multiplicación apropiado en la curva rápida del restaurador para prevenir daño ó fatiga del fusible.

Se escogen fusibles 65T debido a que su punto máximo de coordinación del cruce de la curva rápida del restaurador multiplicado por el factor de 1.35 y la curva de fusión mínima del fusible es aproximadamente de 2400 Amp., el cual es suficiente para permitir al restaurador librar la falla máxima de 1825 Amp. con su curva rápida "A". En caso contrario, si se tiene un punto de coordinación máximo menor a la falla máxima, para cualquier co-

riente de falla superior al valor del punto de coordinación máximo, el fusible deberá fundir antes de que el restaurador pueda librar la falla en su curva rápida.

De la misma gráfica del fusible G, el tiempo máximo de libramiento para el restaurador en su curva rápida, a una corriente de falla de 1825 Amp. es 0.04 seg., aplicando en multiplicador de 1.35, el tiempo máximo de libramiento ajustado es de 0.054 seg. Para coordinación entre restaurador y fusible, este tiempo de 0.054 seg. debe ser menor que el tiempo mínimo de fusión del elemento fusible.

Un elemento fusible 65T funde en 0.09 seg. aproximadamente a 1825 Amp., además soporta adecuadamente la corriente de carga de 2 Amp., de este modo existe coordinación.

El tiempo de libramiento del restaurador en su curva retardada "C" a 1825 Amp. es aproximadamente de 0.30 seg., mientras que el tiempo máximo de libramiento del elemento fusible 65T a 1825 Amp. es aproximadamente de 0.16 seg.

Mediante comparación de las características tiempo-corriente a valores de corriente menores, se observa que la coordinación existe entre el fusible 65T y el restaurador con bobinas de disparo de 100 Amp. para el disparo mínimo de fase de 300 Amp.

Para determinar si existe coordinación a nivel de disparo mínimo por falla a tierra de 853 Amp., las características del fusible deben compararse con los valores tiempo-corriente de disparo por falla a tierra del restaurador.

De la misma gráfica, el tiempo de libramiento del restaurador en su curva rápida a 853 Amp. es aproximadamente 0.046 seg., aplicando el multiplicador de 1.35, el tiempo ajustado es de 0.062 seg. aproximadamente. El tiempo mínimo de fusión del elemento fusible a 853 Amp. es aproximadamente de 0.4 seg.

El máximo tiempo de libramiento del elemento fusible 65T a 853 Amp. es aproximadamente de 0.65 seg. comparado con alrededor de 0.9 seg. del restaurador en su curva retardada.

Comparando las características a otros niveles de corriente de falla se observa que el elemento fusible 65T coordina con un restaurador tipo RV hidráulico con bobinas de disparo de 100 Amp., con disparo por falla a tierra para todos los valores de corriente desde la máxima corriente de falla (trifásica) de 1825 Amp. hasta los 853 Amp. de mínima falla de fase a tierra.

DISPOSITIVO	RANGO DE CORRIENTE NOMINAL : AMPERES	DISPARO MÍNIMO DE FASE : AMPERES	DISPARO MINIMO DE TIERRA : AMPERES	CORRIENTE DE ACTUACION DE FASE : AMPERES	CORRIENTE DE ACTUACION DE TIERRA : AMPERES	SECUENCIA DE FASE.	SECUENCIA DE TIERRA
RA	185	370	370	—	—	2 A 2 B	2 A 2 B
RD	100	200	200	—	—	2 A 2 C	2 A 2 C
FC	80 T	—	—	—	—	—	—
FG	65 T	—	—	—	—	—	—
FH	65 T	—	—	—	—	—	—
SB	400	—	—	320	320	3 CUENTAS PARA APERTURA DEFINITIVA.	
SE	400	—	—	160	160	3 CUENTAS PARA APERTURA DEFINITIVA.	
SF	400	—	—	160	160	3 CUENTAS PARA APERTURA DEFINITIVA.	

TABLA 7.3- DATOS DESCRIPTIVOS DEL EQUIPO DE PROTECCION SELECCIONADO A USAR EN EL ALIMENTADOR DE 23 KV.

CAPITULO VIII

TENDENCIAS FUTURAS: AUTOMATIZACION DE LA PROTECCION Y CONTROL DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION.

El restaurador ha comprobado ser un dispositivo automático seccionalizante de confianza para sistemas de distribución de alto voltaje; el mejoramiento experimentado en circuitos protegidos por restauradores ha estimulado el interés en transferencia automática y esquemas automáticos de lazo abierto; además, el éxito experimentado con restauradores usando controles electrónicos adicionales ha creado el deseo de expandir el concepto de conmutación rápida de distribución a más circuitos.

El rápido aislamiento de la falla y la capacidad de restauración del servicio pueden lograrse y mantener además una operación flexible, mediante la instalación de un sistema de comunicación para controlar y supervisar remotamente las conmutaciones de distribución desde un puesto central de control; adicionalmente, la centralización del control remoto de conmutación de distribución tiene la potencialidad para el aislamiento automático de fallas y restablecimiento automático del servicio mediante un control computarizado.

Seccionalización automática.

El desarrollo del restaurador pudo solucionar muchos de los problemas de coordinación creados en lugares donde antes se usaban grandes fusibles. Los controles electrónicos del restaura

Los relés son más rápidos que los relevadores de disco rotatorio comúnmente usados para el control del interruptor de la subestación y pueden coordinarse fácilmente con ellos.

La tendencia a desarrollar altos voltajes de distribución y extensos circuitos con alta capacidad permite proveer buen servicio de voltaje al cliente a muchos kilómetros de la subestación, pero debido a la exposición adicional de la línea, la disponibilidad del servicio se deteriora a medida que la longitud del circuito aumenta. En este caso una solución será instalar un restaurador en un punto a la mitad de esos extensos circuitos de distribución para seccionar automáticamente. Cualquier falla que ocurra más allá de la mitad del circuito que no sea librada por un fusible, será detectada y aislada por el restaurador seccionalizante intermedio.

La seccionalización automática proporciona la misma operación para la primera mitad del circuito como si ésta fuera la longitud total del circuito. En adición, puesto que el restaurador localizado en un punto intermedio estará expuesto a una corriente más baja, podría hacerse un mejor ajuste en la sensibilidad para el restaurador que para el interruptor de la subestación. El restaurador intermedio detectaría y libraría más confiablemente las bajas corrientes de falla experimentadas cerca de los finales de esos largos circuitos.

Transferencia automática de carga- Restitución manual.

La necesidad de mejorar el suministro de energía, estimuló el interés en tener la capacidad de transferir automáticamente la carga. Esto se puede lograr mediante dos restauradores con controles electrónicos adicionales - como se muestra en la figura 8.1.

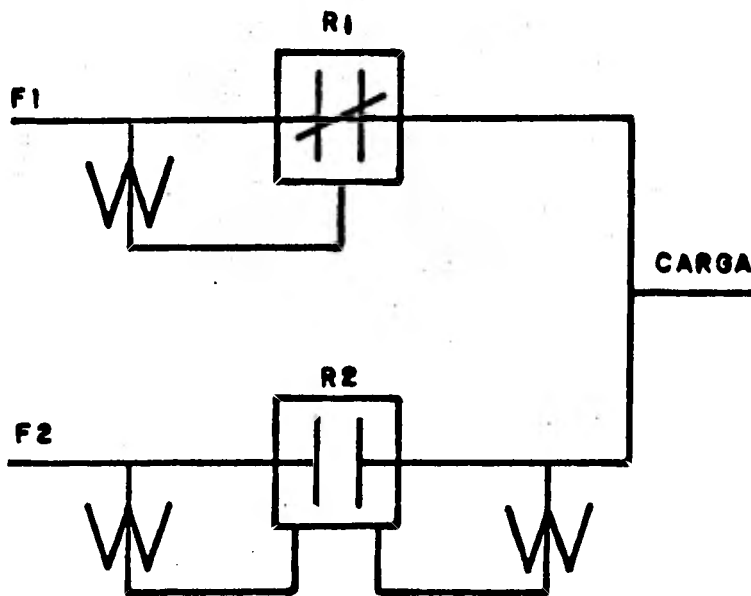


FIG. 8.1
TRANSFERENCIA AUTOMATICA DE CARGA
RESTITUCION MANUAL

El esquema consiste de un restaurador normalmente cerrado R1, el cual proporciona protección contra sobrecorriente a una carga; los controles adicionales del restaurador detectan el voltaje del circuito del lado de la fuente F1. Para proporcionar la capacidad de transferencia automática para la carga, se instala un restaurador manual de amarre normalmente abierto R2 a una alimentación alternativa F2; el control del restaurador supervisa el voltaje del circuito del lado de la carga.

La transferencia automática de carga se inicia por la pérdida de voltaje del circuito alimentador normal F1; si el voltaje del circuito normal no se restablece, después de un retardo preajustado de tiempo, el restaurador R1 abrirá. El restaurador de amarre R2, que supervisa la pérdida de voltaje en la carga, cierra después de un retardo de tiempo mayor; el control del restaurador R2 tiene un accesorio de bloqueo de recierre que se energiza desde el circuito de la fuente alternativa para evitar el cierre del restaurador si no está energizada la fuente alternativa. Después que se restablece el circuito normal; una operación manual de los restauradores los regresa a la operación normal.

Si ocurriera una falla permanente del lado de la carga el restaurador R1 del alimentador operará para abrir. El restaurador R2 detectará la pérdida de voltaje del lado de la carga y empezará su conteo; después de un retardo preajustado de tiempo el restaurador de amarre cerrará y detectando la corriente de falla también operará para abrir. Después de que la falla haya sido librada, el restaurador del alimentador normal cerrará manualmente para restaurar el servicio.

Transferencia automática de carga - Retorno automático.

Cuando el restaurador de alimentación y el restaurador de amarre están lo bastante cerca uno del otro, de tal manera que sea posible - que los dos controles sean alambrados conjuntamente como se muestra en la figura 8.2, las órdenes de estado y control pueden transmitirse entre los dos restauradores. Esto acelera la transferencia de carga ya que no se requiere de coordinación por retardo de tiempo.

Este eslabón de comunicación permite - operaciones adicionales para proporcionar los medios de establecer un retorno automático a la operación normal después de que el circuito normal - es restablecido, así como bloquear al restaurador de amarre para que no cierre durante una falla conocida.

Este esquema es un excelente medio para mejorar el servicio en un vulnerable sistema - de distribución radial donde se derivan cargas importantes, como puede ser un parque industrial, - un centro comercial o un gran hospital.

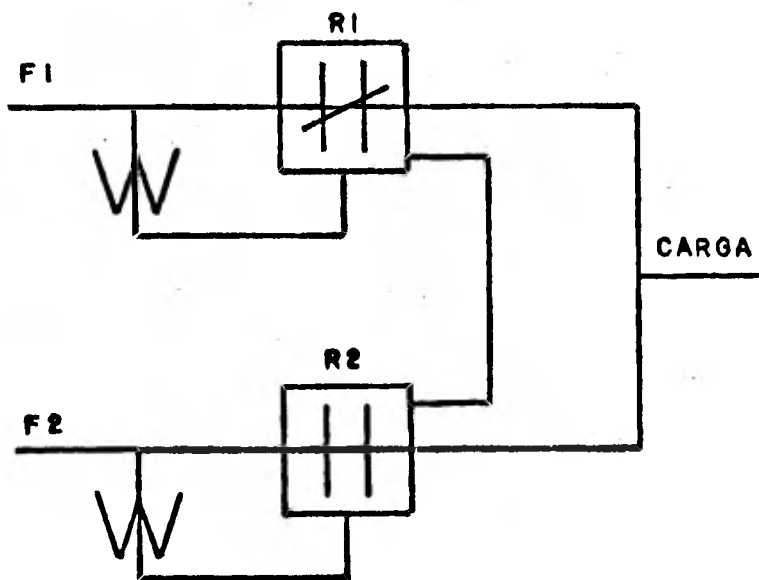


FIG. 8.2

TRANSFERENCIA AUTOMATICA DE CARGA
RESTITUCION AUTOMATICA

Esquema de lazo con restauradores automáticos.

La figura 8.3 muestra un esquema de lazo abierto automático que puede ser instalado entre dos circuitos de distribución radial usando 3 restauradores, 2 para seccionar y uno de amarre.- Si los restauradores seccionantes R1 ó R2 se instalan en el punto medio de cada uno de los dos circuitos con un restaurador de amarre RA uniendo los extremos de los circuitos, el restaurador seccionante R1 librerá las fallas permanentes en la segunda mitad de su circuito con lo cual mejorará el servicio de los consumidores de la primera mitad.

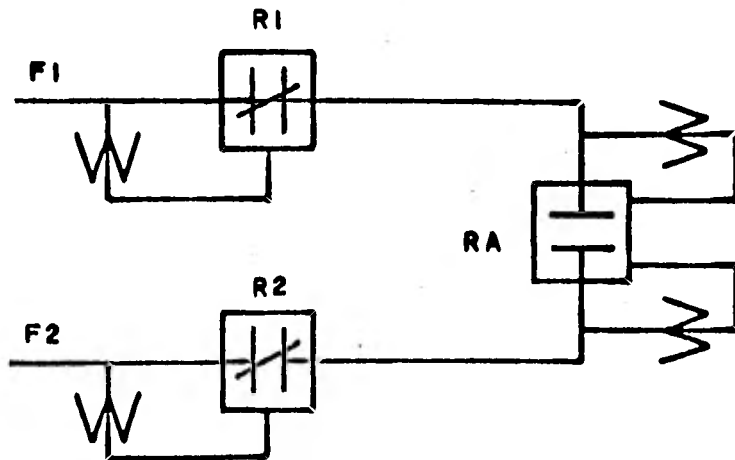


FIG. 8.3
ESQUEMA DE LAZO CON RESTAURADORES
AUTOMATICOS

Además, los controles del restaurador seccionalizante automático usado en un esquema de lazo identificarán las fallas permanentes en la primera mitad del circuito por la detección del voltaje del circuito en el lado de su fuente F1 y abrirá con una ausencia sostenida de este voltaje. El restaurador de amarre RA detecta el voltaje en los finales de ambos circuitos y cierra después de un retardo de tiempo con la ausencia de voltaje de un lado; esto restablece automáticamente el servicio a la segunda mitad del circuito bajo falla.

CONMUTACION REMOTA EN DISTRIBUCION.

La conmutación remota en distribución es el concepto de supervisar y operar remotamente dispositivos seccionadores en todo el sistema de distribución de alto voltaje. Esto no deberá confundirse, ni por lo tanto limitarse, con la automatización de distribución. Aunque la conmutación a control remoto sea operable desde una estación de control, también puede ser operada manualmente por un despachador.

La conmutación a control remoto en distribución requiere un sistema de comunicación de doble sentido, ya que se desea la supervisión del estado de operación del equipo y la transmisión de órdenes para cada dispositivo.

Ya que la coordinación del equipo es proporcionada por la central de control, no es necesario el control electrónico automático en don

de está localizado el operador de conmutación. Centralizando la coordinación de estos dispositivos - por conducto del despachador se puede instalar en serie un número ilimitado de dispositivos con control remoto (CR) como se muestra en la figura 8.4.

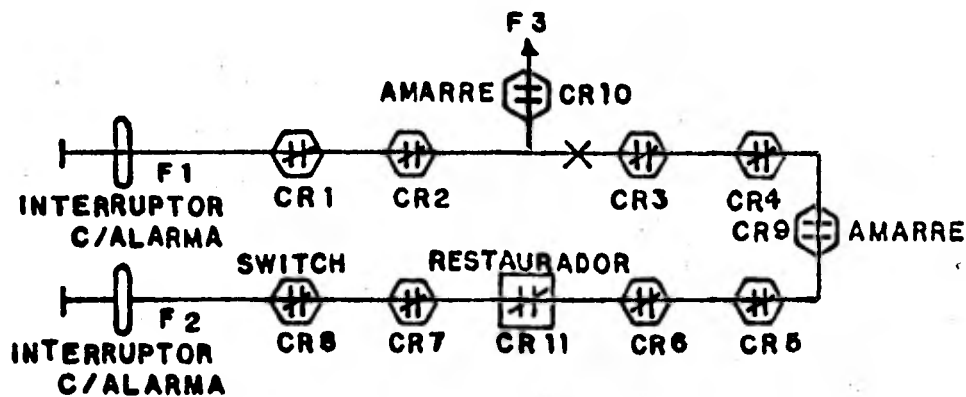


FIG. 8.4 SWITCHEO CR CON FALLA EN "X"

Las secciones del circuito entre dos dispositivos adyacentes controlados remotamente pueden hacerse tan cortas como se requiera; el grado de mejoramiento es directamente proporcional al número de operadores de conmutación controlados remotamente instalados. La ventaja de este concepto es que todos los dispositivos con control remoto de la red pueden ser observados desde el centro de control, proporcionando una información completa de la operación en cualquier momento.

Mediante la adición de un indicador de falla en cada localización de un dispositivo controlado remotamente, supervisado remotamente, puede hacerse un análisis de la red completa bajo condiciones de falla desde la estación central de control como se muestra en la figura 8.4, antes de iniciar cualquier operación de conmutación.

Mediante la supervisión de todos los indicadores de falla puede identificarse la sección fallada como la sección comprendida entre el último operador de conmutación que ve la corriente de falla (CR2) y el primer operador de conmutación (switch) más allá del cuál no se ve la corriente de falla (CR3). La falla puede entonces ser aislada por la apertura remota de estos dos operadores de conmutación, y puede restaurarse el área sin falla por vía rápida del interruptor de la subestación o por el restaurador y el operador de conmutación a control remoto de amarre apropiado.

El caballo de batalla de la operación a control remoto es un operador de conmutación de carga con control remoto y con indicador de falla. El operador de conmutación debe tener una energía almacenada para que en caso necesario permita varias operaciones para aislar la falla mientras que el circuito está desenergizado. El operador de conmutación a control remoto puede ser operado normalmente cerrado como un switch de línea o normalmente abierto como un switch de amarre. Esta flexibilidad permite transferir carga mediante el cambio del status de operación normal del operador de conmutación a control remoto.

Los requisitos para el sistema de comunicación de operación a control remoto son tan importantes como el sistema de potencia.

Debe proporcionarse un sistema de comunicación seguro y confiable para que la operación total del sistema sea satisfactoria. El canal de decomunicación debe ser seguro en el sentido de que solo el centro de control debe ser capaz de ope - rar remotamente un operador de conmutación, no - permitiendo que ninguna interferencia de radio dé una falsa operación inicial.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- REDES ELECTRICAS TOMOS I y II
ING. JACINTO VIQUEIRA LANDA.
- 2.- IMPEDANCE AND FAULT CURRENT CALCULATIONS
R.R. SMITH, WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP.
PUBLICACION IEEE.
- 3.- HIGH VOLTAGE FUSES - THEORY OF OPERACION
H. W. MIKULECKY, RTE CORP.
PUBLICACION IEEE.
- 4.- AUTOMATIC CIRCUIT RECLOSERS
CHARACTERISTICS AND APLICACION FACTORS
D.A. FISHER AND S.A. SEEKER
McGRAW EDISON Co.
PUBLICACION IEEE.
- 5.- AUTOMATIC LINE SECTIONALIZERS
CHARACTERISTICS AND APLICACION FACTORS
D.A. FISHER AND S.A. SEEKER
McGRAW EDISON Co.
PUBLICACION IEEE.
- 6.- COORDINATION OF SERIES OVERCURRENT DEVICES
ROBERT E. KOCH
GENERAL ELECTRIC Co.
PUBLICACION IEEE.
- 7.- SPECIAL SYSTEM CONSIDERATIONS AND PROBLEMS
R.E. HODDER
BOSTON EDISON Co.
PUBLICACION IEEE.