

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**APLICACIÓN DE FUSIBLES Y RECONECTADOR PARA
PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN AÉREA DE MEDIA TENSIÓN**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR :

RODOLFO MARTÍN RONCEROS BOCANEGRA

**PROMOCIÓN
1989 - II**

**LIMA-PERU
2006**

***APLICACIÓN DE FUSIBLES Y RECONECTADOR PARA
PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN AÉREA DE MEDIA TENSIÓN***

Dedico este trabajo a:

***Mis padres, Martín e Imelda, por su apoyo y preocupación constante,
Mi esposa e hijas, Salomé, Gianina y Emily, por la alegría de tenerlas.***

SUMARIO

El presente estudio muestra los principios de funcionamiento de los fusibles y reconectadores, como dispositivos de protección en líneas eléctricas de media tensión y el diseño de la coordinación de protección entre estos elementos. En el capítulo I aparece de forma muy resumida la teoría de fallas; se explica el concepto de la potencia de cortocircuito y su uso en la determinación de la impedancia equivalente de fuente y se presentan al final las ecuaciones que describen el comportamiento de las líneas eléctricas ante la ocurrencia de una falla.

En el capítulo II se detallan los principios de funcionamiento de los fusibles cinta tipo expulsión, los fusibles limitadores de corriente tipo cartucho y los reconectadores. Se muestran las curvas características tiempo-corriente y las curvas de limitación de corriente para el caso de los fusibles limitadores de corriente.

En el capítulo III se muestran los métodos de coordinación con curvas características tiempo-corriente entre fusibles cinta entre sí y entre fusibles y reconectadores.

Finalmente, en el Capítulo IV se presentan algunos casos de coordinación de la protección.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	3
FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN CON NEUTRO AISLADO	
1.1 Potencia de cortocircuito	3
1.2 Impedancias equivalentes de secuencia positiva, negativa y cero	3
1.3 Tipos de fallas	5
1.3.1 Falla monofásica a tierra a través de una impedancia	6
1.3.2 Falla bifásica a tierra a través de una impedancia	8
1.3.3 Falla bifásica a través de una impedancia	11
1.3.4 Falla trifásica	14
CAPÍTULO II	18
DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	
2.1 Sobrecorriente	18
2.2 Fusible	18
2.2.1 Fusible-Cinta tipo expulsión	19
a Cutout de distribución	19
b Características tiempo-corriente	21
c Normas de fusibles-cinta	22
2.2.2 Fusible Limitador de Corriente	27
a Principio de operación	28
b Operación con corrientes bajas	31
c Corriente nominal	31
d Capacidad de interrupción	31
e Corriente mínima de interrupción	31
f Selección de la corriente nominal (In)	33

g	Descripción de los tres tipos de fusibles limitadores de corriente	33
2.3	Reconectador	34
2.3.1	Clasificaciones del reconectador	35
a	Reconectores monofásicos	35
b	Reconectores trifásicos	35
c	Reconectores controlados hidráulicamente	35
d	Reconectores controlados electrónicamente	35
2.3.2	Actuador magnético	37
2.3.3	Ubicaciones del Reconectador	38
2.3.4	Factores de aplicación del recloser	39
2.3.5	Ajustes generales de la protección de cortocircuito de fase-fase de reconectador electrónico	41
a	Corriente Mínima de Disparo (Pickup)	41
b	Número de disparos	41
c	Tiempo de Recuperación	41
d	Tiempo muerto	41
e	Elemento de falla de fase	41
2.3.6	Aspectos que modifican las características de protección	41
a	Tiempo Mínimo de Respuesta	41
b	Retardo Adicional	42
CAPÍTULO III		43
COORDINACIÓN PARA EL DISEÑO DE LA PROTECCIÓN DE LÍNEA		
3.1	Reglas Básicas de coordinación	43
3.2	Coordinación para el diseño de la protección con fusible-cinta	44
3.3	Coordinación para el diseño de la protección con reconectador	46
3.3.1	Coordinación de reconectador y fusible cinta	47
a	Fusible en el lado de la fuente / reconectador en el lado de la carga	49
b	Recloser en el lado de la fuente / fusible en el lado de la carga	60
3.4	Coordinación del fusible limitador de corriente	65
3.4.1	coordinación Fusión del Juego	67
CAPITULO IV		71

CASOS REALES DE COORDINACIÓN DE LA PROTECCIÓN

- | | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Coordinación de protección para sobrecorriente entre reconectador y fusible de expulsión. | 71 |
| 4.2 | Interrupción parcial del alimentador por actuación de fusible limitador de corriente mal dimensionado. | 75 |

CONCLUSIONES 77**ANEXOS****BIBLIOGRAFÍA**

PRÓLOGO

Con las últimas legislaciones dadas en diversos países del mundo, entre ellos el Perú, la calidad de los servicios eléctricos, se ha vuelto una obligación cuyo incumplimiento es sancionado con penalidades económicas.

En Distribución Eléctrica, la calidad de los servicios eléctricos conlleva, entre otros parámetros, mínima cantidad y duración de las interrupciones.

Las interrupciones pueden ser: intencionales, es decir, programadas para labores de mantenimiento o reforma de las instalaciones eléctricas, e imprevistas, es decir, que ocurren por fallas en la red eléctrica.

Las fallas, pueden presentarse en cualquier punto de la red y las redes eléctricas deberían contar con sistemas de protección adecuados que permitan reducir al mínimo posible, la longitud de red interrumpida por fallas.

Dentro de los sistemas de protección para distribución, son usuales aquellos que protegen contra sobrecorriente y fallas a tierra.

En el presente estudio, hemos enfocado la atención a la protección de sobrecorriente por medio de fusibles de media tensión y reconectores. Si bien es cierto, que los fusibles son elementos que se remontan a bastantes años atrás y que vienen dejando paso a otros elementos de protección como son reconectores y seccionadores, no es menos cierto que son dispositivos de muy bajo costo comparado con otros equipos, por lo cual aún son elementos que compiten en la protección de sobrecorriente. Por su uso actual, es necesario conocer los criterios técnicos para seleccionar el fusible más apropiado en algún punto de la red.

Como se mencionó en el párrafo anterior, también se usan los reconectores (del inglés recloser) como protección de sobrecorriente. Este equipo permite reconectar automáticamente a la red, el tramo despejado por la interrupción, de acuerdo a un ajuste establecido. El diseño de la protección con recloser, comprende la determinación de las capacidades nominales del equipo así como la selección y ajuste de las curvas

características tiempo-corriente en cada operación de recierre y la secuencia de los disparos.

Para preparar el presente estudio, se han consultado mayormente la información suministrada por los fabricantes. En el idioma español no abunda la bibliografía respectiva.

CAPÍTULO I

FALLAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN CON NEUTRO AISLADO

1.1 Potencia de cortocircuito

Se define la potencia de cortocircuito como el producto de la magnitud de la corriente de cortocircuito por la magnitud del voltaje entre líneas nominal del sistema y por la raíz cuadrada de tres.

Por ejemplo, en el caso de un cortocircuito trifásico en el que la corriente de cortocircuito tenga una magnitud de $I_{cc3\phi}$, la potencia de cortocircuito trifásico es, por definición:

$$S_{cc3\phi} = \sqrt{3}VI_{cc3\phi} \quad (1.1)$$

Para un cortocircuito monofásico con una corriente de magnitud $I_{cc1\phi}$, la potencia de cortocircuito monofásico es, por definición:

$$S_{cc1\phi} = \sqrt{3}VI_{cc1\phi} \quad (1.2)$$

Aunque el valor de la corriente de cortocircuito representa en forma más directa el fenómeno físico del cortocircuito, es usual expresar la magnitud del cortocircuito en un punto de un sistema interconectado mediante la potencia de cortocircuito resultante en ese punto, calculada de acuerdo con la definición anterior y expresada en kVA o en MVA.

1.2 Impedancias equivalentes de secuencia positiva, negativa y cero de un sistema eléctrico

Una aproximación conveniente para los cálculos de falla del sistema de distribución es comenzar en la barra de bajo voltaje (voltaje secundario del transformador de potencia) de la subestación de distribución, calcular las corrientes para los varios tipos posibles de falla en ese punto, y alejadas de la subestación, repetir el procedimiento de cálculo en cada punto de interés del circuito. Para hacer esto, primero se debe conocer el valor de la impedancia de fuente en la barra de bajo voltaje (voltaje secundario del transformador de potencia) de la subestación. Esta es la impedancia reflejada atrás en el sistema que alimenta el circuito de distribución.

Dependiendo de la información disponible, diversos métodos para encontrar la impedancia de fuente pueden ser usados. En sistemas de distribución, comúnmente se determinan los valores

de corriente de falla prevista en algún punto de la red eléctrica, a partir de la Potencia de Cortocircuito, dada en la barra de media tensión.

Partiendo del valor conocido de la potencia de cortocircuito trifásico $S_{CC3\phi}$ en un punto determinado de un sistema eléctrico, puede calcularse la impedancia equivalente de secuencia positiva X_{S1} del sistema, en por unidad, referida a una base de potencia trifásica $S_{B3\phi}$ y a una base de voltaje entre líneas igual al voltaje entre líneas nominal del sistema, mediante la siguiente expresión:

$$X_{S1pu} = \frac{S_{B3\phi}}{S_{CC3\phi}} \quad (1.3)$$

La justificación de esta expresión es la siguiente:

La magnitud de la corriente de cortocircuito en cada fase está dada por la siguiente expresión:

$$I_{CC3\phi u} = \frac{S_{CC3\phi}}{V_l \sqrt{3}} \quad (1.4)$$

La base de corriente correspondiente a una base de potencia trifásica $S_{B3\phi}$ y a una base de voltaje entre líneas V_{Bl} igual al voltaje entre líneas nominal del sistema V_l es:

$$I_B = \frac{S_{B3\phi}}{V_{Bl} \sqrt{3}} \quad (1.5)$$

Por lo tanto la corriente de cortocircuito en por unidad es igual a:

$$I_{CC3\phi pu} = \frac{I_{CC3\phi}}{I_B} = \frac{\frac{S_{CC3\phi}}{V_l \sqrt{3}}}{\frac{S_{B3\phi}}{V_{Bl} \sqrt{3}}} \quad (1.6)$$

Y como $V_{Bl} = V_l$:

$$I_{CC3\phi pu} = \frac{S_{CC3\phi}}{S_{B3\phi}} \quad (1.7)$$

Por otra parte, la corriente por fase, para el caso de un cortocircuito trifásico, es igual, aplicando el teorema de Thevenin, al voltaje que existía en el punto de falla antes de producirse el cortocircuito, dividido por la impedancia del sistema vista desde el punto de falla X_{S1} . Ya que el voltaje existente antes de ocurrir la falla es igual al voltaje nominal del sistema, en valor por unidad es igual a 1:

$$I_{CC3\phi pu} = \frac{S_{CC3\phi}}{S_{B3\phi}} = \frac{1}{X_{S1 pu}} \quad (1.8)$$

Donde $X_{S1 pu}$ es la impedancia equivalente de secuencia positiva del sistema, expresada en por unidad.

Despejando de la expresión anterior X_{S1} :

$$X_{S1 pu} = \frac{S_{B3\phi}}{S_{CC3\phi}} \quad (1.9)$$

lo cual se quería demostrar.

Las impedancias de redes estáticas simétricas son las mismas para las secuencias positiva y negativa pero pueden ser diferentes para la secuencia cero, por lo cual:

$$X_{S2 pu} = X_{S1 pu} \quad (1.10)$$

Si además del valor de la potencia de cortocircuito trifásico en un punto determinado de un sistema eléctrico se conoce el valor de la potencia de cortocircuito monofásico $S_{CC1\phi}$, la impedancia equivalente de secuencia cero del sistema, vista desde ese punto, puede determinarse. En este informe no hemos incluido el detalle de la impedancia de secuencia cero, ya que no influye en la falla de cortocircuito trifásico o bifásico de un sistema de distribución con neutro aislado.

1.3 Tipos de fallas

El tipo de falla que puede ocurrir depende del sistema de distribución. Fallas de línea a tierra, línea a línea y doble línea a tierra son comunes en sistemas, monofásicos, bifásicos y trifásicos. Las fallas trifásicas son, por supuesto, característica solo de sistemas trifásicos.

El método de las componentes simétricas es especialmente útil para el cálculo de los sistemas desequilibrados debido a cortocircuitos entre fases o de fase a tierra. Se considerarán fallas a través de una impedancia (no falla franca) que se presenta cuando la falla se establece a través

de un arco eléctrico, el cual constituye una impedancia resistiva. Se considerará que no hay carga conectada al final de la línea cuando ocurre la falla.

La representación de la alimentación eléctrica a la que está conectada la línea de distribución trifásica se reducirá a tres fuentes de voltaje que constituyen un sistema de voltajes trifásicos equilibrados de secuencia positiva.

1.3.1 Falla monofásica a tierra a través de una impedancia

Las fallas de línea a tierra resultan cuando un conductor cae a tierra o contacta con el alambre del neutro (en un sistema con neutro corrido).

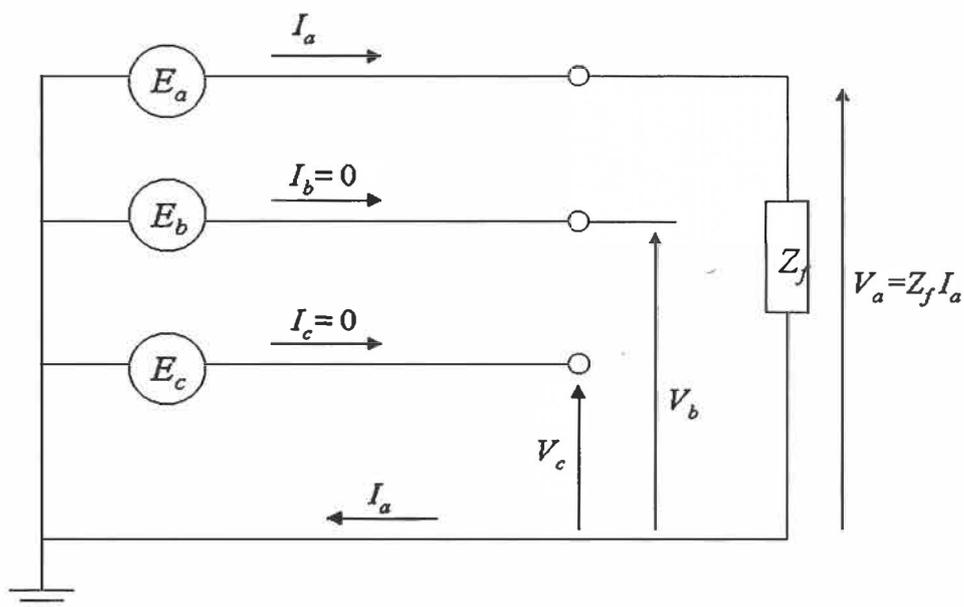


FIGURA 1.1

FALLA MONOFÁSICA A TIERRRA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA

La asimetría debida a la falla de la fase "a" a tierra queda definida por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 I_a &\neq 0 & V_a &= Z_f I_a \\
 I_b &= 0 & V_b &\neq 0 \\
 I_c &= 0 & V_c &\neq 0
 \end{aligned}
 \tag{1.11}$$

Las ecuaciones que definen el comportamiento del circuito trifásico, en función de las componentes simétricas son:

$$\begin{aligned}
 E_{a1} - V_{a1} &= Z_{11} I_{a1} \\
 - V_{a2} &= Z_{22} I_{a2} \\
 - V_{a0} &= Z_{00} I_{a0}
 \end{aligned}
 \tag{1.12}$$

En el punto donde ocurre la asimetría, o sea en el punto de falla, pueden escribirse las siguientes relaciones entre las cantidades de fase y sus componentes simétricas:

Teniendo en cuenta que $I_b = 0$, $I_c = 0$:

$$\begin{aligned}
 I_{a1} = I_{a2} &= \frac{I_a}{3} \\
 I_{a0} &= \frac{I_a}{3}
 \end{aligned}
 \tag{1.13}$$

$$V_a = Z_f I_a = 3 Z_f I_{a1} = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

Las condiciones impuestas por las seis ecuaciones anteriores pueden satisfacerse conectando los circuitos de secuencia positiva, negativa y cero, como se indica en la Fig. 1.2.

Generalmente la impedancia Z_f se debe a que la falla a tierra se establece a través de un arco eléctrico, que constituye una impedancia resistiva.

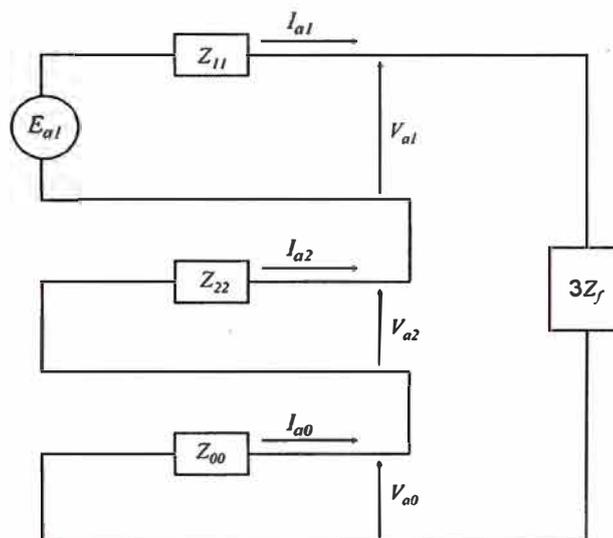


FIGURA 1.2
CONEXIÓN DE LOS CIRCUITOS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO PARA EL CASO DE UNA FALLA MONOFÁSICA A TIERRA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA

Del circuito equivalente de la Fig.1.2 se deduce:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = \frac{3E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_{00} + 3Z_f} \quad (1.14)$$

A partir de las componentes simétricas la corriente de fase puede calcularse de la siguiente forma:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = \frac{3E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_{00} + 3Z_f} \quad (1.15)$$

1.3.2 Falla bifásica a tierra a través de una impedancia

Las fallas de doble línea a tierra resultan cuando dos conductores caen y son conectadas a través de tierra, o cuando dos conductores contactan el neutro de un sistema trifásico o bifásico aterrados.

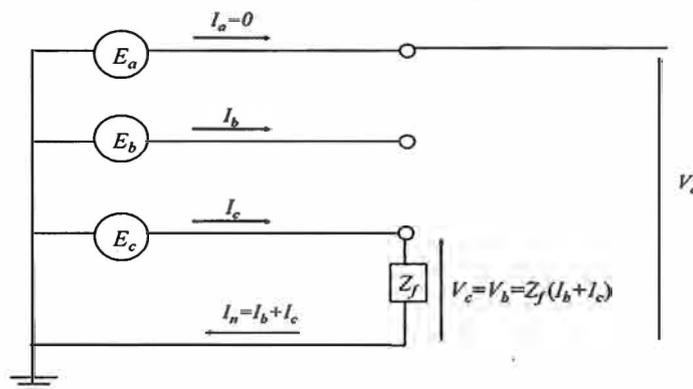


FIGURA 1.3
FALLA BIFÁSICA A TIERRA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA

La asimetría debida a la falla a tierra de las líneas "b" y "c", a través de la impedancia Z_f , queda definida por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} I_a &= 0 & V_a &\neq 0 \\ I_b &\neq 0 & V_b = V_c &= Z_f(I_b + I_c) \\ I_c &\neq 0 \end{aligned} \quad (1.16)$$

Las ecuaciones que definen el comportamiento del circuito trifásico, en función de las componentes simétricas son:

$$\begin{aligned} E_{a1} - V_{a1} &= Z_{11} I_{a1} \\ - V_{a2} &= Z_{22} I_{a2} \\ - V_{a0} &= Z_{00} I_{a0} \end{aligned} \quad (1.17)$$

En el punto de falla pueden escribirse las siguientes relaciones entre las cantidades de fase y sus componentes simétricas:

Teniendo en cuenta que

$$I_a = 0; I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0 \quad (1.18)$$

Las componentes simétricas de los voltajes están dadas por las siguientes expresiones, recordando que $V_b = V_c = Z_f(I_b + I_c)$:

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aZ_f(I_b + I_c) + a^2 Z_f(I_b + I_c)) \quad (1.19)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a - Z_f(I_b + I_c))$$

puesto que $a+a^2=-1$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a - Z_f(I_b + I_c)) \quad (1.20)$$

De las ecuaciones anteriores resulta que

$$V_{a1} = V_{a2} \quad (1.21)$$

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + Z_f(I_b + I_c) + Z_f(I_b + I_c))$$

$$V_{a0} = \frac{1}{3}(V_a + 2Z_f(I_b + I_c))$$

$$V_{a1} - V_{a0} = -Z_f(I_b + I_c) \quad (1.22)$$

$$\text{y como } I_{a0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

y para este tipo de falla $I_a = 0$

$$I_b + I_c = 3I_{a0}$$

$$V_{a1} = V_{a0} - 3Z_f I_{a0}$$

Las condiciones impuestas por las ecuaciones anteriores se cumplen conectando los circuitos equivalentes de secuencia positiva, negativa y cero como indica la figura 1.4.

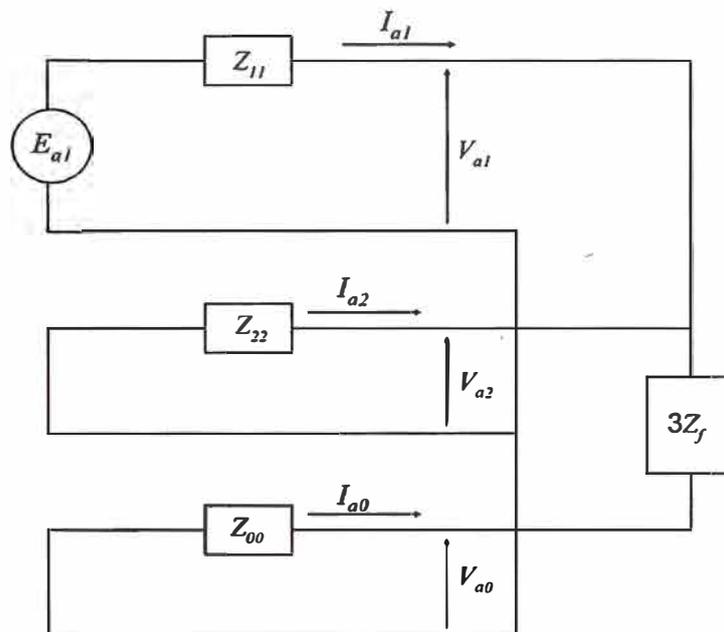


FIGURA 1.4
CONEXIÓN DE LOS CIRCUITOS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO PARA EL CASO DE UNA FALLA BIFÁSICA A TIERRA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA

Del circuito de la Fig. 1.4 se deduce:

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_{11} + \frac{Z_{22}(Z_{00} + 3Z_f)}{Z_{22} + Z_{00} + 3Z_f}} = \frac{Z_{22} + Z_{00} + 3Z_f}{Z_{11}Z_{22} + Z_{11}Z_{00} + 3Z_{11}Z_f + Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f} E_{a1}$$

$$I_{a2} = -I_{a1} \frac{Z_{00} + 3Z_f}{Z_{22} + Z_{00} + 3Z_f} = \frac{Z_{00} + 3Z_f}{Z_{11}Z_{22} + Z_{11}Z_{00} + 3Z_{11}Z_f + Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f} E_{a1}$$

$$I_{a0} = -I_{a1} \frac{Z_{22}}{Z_{22} + Z_{00} + 3Z_f} = \frac{Z_{00}}{Z_{11}Z_{22} + Z_{11}Z_{00} + 3Z_{11}Z_f + Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f} E_{a1}$$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} - 3Z_f I_{a0}$$

$$V_{a1} = V_{a2} = \frac{Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f}{Z_{11}Z_{22} + Z_{11}Z_{00} + 3Z_{11}Z_f + Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f} E_{a1}$$

$$V_{a0} = V_{a1} - 3Z_f I_{a0} = \frac{Z_{22}Z_{00}}{Z_{11}Z_{22} + Z_{11}Z_{00} + 3Z_{11}Z_f + Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f} E_{a1}$$

Conocidas las componentes simétricas de la corriente de falla de la fase a y del voltaje al neutro de la fase a en el punto de falla pueden calcularse las corrientes I_a , I_b e I_c :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0 \quad (1.23)$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} = \frac{(a^2 - 1)Z_{22} + (a^2 - a)Z_{00} + (a^2 - a)3Z_f}{Z_{11}Z_{22} + Z_{11}Z_{00} + 3Z_{11}Z_f + Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f} E_{a1} \quad (1.24)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} = \frac{(a - 1)Z_{22} + (a - a^2)Z_{00} + (a - a^2)3Z_f}{Z_{11}Z_{22} + Z_{11}Z_{00} + 3Z_{11}Z_f + Z_{22}Z_{00} + 3Z_{22}Z_f} E_{a1} \quad (1.25)$$

1.3.3 Falla bifásica a través de una impedancia

Las fallas de línea a línea resultan cuando los conductores de un sistema bifásico o trifásico son cortocircuitados.

Ellas pueden ocurrir dondequiera a lo largo de un sistema trifásico en estrella o delta, o a lo largo de una derivación bifásica.

La asimetría debida la falla de aislamiento entre las fases b y c queda definida por las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} I_a &= 0 & V_a &\neq 0 \\ I_b &= -I_c & V_c &= V_b - Z_f I_b \end{aligned} \quad (1.26)$$

Las ecuaciones que definen el comportamiento del circuito trifásico en función de las componentes simétricas son:

$$\begin{aligned}
 E_{a1} - V_{a1} &= Z_{11} I_{a1} \\
 -V_{a2} &= Z_{22} I_{a2} \\
 -V_{a0} &= Z_{00} I_{a0}
 \end{aligned}
 \tag{1.27}$$

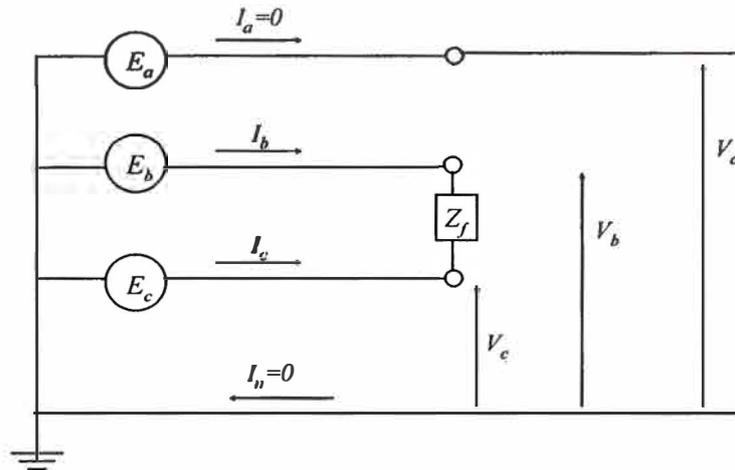


FIGURA 1.5
FALLA BIFÁSICA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA

En el punto de falla pueden escribirse las siguientes relaciones entre las cantidades de fase y sus componentes simétricas:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0 \tag{1.28}$$

Pero $I_{a0} = 0$, ya que no hay conexión a tierra en el punto de falla; por lo tanto:

$$I_{a1} = -I_{a2} \tag{1.29}$$

Los voltajes de secuencias positiva y negativa tienen los siguientes valores:

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2(V_b - Z_f I_b)) = \frac{1}{3}(V_a + (a + a^2)V_b - a^2 Z_f I_b) \tag{1.30}$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3}(V_a + a^2 V_b + a(V_b - Z_f I_b)) = \frac{1}{3}(V_a + (a + a^2)V_b - a Z_f I_b) \tag{1.31}$$

Restando de la primera ecuación anterior la segunda:

$$\begin{aligned} V_{a1} - V_{a2} &= \frac{1}{3}(a - a^2)Z_f I_b \\ &= j\frac{\sqrt{3}}{3}Z_f I_b \end{aligned} \quad (1.32)$$

Pero:

$$\begin{aligned} I_b &= a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} = (a^2 - a)I_{a1} \\ &= -j\sqrt{3}I_{a1} \end{aligned} \quad (1.33)$$

Substituyendo este valor de I_b en la ecuación anterior:

$$V_{a1} - V_{a2} = Z_f I_{a1} \quad (1.34)$$

Las condiciones impuestas por las ecuaciones anteriores se satisfacen conectando los circuitos equivalentes de secuencia positiva y negativa como se indica en la Fig. 1.6.

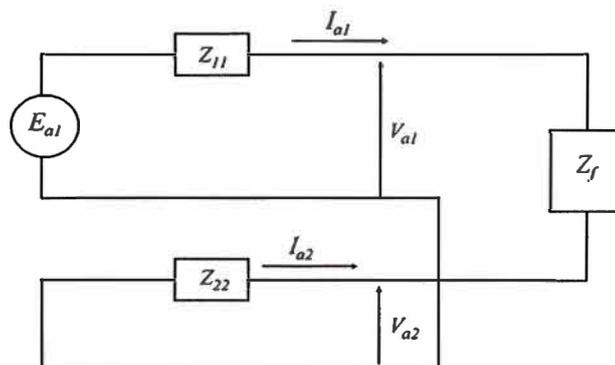


FIGURA 1.6
CONEXIÓN DE LOS CIRCUITOS DE SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVA PARA EL CASO DE UNA FALLA BIFÁSICA A TRAVÉS DE UNA IMPEDANCIA

Del circuito de la Fig. 1.6 se deduce que:

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_f} \quad (1.35)$$

$$I_{a2} = -\frac{E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_f} \quad (1.36)$$

Las corrientes I_a , I_b , I_c en el punto de falla tienen los siguientes valores:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 0$$

$$I_b = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0} = \frac{a^2 - a}{Z_{11} + Z_{22} + Z_f} E_{a1} = \frac{\sqrt{3} E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_f} \quad (1.37)$$

$$I_c = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0} = \frac{a - a^2}{Z_{11} + Z_{22} + Z_f} E_{a1} = \frac{\sqrt{3} E_{a1}}{Z_{11} + Z_{22} + Z_f}$$

1.3.4 Falla trifásica

En la Fig. 1.7 se representa una falla trifásica que pone en cortocircuito las tres fases de la línea de distribución.

En este caso la falla no introduce ningún desequilibrio en el sistema trifásico y por lo tanto no existen corrientes ni voltajes de secuencia negativa ni de secuencia cero, independientemente de que la falla trifásica esté conectada a tierra o no.

Todas las cantidades que intervienen en el cálculo son de secuencia positiva.

En el punto de falla se verifica que:

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad I_b = \alpha^2 I_a \quad I_c = \alpha I_a \quad (1.38)$$

$$V_a = V_b = V_c = 0$$

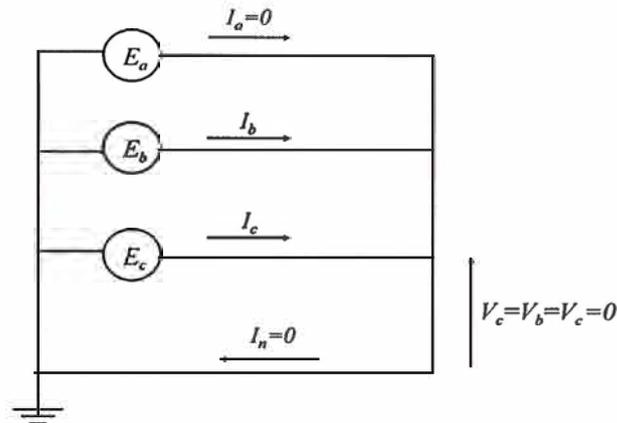


FIGURA 1.7
FALLA TRIFÁSICA

Las ecuaciones que definen el comportamiento del circuito trifásico en función de las componentes simétricas se reducen en este caso a:

$$\begin{aligned}
 E_{a1} - V_{a1} &= Z_{11} I_{a1} \\
 - V_{a2} &= Z_{22} I_{a2} = 0 \\
 - V_{a0} &= Z_{00} I_{a0} = 0
 \end{aligned}
 \tag{1.39}$$

En el punto de falla se tienen las siguientes relaciones entre las cantidades de fase y sus componentes simétricas:

$$I_{a1} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{1}{3}(I_a + a^3I_a + a^3I_a) = I_a
 \tag{1.40}$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) = 0
 \tag{1.41}$$

Las condiciones impuestas por la falla trifásica se satisfacen conectando el circuito de secuencia positiva como se muestra en la Fig. 1.8.

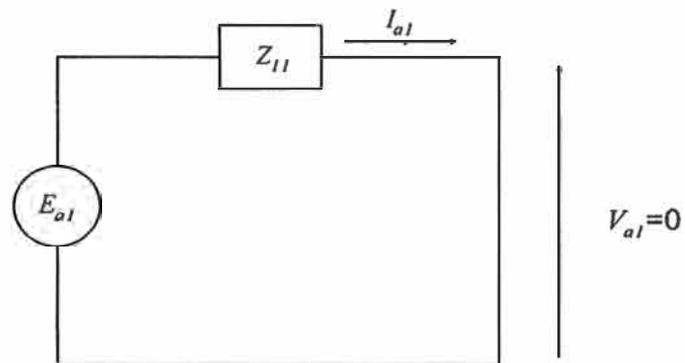


FIGURA 1.8
CONEXIÓN DEL CIRCUITO DE SECUENCIA POSITIVA PARA EL CASO
DE UNA FALLA TRIFÁSICA

En el circuito de la Fig. 1.8 se verifica que

$$I_{a1} = \frac{E_{a1}}{Z_{11}} \quad (1.42)$$

como:

$$I_{a2} = 0$$

$$I_{a0} = 0$$

se tiene:

$$I_a = I_{a1}$$

$$I_b = a^2 I_{a1}$$

$$I_c = a I_{a1}$$

(1.43)

$$V_a = V_{a1} = 0$$

$$V_b = a^2 V_{a1} = 0$$

$$V_c = a V_{a1} = 0$$

(1.44)

Se debe notar que el teorema de Thevenin se aplica solo para redes lineales: esto es, para aquellas redes en las cuales las resistencias, inductancias y capacitancias son constantes y son independientes de la corriente y el voltaje. Ejemplo de elemento no lineal es la inductancia de magnetización del transformador. No obstante, para los propósitos de la mayoría de cálculos de corriente de falla y carga en estado estacionario, los valores R , L , y C son constantes, y el teorema de Thevenin es aplicable.

En estas ecuaciones, I es el valor rms de la corriente de fase a-c simétrica en estado estacionario que va hacia la falla; V_f es el valor rms del voltaje a tierra en estado estacionario en la falla antes de que ocurra la falla; Z_{11} , Z_{22} , y Z_{00} son las impedancias del sistema de secuencia positiva-, negativa-, y cero vistas desde la falla ; y Z_f es la impedancia de falla asociada con un tipo dado de falla.

CAPÍTULO II

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

2.1 Sobrecorriente

Una sobrecorriente es una corriente que excede la capacidad en amperios de los conductores (cable), equipos (motores, instrumentos) u otros dispositivos. Una sobrecorriente incluye cortocircuitos y sobrecargas. Ellos pueden ocurrir como resultado de condiciones normales tal como el arranque del motor, o condiciones anormales tal como una falla.

Sobrecarga

Una sobrecarga es una sobrecorriente que es confinada a caminos normales de corriente. Una sobrecarga se presenta cuando hay muchos dispositivos en un circuito. Se podría notar que las luces se oscurecen cuando el aire acondicionado se enciende o que el cable o equipo se calienta más de lo normal.

Cortocircuitos

Los cortocircuitos usualmente ocurren cuando corriente anormalmente grandes fluyen debido a la falla del aislamiento de los conductores. Cuando el aislamiento entre fases o entre fase y tierra se hacen críticos, se puede esperar que las corrientes de cortocircuito fluyan hacia la falla. Un cortocircuito es limitado solo por las capacidades del sistema de distribución.

2.2 Fusible

Los fusibles son los dispositivos de protección más básicos para la protección de sobrecorriente en un sistema de distribución.

Podemos definir al fusible como un dispositivo de protección de sobrecorriente con un elemento fusible de apertura de circuito, que es directamente calentado y destruido por el paso de una sobrecorriente excesiva a través de él.

Se requiere un fusible aplicado adecuadamente para abrir el elemento de fusión, extinguir el arco establecido a través del elemento de apertura, y luego mantener las condiciones de circuito abierto con el voltaje nominal aplicado a través de sus terminales.

Su función principal es servir como cintas delgadas en el circuito, que abren para despejar sobrecorrientes y proteger el equipo contra sobrecargas y cortocircuitos. También pueden ser usados para seccionar línea.

Los fusibles están disponibles en una variedad de tipos que ofrecen una amplia selección de características de operación.

Los tipos básicos incluyen fusibles cinta del tipo expulsión y fusibles limitadores de corriente.

2.2.1 Fusible cinta tipo expulsión

Los fusibles cinta sirven como "cintas" económicas que se usan en conjunto con un dispositivo de protección tipo expulsión, conocido como fusible seccionador "cutout".

a) Cutout de Distribución

Un cutout de distribución es un dispositivo fusible o desconexión, que consiste de un montaje de un soporte de fusible y un portafusible que puede incluir uno o un fusible cinta o cuchilla de desconexión. Es identificado por las siguientes características:

1. Esfuerzos dieléctricos de sostenimiento (BIL) en el nivel de distribución.
2. Para aplicación principalmente en alimentadores y circuitos de distribución.
3. Con construcción mecánica adaptada básicamente para poste o montaje en cruceta.
4. Con límites del voltaje de operación correspondiente a voltajes del sistema de distribución.

Los cutouts de distribución con los fusibles cinta son clasificados en dos categorías principales: fusibles de expulsión y fusibles llenos de líquido.

Los cutout tipo expulsión cuentan con más del 99 por ciento de las aplicaciones cutout en los sistemas de distribución. El término "expulsión" es una denominación un tanto impropia cuando es aplicado a un fusible, ya que esto implica que el arco es expelido del tubo fusible y de ese modo extinguido. Lo que ocurre realmente es que cuando el elemento fusible del fusible cinta se fusiona, la superficie interna del tubo fusible se descompone parcialmente por el calor del arco, generando gases desionizantes que se acumulan dentro del tubo y desionizan el camino del arco, de modo que el arco se clarificará en el momento de la corriente cero. La presión que se forma en el tubo por el aumento de la temperatura y la generación del gas crea una turbulencia dentro del tubo que ayuda a la desionización del camino del arco. La presión desarrollada dentro del tubo también ayuda a mantener las condiciones de circuito abierto una vez que el arco es clarificado arrojando las partículas ionizadas fuera del extremo abierto del tubo. El restablecimiento del arco después que se alcanza la corriente cero, es prevenida por los gases desionizantes, y por la presión extrema y turbulencia del gas, que aumentan el esfuerzo dieléctrico del espacio de aire en el tubo.

Clarificaciones adecuadas deberían ser mantenidas entre los fusibles expulsión y los circuitos y aparatos adyacentes ya que hay algún peligro de descarga a circuitos y aparatos cercanos, además del portafusible mismo, si el volumen del gas ionizado descargado es grande.

Hay dos tipos de fusibles de expulsión que operan con cutouts. Ellos son el fusible de tubo de fibra y el fusible cinta-abierto.

El fusible de tubo de fibra consiste en un fusible cinta reemplazable dentro de un portafusible tubular que está forrado con un grado comercial de fibra celulosa dura. Este tipo de fusible es usado en los cutouts abiertos y cerrados. En el cutout abierto, mostrado en la Figura 2.1, el fusible de tubo de fibra es montado entre dos aisladores, y las conexiones eléctricas en ambos extremos del portafusible son expuestas.

En el cutout cerrado, el tubo del fusible es montado dentro de la puerta del cutout, y todos los contactos eléctricos son encerrados dentro de la cabina de porcelana como se muestra en la Figura 2.2.

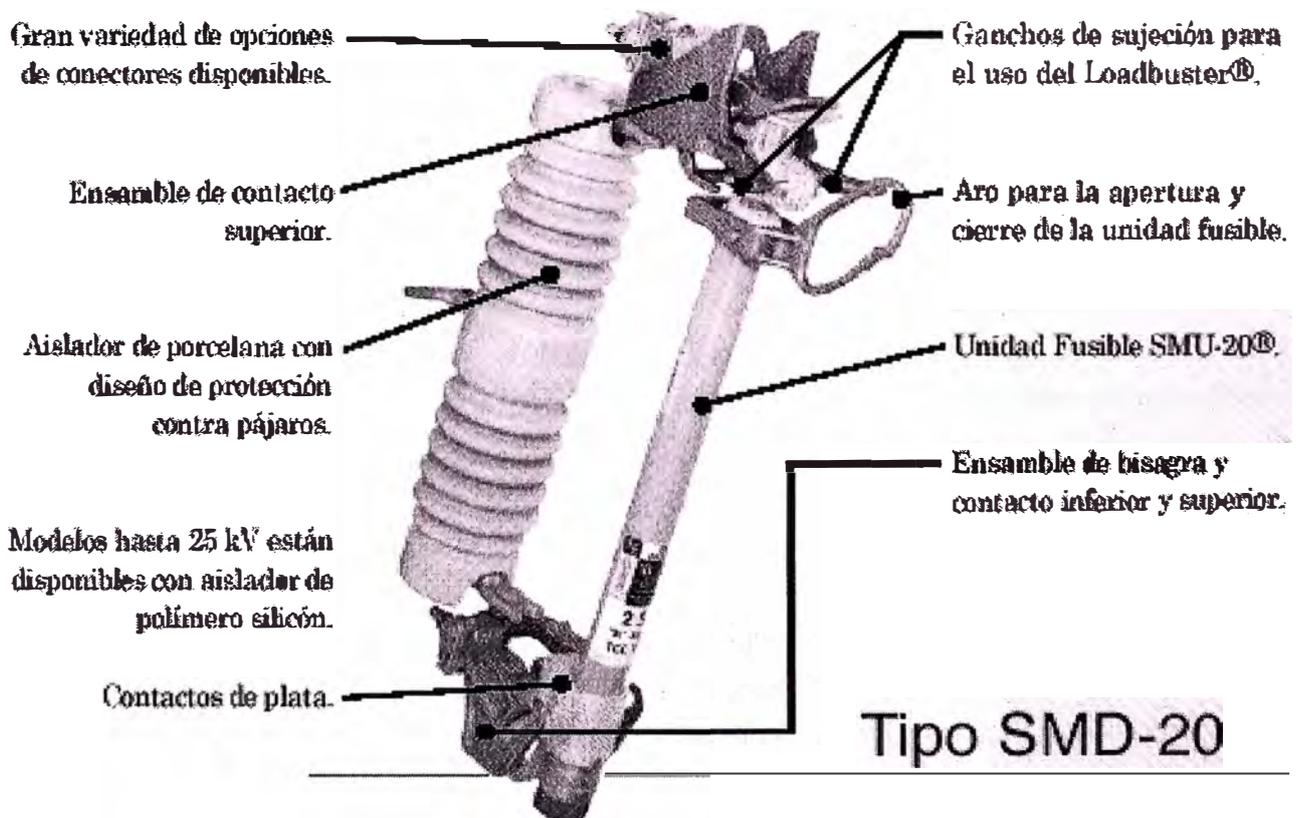


FIGURA 2.1
CUTOUT TIPO ABIERTO
FABRICANTE S&C MODELO SMD-20

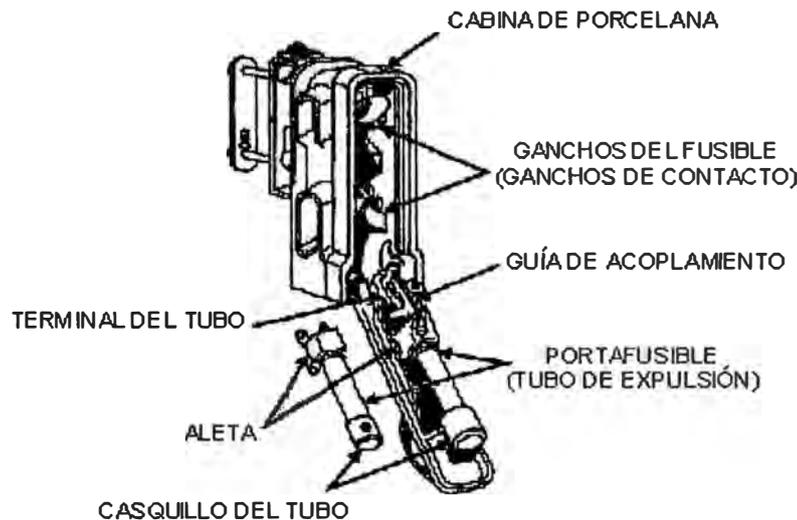


FIGURA 2.2
CUTOUT ENCUBIERTO

En adición a su uso en circuitos delta y estrella no aterrado, estos cutouts también pueden ser usados en circuitos con neutro aterrado si el voltaje que un cutout individual tiene que interrumpir no excede la máxima capacidad de voltaje de diseño, y el aislamiento a tierra encuentra los requerimientos de operación.

El fusible de cinta abierta consiste de un elemento fusible encerrado en un tubo de fibra relativamente pequeño con las extensiones del cable del elemento fusible que se extienden desde ambos extremos del tubo. Estas extensiones del cable son conectadas a los contactos de resorte del soporte de fusible. La acción del resorte asegura la separación de los extremos abiertos del elemento fusible en la operación del fusible, y es usado a causa de la capacidad de interrupción relativamente limitada del tubo de fibra pequeño. Este tipo de fusible cutout es diseñado para aplicaciones con voltajes hasta 17kV, pero tiene necesariamente una capacidad de interrupción menor que el fusible cutout con tubo de fibra.

b) Características tiempo-corriente.

Las características de un fusible expulsión son definidas por sus características tiempo-corriente (TCC). En los gráficos TCC (véase Figura 2.3), la curva de mínima fusión es la fusión promedio menos la tolerancia del fabricante, aproximadamente 10 por ciento, con variaciones positivas. El tiempo de clarificación total es la fusión promedio más la tolerancia del fabricante además del tiempo del arco, con variaciones en la dirección negativa. Todas las curvas son desarrolladas a 25°C sin precarga.

La conveniencia de un fusible cinta para una aplicación particular depende de las características tiempo-corriente de la cinta que, a su vez, depende de la construcción del elemento de la cinta.

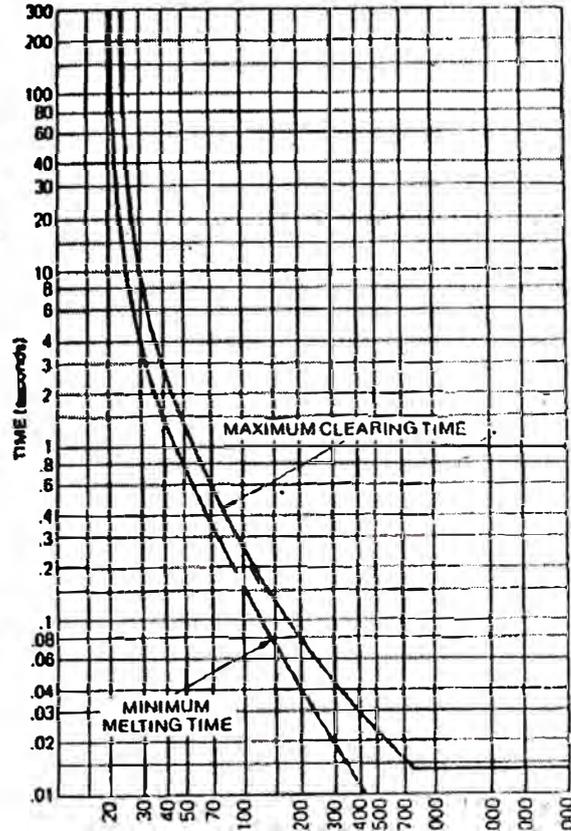


FIGURA 2.3
CURVAS CARACTERÍSTICAS TIEMPO-CORRIENTE PARA UNA CINTA 10K

c. Normas de Fusible cinta

Ha habido un número de normas establecidas para fusibles cintas en un intento de proporcionar uniformidad.

Los fusible cinta expulsión están cubiertos bajo la norma ANSI C.37.43 que define las características de los siguientes tipos de cinta.

La cinta nominada "N" fue el primer intento de estandarizar las características del fusible cinta. La norma de capacidad "N" de un fusible cinta especificó que esa cinta debía transportar continuamente el cien por ciento de los amperios nominales, y que fusionaría en no más del 230 por ciento de su capacidad dentro de cinco minutos. A partir de esto, se define un límite superior para la TCC en cinco minutos. Ya que solamente fue estandarizado el extremo para corriente baja, la forma real de la TCC fue determinada por los fabricantes de fusible y fue altamente variable.

Este método de nominar la capacidad de un fusible cinta no fue completamente satisfactoria ya que especificó solo un punto en las características tiempo-corriente de la cinta. Las cintas nominales "N" producidas por diferentes fabricantes coincidieron en el punto especificado pero no necesariamente en la característica completa de la cinta. Esto significó que una vez que una empresa de servicio había normalizado las cintas "N" hechas por un fabricante particular, ellos estaban limitados a que el producto del fabricante aseguren la coordinación entre los fusibles

cinta. Para vencer algunos de los defectos de la norma de capacidad "N", la industria estandarizó las capacidades de fusible cinta "K" y "T" en 1951.

Las cintas nominadas "K" (rápida) y "T" (lenta) son cintas universales diseñadas a causa de la intercambiabilidad mecánica y eléctrica especificada en las normas. Las cintas K y T de un fabricante será la misma mecánicamente que las correspondientes cintas K y T de otro fabricante. Las características eléctricas de las cintas K y T han sido estandarizadas para encontrar los valores de corriente mínimo y máximo requeridos para fusionar la cinta en tres puntos de tiempo de sus curvas características. Esto asegura mejor coordinación entre cintas fabricadas por diferentes fabricantes que lo que es logrado con las cintas nominadas N.

Las cintas K y T satisfacen el requerimiento único de las cintas N. Los tres puntos de operación que las cintas K y T requieren para encontrar sus características de fusión tiempo-corriente son:

1. 300 segundos para fusibles cinta con capacidad nominal de 100 amperios hacia abajo; 600 segundos para fusibles cinta con capacidad nominal de 140 y 200 amperios.
2. 10 segundos
3. 0.1 segundos como está diseñado en la Tabla 1 para fusibles cinta tipo K y en la Tabla 6 para fusibles cinta tipo T. estos valores proveen esencialmente una banda curva para cada capacidad.

Las características tiempo-corriente de mínima fusión de cualquier fusible cinta K o T no debe ser menor que los valores mínimos indicados y las características de mínima fusión de estas cintas, además de las tolerancias de fabricación, no deben ser mayores que los valores máximos indicados en las tablas 5 y 6.

Típicamente, en adición a estos puntos, también se especifica la corriente continua de tiempo largo de un fusible cinta. Esta generalmente sería 150 por ciento de la capacidad nominal para cintas de estaño y 100 por ciento de la capacidad nominal para cintas de plata, aunque puede variar según el material específico que utilice el fabricante.

Con el propósito de alcanzar operación selectiva de los fusibles cinta universales aplicados en serie, se han estandarizado capacidades continuas "preferidas" de 6, 10, 15, 25, 40, 65, 100, 140 y 200 amperios.

Las capacidades de corriente continua "no preferida" son 8, 12, 20, 30, 50, y 80 amperios. "Básicas" e "Intermedias" podrían ser términos mejores, ya que las categorías fueron establecidas principalmente para facilitar la coordinación con la regla del pulgar, y ningún grupo es realmente preferido. Por debajo de las capacidades de cintas de 6 amperios, se han estandarizado las capacidades de cinta de 1, 2 y 3 amperios.

Las curvas características tiempo-corriente de mínima fusión para fusibles cinta son determinadas restando la variación menor permisible del fabricante de sus valores promedio de prueba.

Las características tiempo-corriente de clarificación total de fusibles cinta incluyen el tiempo de mínima fusión, más la tolerancia, más el tiempo máximo de arco, determinado por prueba de acuerdo con las normas NEMA.

Curvas típicas de fusible de varios tipos de cintas son mostradas en la Figura 2.4. Se debe notar que hay varios tipos de fusibles cintas, no todos reconocidos por las normas.

Las velocidades de fusión del fusible cinta pueden ser comparadas usando la relación de velocidad que es definida como la relación de la corriente requerida para fusionar el fusible en 0.01 segundos a la corriente requerida para fusionar el fusible en 300 segundos.

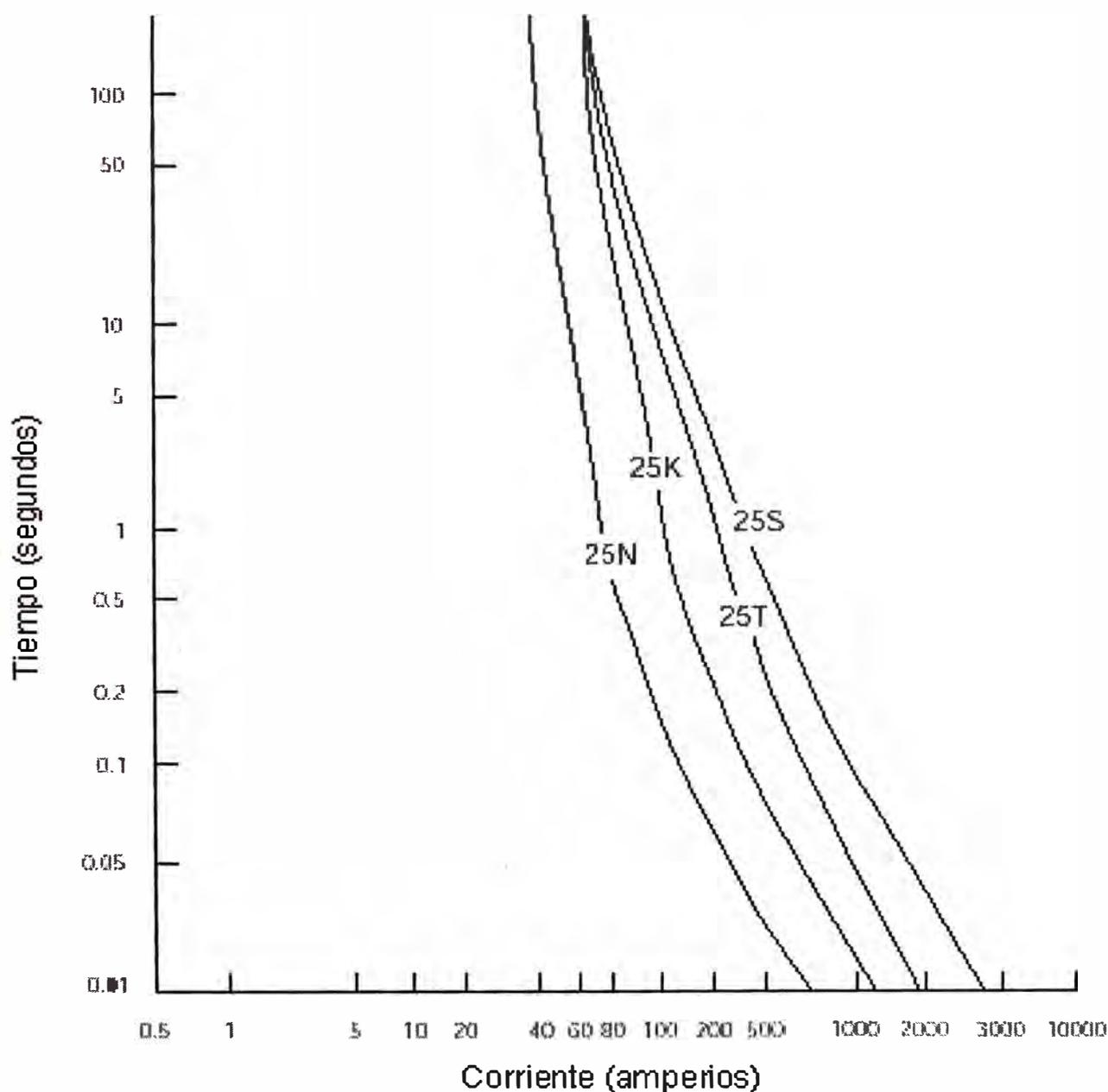


FIGURA 2.4
CURVAS TÍPICAS DE MÍNIMA FUSIÓN DE FUSIBLES CINTA K, T, N y S.

TABLA 2.1
CORRIENTES DE FUSIÓN PARA FUSIBLES CINTA TIPO K (RÁPIDO)

Capacidad continua de corriente	Corriente de Fusión 300 o 600 segundos		Corriente de Fusión en 10 segundos		Corriente de Fusión en 0.1 segundos		Relación de velocidad
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Capacidades preferidas							
6 (d)	12.0	14.4	13.5	20.5	72	66	6
10	19.5	23.4	22.5	34	128	154	6.5
15(d)	31.0	37.2	37.0	56	215	258	6.9
25	50	60	60	90	350	420	7.0
40	80	96	98	146	565	680	7.1
65(d)	128	153	159	237	918	1100	7.2
100	200	240	258	388	1520	1820	7.6
140(d)	310	372	430	650	2470	2970	8.0
200	480	576	760	1150	3880	4650	8.1
Capacidades intermedias							
8	15	18	18	27	97	116	6.5
12(d)	25	30	29.5	44	166	199	6.6
20	39	47	48	71	273	328	7.0
30(d)	63	76	77.5	115	447	546	7.1
50	101	121	126	188	719	862	7.1
60	160	192	205	307	1180	1420	7.4
Capacidades inferiores a 6 amperios							
1	2	2.4	c	10	c	58	-
2	4	4.8	c	10	c	58	-
3	6	7.2	c	10	c	58	-

(a) Todos los valores en amperios

(b) 300 segundos para fusibles cinta con capacidad 100 amperios y menor; 600 segundos para fusibles cinta de 140 y 200 amperios

© Ningún valor mínimo es indicado, ya que el requerimiento es que las capacidades de 1, 2 y 3 amperios coordinarán con la capacidad de 6 amperios pero no necesariamente con cada otro.

(d) La IEC 282-2 ha asignado una capacidad de corriente continua para estos fusibles cinta tipo K 6.3, 16, 63, 160, 12.5 y 31.5 respectivamente. Las corrientes de fusión para estas capacidades son las mismas que aquellas listadas en esta tabla

TABLA 2.2
CORRIENTES DE FUSIÓN PARA FUSIBLES CINTA TIPO T (LENTAS) (a)

Capacidad continua de corriente	Corriente de Fusión (b) en 300 o 600 segundos		Corriente de Fusión en 10 segundos		Corriente de Fusión en 0.1 segundos		Relación de velocidad
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Capacidades preferidas							
6 (d)	12.0	14.4	15.3	23.0	120	144	10.0
10	19.5	23.4	26.5	40	224	269	11.5
15(d)	31.0	37.2	44.5	57	358	468	12.5
25	50	60	73.5	109	635	762	12.7
40	80	96	120	178	1040	1240	13.0
65(d)	128	153	195	291	1650	1975	12.9
100	200	240	319	475	2620	3150	13.1
140(d)	310	372	520	775	4000	4800	12.9
200	480	576	850	1275	6250	7470	13.0
Capacidades intermedias							
8	15	18	20.5	31	166	199	11.1
12(d)	25	30	34.5	52	296	355	11.8
20	39	47	57.0	85	496	595	12.7
30(d)	63	76	93.0	138	812	975	12.9
50	101	121	152	226	1310	1570	13.0
60	160	192	248	370	2080	2500	13.0
Capacidades inferiores a 6 amperios							
1	2	2.4	c	11	c	100	-
2	4	4.8	c	11	c	100	-
3	6	7.2	c	11	c	100	-
(a) Todos los valores están en amperios							
(b) 300 segundos para fusibles cinta con capacidad 100 amperios y menor; 600 segundos para fusibles cinta de 140 y 200 amperios							
(c) Ningún valor mínimo es indicado, ya que el requerimiento es que las capacidades de 1, 2 y 3 amperios coordinarán con la capacidad de 6 amperios, pero no necesariamente con cada otro.							
(d) La IEC 282-2 ha asignado una capacidad de corriente continua para estos fusibles cinta tipo K 6.3, 15, 63, 160, 12.5 y 315 respectivamente.							
Las corrientes de fusión para estas capacidades son las mismas que aquellas listadas en esta tabla							

2.2.2 Fusible limitador de corriente

Al ocurrir una condición de corto-circuito en una red eléctrica, se producen efectos térmicos y dinámicos muy apreciables a causa de las elevadas magnitudes que alcanza la corriente. La interrupción de estas corrientes en el menor tiempo posible es de suma importancia puesto que se evitan o cuando menos se minimizan los daños ocasionados por el sobrecalentamiento de partes conductoras y por los esfuerzos dinámicos.

Los fusibles limitadores de corriente y de alta capacidad interruptiva son empleados para la protección contra corrientes de cortocircuito. Su importancia radica en el efecto limitador de corriente, que es la capacidad de los fusibles para interrumpir la corriente de cortocircuito antes de que alcance su valor pico máximo, al limitar el valor de la corriente de paso I_D al valor de la corriente de ruptura o corriente de fusión I_S que es considerablemente menor que la corriente de cortocircuito no limitada (corriente prospectiva) I_k'' mostrada en la Figura 2.5, con línea punteada y que corresponde a la corriente de cortocircuito disponible en el punto donde ocurre la falla.

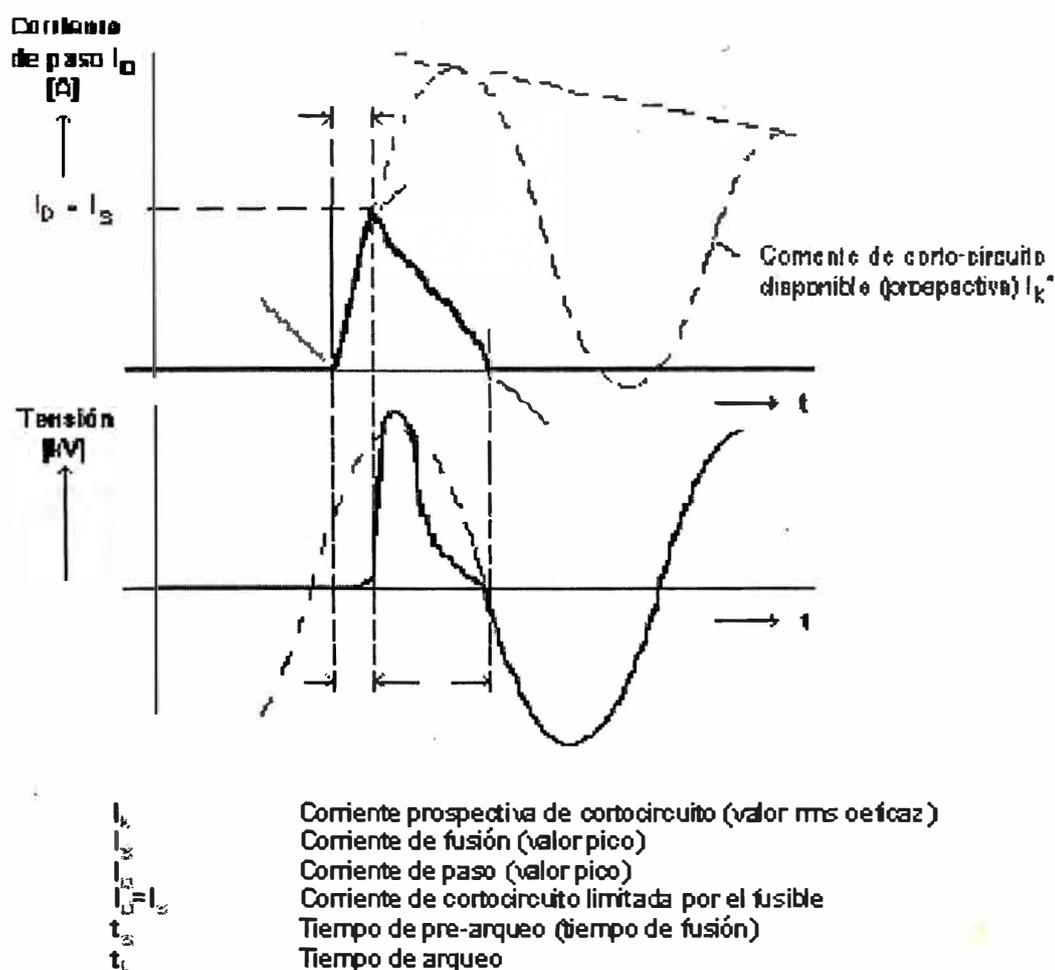


FIGURA 2.5
PROCESO DE INTERRUPCIÓN DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO
EN UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE

La Figura 2.5 muestra el comportamiento de la corriente y la tensión durante un corto-circuito y el proceso de interrupción.

Los fusibles de potencia limitadores de corriente ofrecen ventajas significativas para proteger sistemas y equipos de potencia eléctrica. Las ventajas incluyen:

- Alta capacidad de interrupción
- Operación sin ruido, ya que la interrupción es totalmente confinada.
- Operación limitadora de corriente rápida cuando se encuentran corrientes de falla disponibles altas.

Los fusibles limitadores de corriente están diseñados para limitar el flujo de la corriente de falla e interrumpir rápidamente el circuito. La acción limitadora de corriente del fusible es alcanzada a través de la inserción de una resistencia alta en el circuito durante la operación del fusible.

a) Principio de operación

Dos tipos de construcción del fusible pueden ser usados: elementos de alambre o elementos de cinta. Bajo condiciones de corriente de gran falla, estos dos tipos de construcción funcionan algo diferente.

El fusible consiste de un número de alambres de plata que están ubicados en ranuras en la cara de un núcleo cilíndrico resistente al calor y son luego conectados en paralelo. El núcleo cilíndrico, con un alambre de plata por ranura, está ubicado en un tubo, y el espacio entre la cara del núcleo y la pared del tubo es llenada con arena o gránulos de cuarzo. Los alambres de plata son enrollados o confinados a una sección reducida alrededor de cada octavo de pulgada en toda su longitud. Bajo condiciones de falla la plata se vaporiza, inicialmente en las secciones reducidas, a muchas veces su volumen original. Las fuerzas desarrolladas durante esta expansión retiran la plata del camino del arco y la llevan hacia los espacios entre las partículas de arena. El vapor de plata se condensa en las partículas de arena relativamente frías y por esto es desplazada permanentemente del camino del arco. El arco es entonces confinado a los espacios pequeños que fueron ocupados por los alambres de plata. Con los arcos en tal contacto estrecho con la arena, la mayor parte de la energía del arco es disipada por transferencia de calor a la arena. El retiro de la plata de los caminos de arco tiene el efecto de insertar una alta resistencia en el circuito en el instante que la plata se vaporiza. La transferencia de calor del arco a las partículas de arena fusiona la arena y forma una fulgurita que tiene un alto esfuerzo dieléctrico alrededor del camino de arco.

El elemento de cinta tiene agujeros hechos a lo largo de su longitud, formando una serie de ranuras. Estas ranuras fusionan primero, y los arcos comienzan a cruzar los pequeños espacios resultantes. Con cualquier tipo de construcción del fusible limitador de corriente, la energía del arco fusiona o funde la arena circundante al elemento en una estructura de vidrio llamada fulgurita.

En la Figura 2.6 se muestran las partes de un fusible limitador de corriente

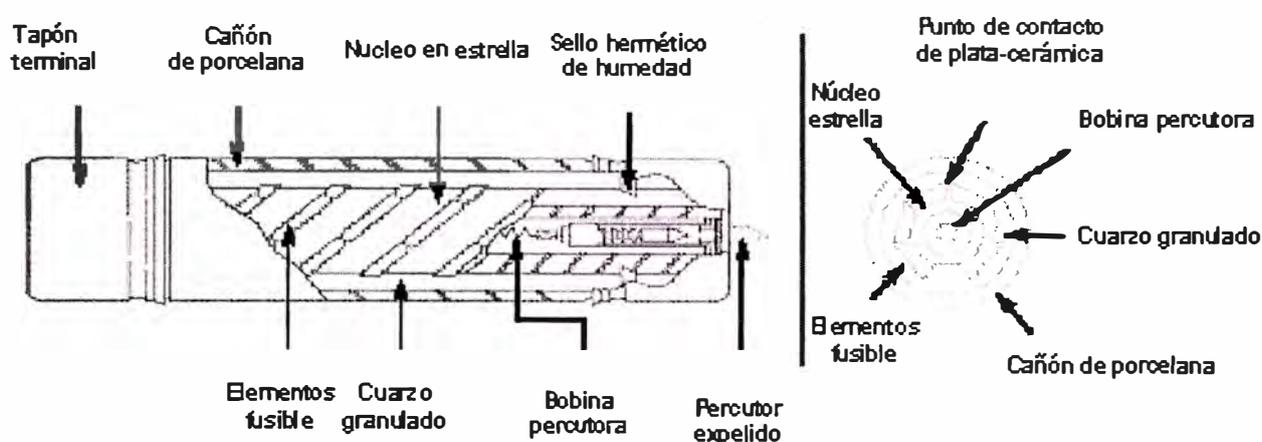


FIGURA 2.6
PARTES DE UN FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE

Al iniciarse el corto-circuito, una mínima resistencia se opone a la circulación de corriente de paso I_D por lo que ésta se incrementa a la par de I_K , iniciándose el proceso de elevación de temperatura en los elementos fusible (cintas de plata). Al llegar al valor I_S , (corriente de ruptura o corriente de fusión del fusible) los elementos fusible se funden y/o evaporan e interrumpen el circuito en varios puntos, apareciendo múltiples arcos voltaicos, cuya longitud se va incrementando rápidamente al fundirse y/o evaporarse más material. La tensión se incrementa bruscamente a partir del momento de la fusión hasta llegar a un máximo (tensión de interrupción) y la corriente se limita al valor I_S , iniciándose a partir de este momento un proceso de disminución; en otras palabras, la suma de las caídas de voltaje de arco excede el voltaje del sistema normal; el desarrollo del voltaje de arco fuerza a la corriente a un valor relativamente pequeño como la corriente limitada (**let-through**). El efecto limitador es por lo tanto el resultado de la inserción de la resistencia de los arcos voltaicos en varios puntos a partir de la fusión.

Al enfriarse los arcos por efecto de la arena circundante se reduce consecuentemente la conductividad y por tanto, la resistencia a la circulación de corriente aumenta rápidamente. La corriente disminuye gradualmente al mismo tiempo que la tensión. Cerca del siguiente paso por cero de la tensión, se extinguen los arcos voltaicos y la corriente queda interrumpida totalmente. Los eventos descritos suceden dentro del primer semiciclo de la corriente de cortocircuito, es decir en menor de 8 a 10 milisegundos. El fusible interrumpe la corriente dentro de medio ciclo y la corriente limitada cresta I_S (peak let-through current) es solo una pequeña fracción de la corriente de cortocircuito disponible. También se muestra en la figura 2.5, el voltaje de arco cuyo pico está normalmente limitado por diseño a un máximo de tres veces la capacidad de voltaje rms del fusible. La figura 2.7 muestra la característica de limitación de corriente de fusibles limitadores de corriente (marca DRWISA) indicando el valor máximo de la corriente de paso I_D igual a la corriente de

fusión I_s , respecto al valor eficaz (rms) de la corriente de cortocircuito prospectiva (I_K'') para fusibles desde 6 hasta 500A.

La línea A-A' representa la corriente pico asimétrica máxima que se presentaría en el circuito para cada valor de la corriente prospectiva de corto-circuito simétrica I_K'' (valor rms o eficaz) en caso de no existir el fusible.

El valor $1.8 \times \sqrt{2}$ corresponde al máximo valor de asimetría posible en la red para la primera fase en interrumpir, que representa la condición más crítica.

Las líneas correspondientes a cada valor de corriente nominal de los fusibles marcan la corriente de paso I_D máxima (correspondiente a la corriente de fusión I_s) en función de la corriente de cortocircuito prospectiva I_K'' (valor rms o eficaz).

Por ejemplo, para una corriente prospectiva de corto-circuito $I_K'' = 20$ kA rms en caso de no existir un fusible limitador, se presentaría una corriente de paso $I_D = 1.8 \times \sqrt{2} \times 20$ kA = 50.9 kA pico. Con un fusible de 32 A se limita este valor a sólo $I_D = I_s = 4$ kA pico, con un tiempo de operación menor a 10 milisegundos.

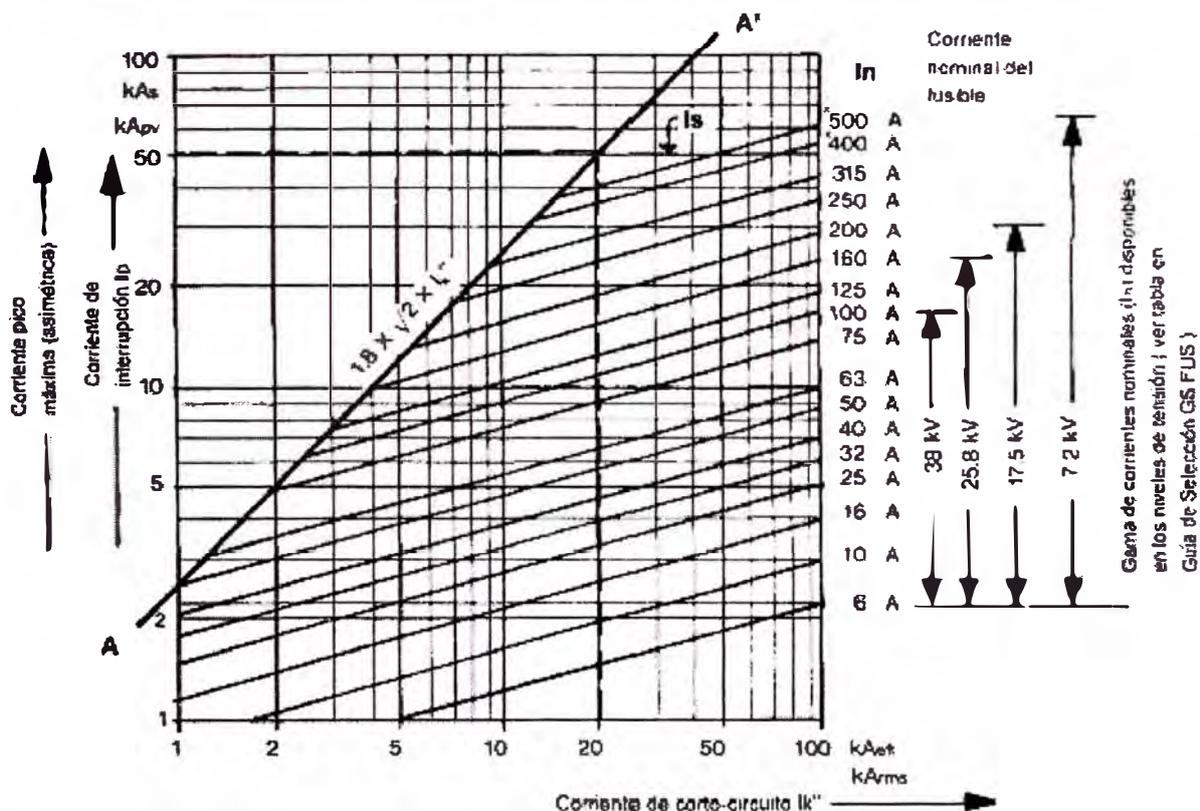


FIGURA 2.7
DIAGRAMA DE CORRIENTE MÁXIMA DE PASO I_D REFERIDA A LA CORRIENTE PROSPECTIVA DE CORTOCIRCUITO I_K''

Es evidente que para corrientes bajas, para las cuales el tiempo de fusión es largo (incluso de más de un ciclo), el fusible no actúa como limitador de corriente. Los fusibles presentarán la

característica de limitación de corriente a partir de un valor de corriente circulante tal que I_D pico sea igual a I_S . A partir de este nivel de corriente de umbral, el fusible operará como limitador (a la derecha de la línea AA' de la figura 2.7).

El punto donde se une la línea correspondiente a I_S de cada fusible con la recta AA' define sobre el eje de las abscisas (eje X) el valor de corriente de cortocircuito a partir del cual el fusible opera como limitador de corriente. Si la corriente de corto-circuito es menor, el fusible no operará como limitador. Por ejemplo, un fusible de 75 A, operará como limitador a partir de aproximadamente 2000 A de corto-circuito.

b) Operación con corrientes bajas

Ante corrientes bajas, el elemento calienta lentamente y se fusionará últimamente. El arco intenta quemar el elemento fusible, formando nuevamente una fulgurita, pero la tasa de quemadura puede no ser bastante rápida ni el arco bastante alto para forzar la interrupción. Por esto, se requieren características especiales de construcción para alcanzar la clarificación con bajas corrientes.

Para alcanzar la fusión adecuada con corriente baja y eventual clarificación, microcámaras son aplicadas al elemento conductivo.

c) Corriente nominal (I_n)

La corriente nominal del fusible es el valor máximo de corriente que el fusible puede conducir por tiempo indefinido sin alcanzar la fusión y la que genera una energía tal que el fusible puede disipar satisfactoriamente.

d) Capacidad de interrupción (I_1) (corriente máxima de interrupción)

La capacidad de interrupción (corriente máxima de interrupción) I_1 corresponde a la corriente de cortocircuito máxima que un fusible es capaz de interrumpir con seguridad cubriendo a la vecindad de severas decenas de kA.

La capacidad de interrupción (corriente máxima de interrupción) de los fusibles une lo de arriba a las corrientes de cortocircuito usualmente disponible en las redes eléctricas. Sin embargo es recomendable verificar la corriente de cortocircuito de la red cuando se selecciona un fusible.

Cuando se especifica la potencia de cortocircuito en vez de la corriente de cortocircuito, la relación entre ellas es deducida de la siguiente fórmula:

$$P_{\text{cortocircuito}} = kV_{\text{red}} \times kA_{\text{cortocircuito}} \times \sqrt{3} \quad (2.1)$$

e) Corriente mínima de interrupción (I_3):

Para valores por encima de I_n , los tiempos de fusión son muy largos y van disminuyendo a medida que la corriente es mayor (Figura 2.8). En este rango, la capacidad de disipación de calor es menor que la cantidad de calor generado en el interior, por lo que se presentan esfuerzos térmicos severos que pueden dañar al fusible.

A medida que la corriente es mayor, los tiempos de fusión son más reducidos y se llega a un punto tal que la fusión ocurre en un lapso de tiempo relativamente corto, antes de que se presenten los esfuerzos térmicos y daños al fusible.

A este valor de corriente se le define como la corriente mínima de interrupción I_3 y corresponde por lo tanto al límite inferior de la gama de corrientes que el fusible puede interrumpir satisfactoriamente.

Considerando lo anterior, en las curvas corriente-tiempo se define para cada tipo de fusible un valor de corriente mínima de interrupción (I_3) por debajo del cual no es recomendable la operación durante lapsos prolongados, puesto que la corriente (sobrecorriente) no tiene una magnitud suficientemente alta para producir la fusión en forma franca y definida, pero produce un excesivo calentamiento, modificando las características de los elementos fusible y produciendo daños térmicos al cuerpo del fusible.

Por lo tanto, los fusibles limitadores de corriente no deben operar durante tiempos prolongados en el rango de corrientes superiores a la nominal (I_n) e inferiores a la corriente mínima de interrupción (I_3) por los motivos expuestos. Sin embargo, en el caso de corrientes altas, superiores a I_3 , es decir en la gama de las corrientes de corto-circuito, la operación del fusible es rápida, definida y predecible.

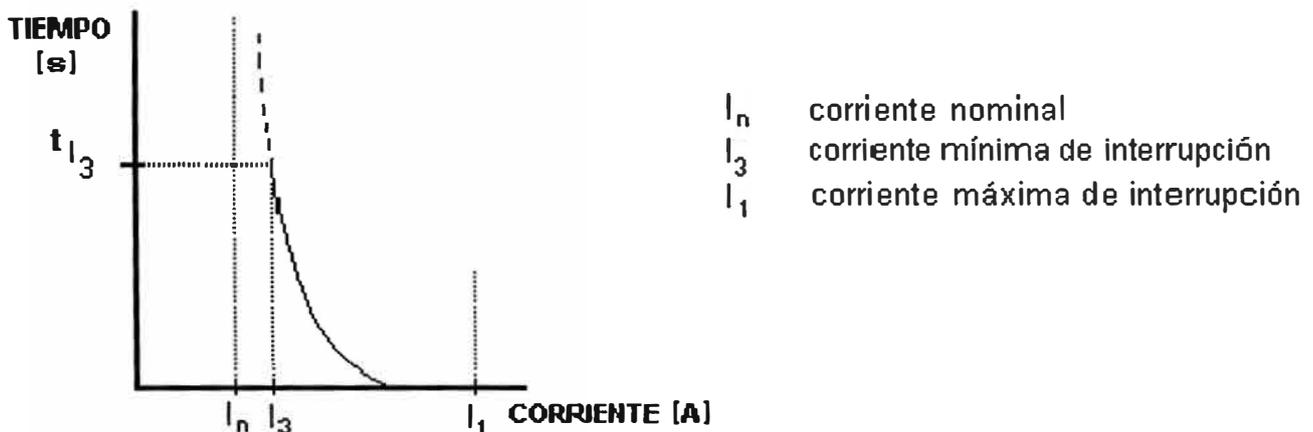


FIGURA 2.8
CURVA CARACTERÍSTICA TIEMPO-CORRIENTE
DE UN FUSIBLE LIMITADOR NDE CORRIENTE

La figura 2.9 muestra en forma gráfica las diferentes zonas de operación de los fusibles y las condiciones y limitaciones en cada una.

Aún cuando el proceso de fusión está basado en leyes y principios físicos conocidos, cuando se presentan corrientes superiores a I_n (sobrecorrientes) durante lapsos mayores al tiempo de respuesta correspondiente a I_3 (t_{I_3}) o bien sobrecorrientes de tipo intermitente, se presentan dificultades en su análisis, y evaluación ya que depende de su magnitud y duración, como de los períodos entre estas sobrecorrientes, durante los cuales el fusible retorna a un régimen normal o incluso al estado frío.

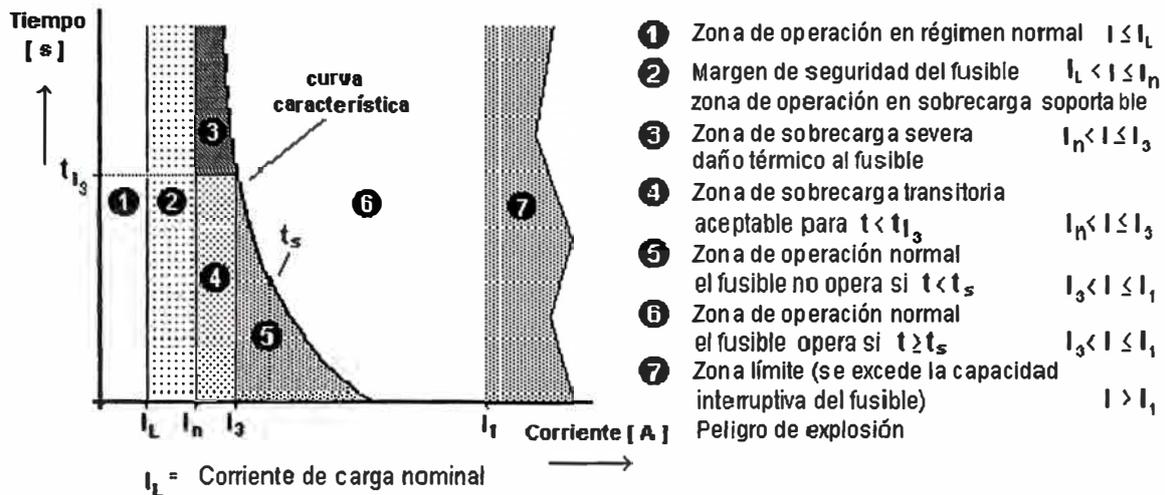


FIGURA 2.9

ZONAS DE OPERACIÓN DE LOS FUSIBLES LIMITADORES DE CORRIENTE

Si una sobrecorriente permanece durante un tiempo largo para después cesar, puede iniciarse la fusión o llegar al estado de amalgamamiento con una alta elevación de temperatura debido a la disipación de energía durante ese lapso, modificando por lo tanto en forma sustancial las características de los elementos fusible, los cuales al verse sometidos posteriormente a un nuevo régimen de sobrecorriente o a un cortocircuito, responderán de manera diferente a la característica normal, produciendo en el primer caso calentamiento o interrupciones inexplicables y en el segundo una respuesta fuera de especificación.

f) Selección de la corriente nominal (I_n)

Para evitar la operación del fusible en el rango de sobrecarga, se selecciona la corriente nominal I_n del fusible con un factor de sobredimensionamiento de acuerdo al equipo a proteger, que por ejemplo, en el caso de transformadores es de 1.6 a 2 veces la corriente nominal en el circuito. Así, el fusible podrá soportar las corrientes de magnetización (inserción) y operar aún cuando el transformador trabaje en régimen de sobrecarga sin que el fusible se vea sometido a tal régimen, debido a que la capacidad térmica del transformador es mucho mayor que la del fusible.

g) Descripción de los tres tipos de fusibles limitadores de corriente

Diferentes tipos de fusibles limitadores de corriente tienen diferentes capacidades de interrupción de corrientes bajas. Por esta razón, numerosas técnicas se han desarrollado para permitir que los fusibles limitadores de corriente interrumpan estas corrientes bajas. Como resultado, tres tipos diferentes de fusibles limitadores de corriente, de respaldo (*backup*), de propósito general (*general-purpose*), y de rango total (*full-range*) se han definido y son reconocidos en las normas industriales. Cada tipo tiene características únicas de operación y aplicación.

Muchos de estos fusibles tienen una apariencia externa similar. No obstante, cada tipo de fusible tiene diferentes estructuras internas que les permite funcionar correctamente, de acuerdo a los requerimientos para cada tipo de fusible. Ya que los fusibles limitadores de corriente de respaldo no están diseñados para interrumpir corrientes bajas, otro medio, tal como un dispositivo conectado en serie, es necesario para interrumpir durante condiciones de corriente de sobrecarga o falla pequeña. Los fusibles de propósito general y de rango pleno incorporan capacidades de interrupción de corriente baja en el diseño del fusible para diferentes grados.

La descripción de los diferentes tipos de fusible limitador de corriente es como sigue:

- a) Un fusible limitador de corriente de respaldo es capaz de interrumpir todas las corrientes continuas desde su corriente de interrupción nominal, hasta su corriente de interrupción mínima nominal. Normalmente es aplicado en conjunto con un segundo dispositivo de interrupción que puede interrumpir corrientes debajo de la corriente de interrupción mínima del fusible de respaldo.
- b) Un fusible limitador de corriente de propósito general es definido como el que es capaz de interrumpir todas las corrientes desde su corriente de interrupción nominal hasta la corriente que causa la fusión del elemento(s) fusible en no menos de una hora.
- c) Un fusible limitador de corriente de rango pleno es capaz de interrumpir todas las corrientes continuas desde su corriente de interrupción nominal hasta la corriente continua mínima que causa la fusión del elemento(s) fusible con el fusible aplicado a la máxima temperatura ambiente especificada por el fabricante del fusible.

2.3 Reconectador

Los fusibles fueron usados por muchos años como el dispositivo seccionalizador básico en la mayoría de circuitos alimentadores primarios. Los fusibles, como son aplicados usualmente, son dispositivos de un tiro que no pueden distinguir entre fallas que no son persistentes por naturaleza y fallas que son persistentes por naturaleza. Si todas las fallas fueran persistentes por naturaleza necesitando de este modo reparar antes de que el servicio pueda ser restaurado, los fusibles coordinados adecuadamente serían satisfactorios para propósitos de seccionalizar los circuitos alimentadores primarios. No obstante, la estadística muestra que aproximadamente el 70 por ciento de todas las fallas en circuitos aéreos de alambre desnudo son inicialmente no persistentes por naturaleza. Esto significa que la desenergización momentánea del circuito clarificará la falla y restaurará el circuito a las condiciones normales al recierre. Fallas tales como descargas en aislador o bushing, y arcos entre conductores resultantes de contacto momentáneo caen generalmente en esta categoría. Para fallas de esta naturaleza, la operación de un fusible de un tiro causa innecesariamente una interrupción extendida a los usuarios servidos de la porción afectada del alimentador.

El uso de un dispositivo de recierre automático en conjunto con fusibles de un tiro elimina muchas interrupciones innecesarias que ocurren cuando solamente se usan fusibles. El dispositivo

automático se ajusta para disparar para una falla antes de que cualquiera de los fusibles se pueda quemar, y entonces recierra el circuito. Si la falla fuera no persistente por naturaleza, las condiciones normales serían restauradas al recierre del dispositivo automático. No obstante, si la falla fuera persistente por naturaleza, el dispositivo automático iría a una operación con retardo de tiempo siguiendo una o dos operaciones instantáneas y permitiría que el fusible correcto se quemara para aislar la falla. El dispositivo de recierre mencionado es el reconectador (del inglés recloser).

Un reconectador automático es un dispositivo autocontrolado para interrumpir y recerrar automáticamente un circuito a-c. También tiene provisiones para abrir y recerrar manualmente el circuito. La interrupción y el recierre del circuito son realizados a través del uso de contactos separables que operan en aceite o vacío dentro de una cámara de interrupción. Básicamente, el reconectador consiste de un mecanismo para iniciar la apertura y recierre, contactos separables dentro de una cámara de interrupción, un integrador de operación y un mecanismo de bloqueo.

2.3.1 Clasificaciones del reconectador

Los reconectadores automáticos son clasificados sobre la base de monofásicos o trifásicos, controles hidráulicos o electrónicos, e interruptores de aceite o vacío.

a) Reconectadores Monofásicos

Los reconectadores monofásicos son usados para protección de líneas monofásicas, tales como ramales o derivaciones de un alimentador trifásico. Ellos también pueden ser usados en circuitos trifásicos donde la carga es predominantemente monofásica.

b) Reconectadores Trifásicos

Los reconectadores trifásicos son usados donde el bloqueo de las tres fases completas se requiere para cualquier falla permanente, para prevenir una sola fase de cargas trifásicas tal como motores trifásicos.

c) Reconectadores controlados hidráulicamente

El control hidráulico es usado en reconectadores monofásicos y en muchos de los reconectadores trifásicos. Este tipo de control, que es una parte integral del reconectador, sensa una sobrecorriente por medio de una bobina de disparo serie conectada en serie con la línea. Cuando la corriente en exceso del valor mínimo de apertura de la bobina, fluye a través de la bobina, un émbolo es atraído hacia la bobina para abrir los contactos del reconectador. El tiempo y la secuencia son realizados por el "bombeo" de aceite a través de las cámaras hidráulicas separadas.

d) Reconectadores controlados electrónicamente

El método electrónico de control del reconectador es más flexible, más fácilmente ajustado y probado, y más exacto que el control hidráulico. Provisto en una cabina separada del

reconectador, el control electrónico permite convenientemente cambiar las características tiempo-corriente, los niveles de corriente de apertura, y las secuencias de operación del reconectador sin desenergizar o retirar el tanque del reconectador. Los reconectadores con control electrónico usan un solenoide de cierre (actuador magnético) o un mecanismo a motor para la operación de cierre. La apertura del contacto es realizada por la liberación de unos resortes de apertura. Los resortes de apertura son cargados por la acción de cierre.

En la Figura 2.10 se muestran las partes de un reconectador trifásico con control electrónico marca Whipp & Bourne, modelo GVR:

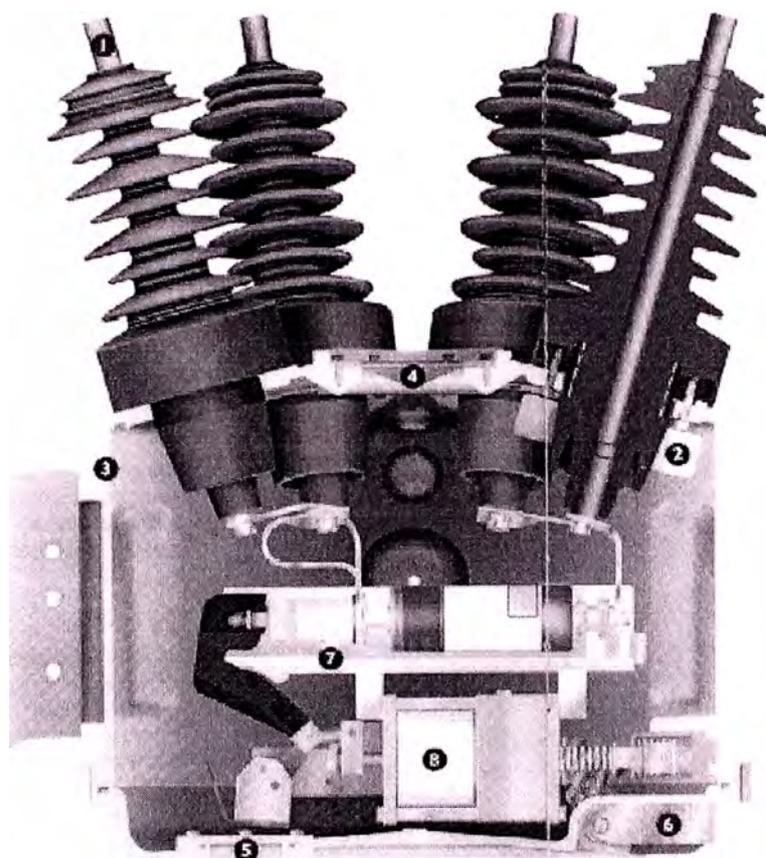


FIGURA 2.10
Estructura interna de un reconectador GVR Whipp & Bourne

Las características de reconectador que se muestra en la Figura 2.10 son:

1. Terminales de EPDM o silicona con núcleo de aluminio o cobre.
2. Transformadores de corriente que están montados dentro del medio controlado del tanque.
3. Carcaza de aluminio.
4. Disco opcional de liberación de presión.
5. Indicación mecánica visible de posición ON/OFF a través de un visor.
6. Apertura manual operada con pértiga y control de bloqueo.

7. Una que soporta los tres interruptores de vacío, mecanismo de actuador magnético y
8. El actuador magnético de una bobina se basa en un émbolo solenoide, que se mantiene en la posición abierto o cerrado por medio de un imán permanente.

2.3.2 Actuador magnético

La bobina del actuador es energizada en una dirección para cerrar el reconectador GVR Whipp & Bourne, y en la dirección opuesta para abrir.

Actuador magnético de una bobina

La bobina del actuador es energizada en una dirección para cerrar los contactos del reconectador GVR y para la apertura en la dirección opuesta a fin de contrarrestar a la fuerza magnética de cierre y destrabar al actuador magnético.

Cierre

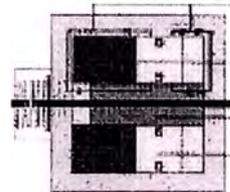
El diseño biestable asegura que el émbolo esté retenido en la posición abierto (1) hasta que la corriente del solenoide aumente sobre el nivel requerido para garantizar el cierre. Una vez que se ha superado la fuerza de retención (2), el interruptor cierra sus contactos (3) debido a la energía almacenada en el solenoide y los imanes permanentes.

Apertura

El solenoide es energizado en la dirección opuesta (4) para superar la fuerza de retención magnética y destrabar el actuador. La apertura luego es completada por la energía almacenada durante el recorrido de cierre en la presión de los contactos y en los resortes de apertura y es completamente independiente del suministro de energía durante la apertura eléctrica, y del operador durante la apertura manual. La energía requerida para abrir es aproximadamente 1/30^{da} de aquella requerida para cerrar.

1.

Varilla No magnética



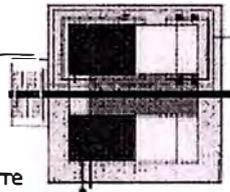
Flujo magnético del Imán permanente

Bobina del actuador

Imán permanente

2.

Movimiento de la varilla

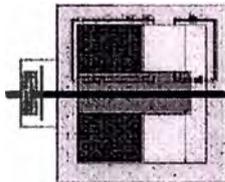


Corriente de cierre

Flujo magnético de la bobina del actuador

3.

Resorte de Presión De contactos comprimidos



Movimiento De la varilla Causada por La presión Del resorte

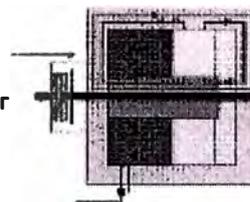


FIGURA 2.11
OPERACIÓN DEL ACTUADOR MAGNÉTICO

La mayoría de los reconectadores en servicio son diseñados para bloqueo siguiendo una secuencia seleccionada de operaciones de apertura (comúnmente tres o cuatro). La teoría de este tipo de aplicación es que si una falla es no persistente por naturaleza, será clarificada durante la operación instantánea del recloser. Si la falla persiste, el reconectador va hacia la operación de

apertura con retardo de tiempo y permite que los dispositivos más allá del reconectador seccionalicen para abrir y aislar la falla. Si una falla persistente ocurriera entre el reconectador y el siguiente dispositivo seccionalizador, el reconectador entonces irá al bloqueo y aislará la falla.

Cuando una sobrecorriente de suficiente magnitud fluye a través de la bobina de disparo, se inicia la acción de disparo y los contactos son abiertos. Los contactos del reconectador luego recierran siguiendo una longitud predeterminada de tiempo. En el tiempo que el reconectador ha recerrado el circuito, el integrador de operación ha cambiado para contar la operación de apertura. Si la falla aún persiste en el circuito cuando el reconectador cierra, la secuencia de apertura y recierre es repetida un número predeterminado de veces, determinado por el integrador de operación, hasta que el reconectador va a la posición de bloqueo. Si, no obstante, la falla del circuito se ha clarificado durante cualquier periodo de apertura del circuito, el reconectador cierra y permanece cerrado y el integrador de operación se reajusta de modo que está en posición para la siguiente secuencia de operaciones.

Un reconectador es pues, un dispositivo autocontrolado con el circuito de inteligencia necesario para sensar sobrecorrientes, temporizar e interrumpir las sobrecorrientes, y para recerrar automáticamente a fin de re-energizar la línea. Si la falla fuera "permanente", el reconectador se bloqueará en la posición abierto después de un número prefijado de operaciones (usualmente tres o cuatro) y de este modo aísla la sección fallada de la parte principal del sistema.

La mayoría de las fallas en los sistemas de distribución aéreos son probablemente temporales (del orden de 70 por ciento) por su naturaleza y solamente de unos cuantos ciclos a unos cuantos segundos en la mayoría. Los reconectores automáticos, con sus capacidades de "apertura y recierre", eliminan interrupciones prolongadas en sistemas de distribución debido a fallas temporales o condiciones de sobrecorriente transitorias.

Las operaciones de apertura individual de un reconectador pueden ser hechas para seguir características tiempo-corriente instantánea o con retardo de tiempo. Los reconectores son normalmente fijados para una de las siguientes secuencias de operaciones:

- Cuatro operaciones con retardo de tiempo.
- Una operación instantánea seguida por tres operaciones con retardo de tiempo.
- Dos operaciones instantáneas seguidas por dos operaciones con retardo.

2.3.3 Ubicaciones del reconectador

Los reconectores pueden ser usados en cualquier lugar en un sistema donde sus capacidades sean adecuadas para los requerimientos del sistema.

Las localizaciones lógicas son:

- En subestaciones como dispositivo de protección del alimentador primario.
- En las líneas a una distancia de una subestación, para seccionar alimentadores largos y prevenir de este modo interrupciones del alimentador total cuando ocurre una falla permanente cerca del extremo del alimentador.

- En las derivaciones de alimentadores troncales, para proteger el alimentador troncal de interrupciones y despejes debido a fallas en las derivaciones.

En adición a los tipos aéreo y de subestación, los reconectores también están disponibles como unidades de pedestal para proveer conexiones simples, directas a los sistemas con cable subterráneo.

Algunas subestaciones utilizan cable subterráneo y equipos pedestal para alcanzar tamaños más pequeños. En tales subestaciones, y donde sistemas subterráneos se convierten en aéreos, los reconectores pedestal ofrecen las ventajas de conexión conveniente con cable subterráneo. Los reconectores pedestal también pueden ser usados en sistemas subterráneos para protección de los circuitos con cable y como protección primaria de transformadores. En estas aplicaciones, donde las operaciones de recierre no son usadas, el reconector puede ser fijado para una apertura con bloqueo, proporcionando de este modo un dispositivo de protección económico circuito/transformador.

2.3.4 Factores de aplicación del reconector

Seis factores principales deben ser considerados para la aplicación adecuada de reconectores automáticos:

Voltaje del sistema.

Corriente máxima de falla disponible en el punto de ubicación del reconector.

Corriente máxima de carga.

Corriente mínima de falla dentro de la zona a ser protegida por el reconector.

Coordinación con otros dispositivos de protección en ambos lados de fuente y carga del reconector.

Sensado de falla a tierra.

Voltaje del sistema:

El voltaje del sistema será conocido y el reconector debe tener una capacidad de voltaje igual o mayor que el voltaje del sistema.

Corriente máxima de falla

La corriente máxima de falla será conocida o puede ser calculada. La capacidad de interrupción del reconector debe ser igual o mayor que la máxima corriente de falla disponible.

Corriente máxima de carga

La máxima capacidad de corriente continua del reconector debe ser igual o mayor que la máxima corriente de carga anticipada del circuito.

En reconectores controlados electrónicamente, la corriente mínima de disparo es seleccionada

independientemente de la máxima capacidad de corriente continua, aunque normalmente no excede dos veces ese valor. Generalmente, se usa un valor de corriente de apertura de al menos dos veces la corriente pico de carga esperada.

Para algunos circuitos, tales como aquellos que tienen cargas grandes de aire acondicionado o cargas de calefacción eléctrica, las dificultades pueden ser experimentadas cuando se intenta reenergizar el circuito después de una interrupción extendida (arranque con carga en frío). Para estas aplicaciones se puede requerir un ajuste de corriente de apertura de 250 por ciento, o mayor, que la corriente pico de carga.

Corriente mínima de falla

La corriente mínima de falla que puede ocurrir en el extremo de la sección de línea a ser protegida debe ser chequeada para determinar que el reconectador sensará e interrumpirá esta corriente.

Coordinación con otros dispositivos de protección

La coordinación con otros dispositivos de protección, en ambos lados de la fuente y de la carga, se vuelve importante después que los primeros cuatro factores de aplicación son satisfechos.

La selección adecuada de los retardos de tiempo y las secuencias es vital para asegurar que cualquier interrupción momentánea o interrupción más larga debido a fallas sea restringida a la sección más pequeña posible del sistema.

Generalmente, las características tiempo-corriente y la secuencia de operación de un reconectador son seleccionadas para coordinar con dispositivos en el lado de la fuente. Después que un tamaño y secuencia de reconectador son determinados, el equipo de protección más lejos debajo de la línea es seleccionado luego para coordinar con él. Más adelante trataremos con más detalle el estudio de la coordinación.

Sensado de falla a tierra

La mayoría de fallas en los sistemas de servicio típico (conectado en estrella) involucra o al neutro o a tierra y son comúnmente referidos como fallas a "tierra". Tales fallas son comúnmente reveladas a través de la detección de la sobrecorriente, que es realizado por el sensado de la corriente residual de los transformadores de corriente de las tres fases.

El sensado de la corriente de fase standard de los reconectores detectará las corrientes de falla a tierra cuando la corriente total a través de cualquier fase (carga además de la falla a tierra) exceda el mínimo ajuste de apertura de fase.

No nos extendemos más ya que el presente informe cubre solamente la protección contra sobrecorrientes (cortocircuitos) en sistemas de distribución de media tensión.

2.3.5 Ajustes generales de la protección de cortocircuito de fase-fase del reconectador electrónico

a) Corriente mínima de disparo (pickup)

Es el valor de la corriente que alimentada al elemento de protección apropiado, produciría la activación del relé. Comúnmente se selecciona como un porcentaje de la relación programada del transformador de corriente.

b) Número de disparos

Lo más común es un máximo de 4 disparos hasta el bloqueo. En cada etapa de una secuencia, el relé aplica tres elementos de protección: falla de fase, falla a tierra y SEF (falla sensitiva de tierra). En cualquier falla el relé dispara sobre el primero de los elementos que actúe.

c) Tiempo de Recuperación

Es el tiempo dentro del cual se debe bloquear el reconectador, medido desde la última ocasión en que se interrumpió la corriente en una secuencia.

Si durante una secuencia, la falla se despeja antes de lograrse el bloqueo, entonces el reconectador estará en la posición cerrada y el relé se recuperará, y estará en condición de iniciar una nueva secuencia.

d) Tiempo muerto

Es el tiempo en una secuencia entre la operación de disparo y la operación de cierre que sigue. Se podría programar un tiempo muerto diferente para cada disparo en una secuencia.

e) Elemento de falla de fase

Características disponibles:

Inversa Estándar	SI
Muy Inversa	VI
Extremadamente Inversa	EI
Tiempo Definido	10s
Multiplicadores de Tiempo	0.10 – 2.00
Instantánea	INST

1 – 20 veces la corriente mínima de disparo

2.3.6 Aspectos que modifican las características de protección

a) Tiempo Mínimo de Respuesta

El tiempo mínimo de respuesta es una variable que se puede usar para modificar las curvas características, Inversa, Muy Inversa, Extremadamente Inversa o Instantánea. Si el Tiempo Mínimo de Respuesta es activado, entonces cualquier disparo generado por una de estas curvas, más

rápida que el Tiempo Mínimo de Respuesta, se retardaría hasta que haya transcurrido el tiempo Mínimo de Respuesta.

b) Retardo Adicional

Los elementos de protección del relé operan usando curvas convencionales y ajustes de multiplicadores de tiempo. Los relés ofrecen el llamado Retardo Adicional que puede programarse, para especificar un tiempo entre un elemento que está llegando a su estado de disparo y un comando de disparo que se está emitiendo.

CAPÍTULO III

COORDINACIÓN PARA EL DISEÑO DE LA PROTECCIÓN DE LÍNEA

3.1 Reglas básicas de coordinación

Aquellos dispositivos en serie cuyas zonas de protección se superponen deben ser coordinados de modo que el dispositivo más cercano a la falla (el dispositivo "protector") operará antes de que el dispositivo siguiente aguas arriba más cercano a la falla (el dispositivo "protegido" o "de respaldo") pueda funcionar. Las ubicaciones relativas de los dispositivos "protector" y "protegido" en un esquema simple de protección de sobrecorriente son mostradas en la Figura 3.1.

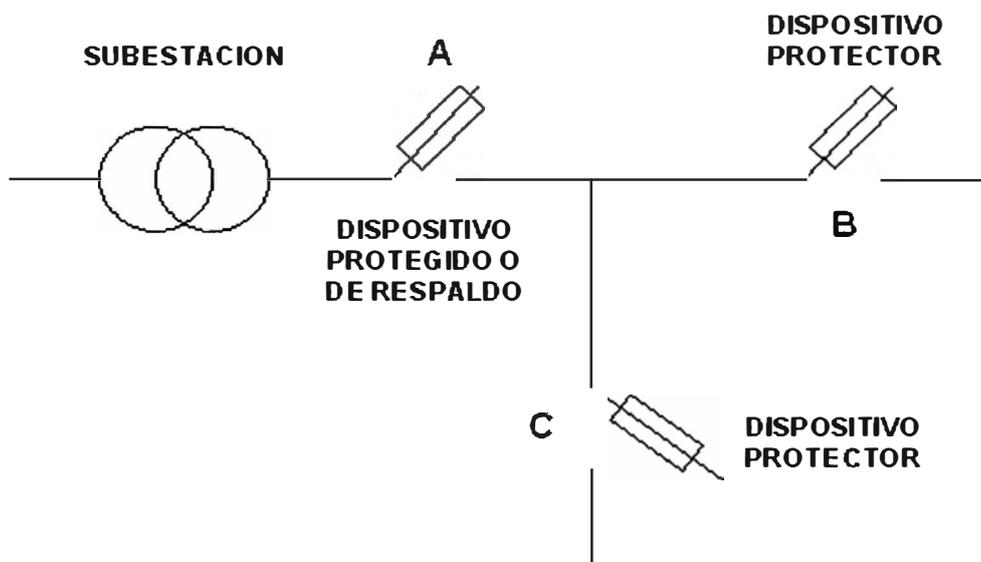


FIGURA 3.1
DEFINICIÓN CONVENCIONAL DE LOS DISPOSITIVOS
DE PROTECCIÓN BASADOS EN LA UBICACIÓN

Tal coordinación de dispositivos seleccionados e instalados adecuadamente harán posible que se alcancen estas reglas básicas de coordinación:

1. Dar a todas las fallas una oportunidad de ser temporal para una cierta longitud de tiempo.
2. Bloquear (interrumpir la energía) solo para fallas permanentes.
3. Retirar solamente la porción más pequeña posible de línea, del servicio.

En un esquema de protección típico, más complejo que el mostrado en la Figura 3.1, algunos dispositivos sirven ambas funciones de protector y protegido, dependiendo de la localización de las

fallas específicas. También, los dispositivos con capacidad de recierre automático, tales como los reconectores, son instalados en puntos apropiados para permitir interrupciones momentáneas en respuesta a fallas temporales.

3.2 Coordinación para el diseño de la protección con fusible cinta

El primer paso para establecer una filosofía de coordinación fusible-fusible es seguir estrictamente los fundamentos ya descritos para coordinación de dispositivos de protección en serie. A todas las fallas se les debe dar una oportunidad de ser temporales, el bloqueo ocurriría sólo para fallas permanentes, y cuando el bloqueo ocurre, solamente la porción más pequeña posible de la línea será retirada.

Para dispositivos coordinados en serie, las zonas de disparo de protección se traslapan. En otras palabras, dos o más fusibles se pueden quemar para una condición de falla dada. Una regla aceptada para coordinar fusibles cintas es que el tiempo máximo de apertura de la cinta protectora no debe exceder el 75 por ciento del tiempo mínimo de fusión de la cinta protegida. Esto asegura que la cinta protectora interrumpirá y despejará la falla antes que la cinta protegida sea dañada en cualquier camino como además se ha explicado abajo.

Tres métodos que pueden ser usados en la coordinación de fusibles; son: la aplicación de curvas tiempo-corriente (TCCs), el uso de tablas de coordinación, y reglas del pulgar. El método TCC, el más exacto, es el que mostramos a continuación:

En la mayoría de los casos, la coordinación del sistema total, está basada en las TCC's de un tipo de fusible en particular (K, T, N, etc.) para el sistema. Si es así, la coordinación es algo simplificada.

En la aplicación de fusibles cintas como los dispositivos de protección en la Fig. 3.1, la coordinación debe asegurar que la cinta protegida (A) en el lado de alimentación no sea dañada cuando ocurre una falla en la zona de cualquiera de las cintas protectoras en el lado de la carga (B o C). Los factores a considerar para realizar esto son:

1. Tolerancias.
2. Temperatura ambiente.
3. Efectos de precarga.
4. Efectos de predaño.

En la práctica, más que ir a través de un análisis detallado de estos factores, se puede usar un factor de reducción de 75 por ciento. Esto alcanzará la coordinación deseada (y previene de daño a la cinta protegida) asegurando que el tiempo máximo de apertura de la cinta protectora no sea mayor que el 75 por ciento del tiempo mínimo de fusión de la cinta protegida.

Las TCC's están basadas sobre una temperatura ambiente de 25°C. Temperaturas más altas reducirán el tiempo de fusión y temperaturas ambiente inferiores lo aumentarán. Los efectos de precarga -el grado al cual el flujo de corriente a través de un fusible cinta aumentará la temperatura

y de ese modo reducirá el tiempo de fusión- no son tomados en cuenta en el desarrollo de las curvas TCC. Del mismo modo que con las variaciones de la temperatura ambiente, esta es una característica difícil de evaluar, ya que la precarga puede variar el ciclo de vida del alimentador.

Aún más difícil de cuantificar son los efectos de predaño - el grado al cual las características de apertura del fusible pueden ser afectadas cuando las corrientes se aproximan a la mínima fusión de la característica tiempo-corriente. Para evitar los efectos de predaño, en ningún caso se debe permitir que la cinta no protegida experimente una corriente dentro del 90 por ciento de su curva de mínima fusión.

Ejemplo de coordinación de fusible cinta basada en comparaciones de TCC: La Figura 3.2 muestra un estudio típico para parte de un sistema con fusible A en el alimentador y fusibles B y C en derivaciones. La máxima corriente de falla disponible en amperios simétricos y la corriente de carga normal, son mostrados en cada punto de coordinación. Cintas tipo T de estaño serán usadas en todos estos fusibles de protección.

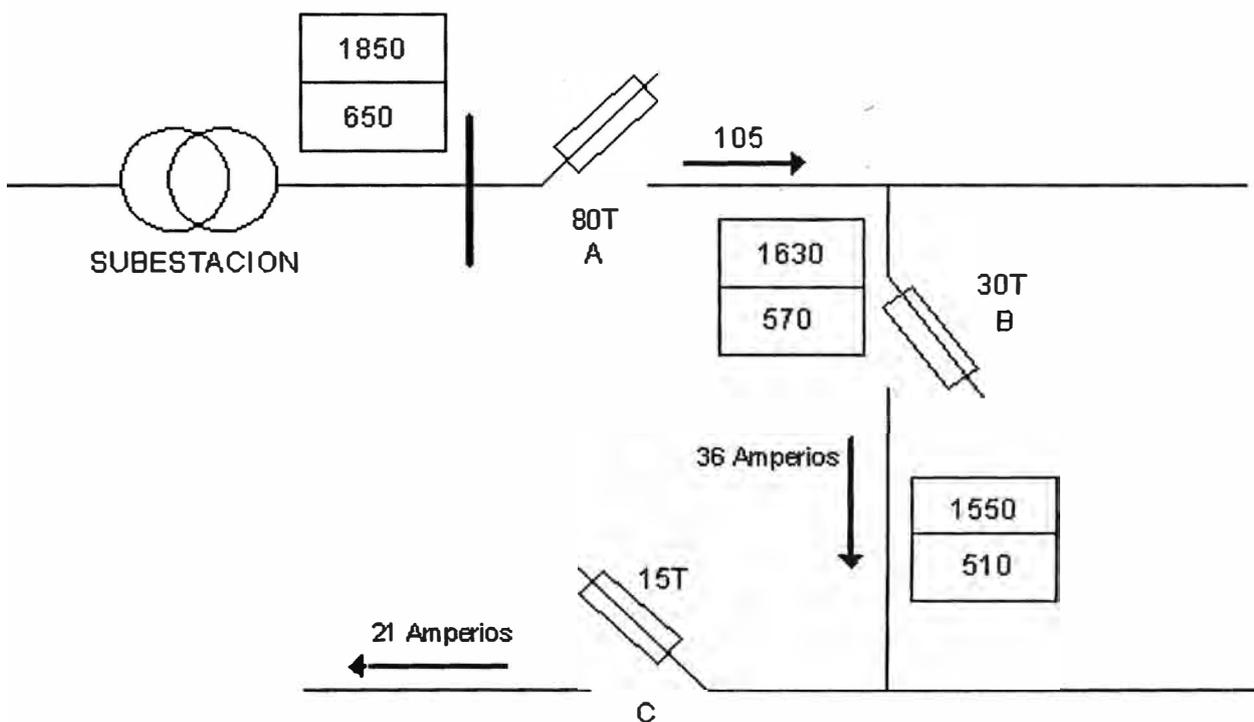


FIGURA 3.2
DIAGRAMA PARA MÉTODO DE COORDINACIÓN TCC
DE FUSIBLES

La Figura 3.3 muestra las curvas de tiempo máximo de apertura y tiempo mínimo de fusión, para posibles cintas a ser usadas en los puntos A, B o C en el sistema. La cinta 15T con capacidad de 23 amperios continuos, encontrará la corriente de carga de 21 amperios y proveerá un tiempo máximo de apertura de 0.021 segundos para 1550 amperios en el punto C. El tiempo de mínima fusión no es un factor crítico si ningún dispositivo necesita ser coordinado con el último fusible cinta en la derivación.

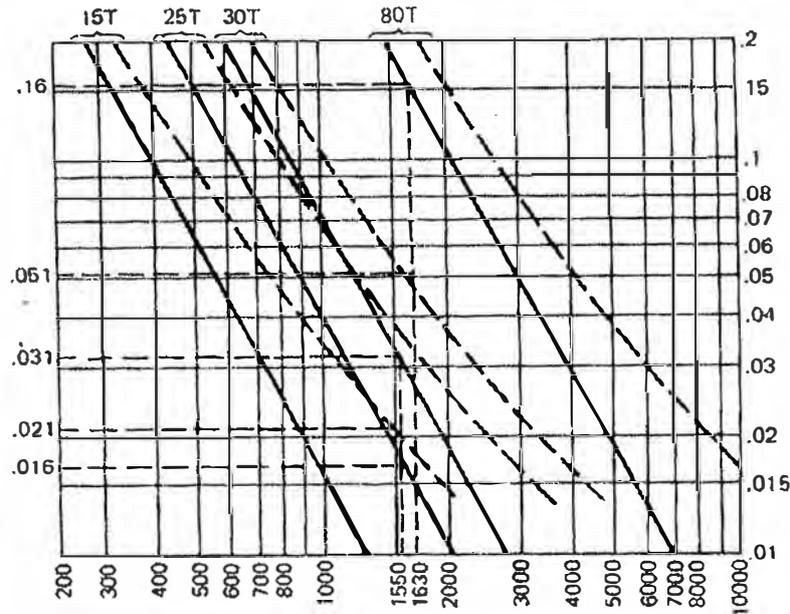


FIGURA 3.3
CURVAS TCC PARA COORDINACIÓN DE FUSIBLES CINTA
EN EL EJEMPLO DE LA FIGURA 3.2

Una cinta debe ser encontrada ahora para transportar corriente de 36 amperios continuos, interrumpir 1630 amperios en el punto B y coordinar con la cinta 15T. La cinta 20T no es satisfactoria porque puede transportar solamente 30 amperios continuamente. La siguiente clase, la cinta 25T, transporta 38 amperios continuamente. El tiempo de mínima fusión de la cinta 25T en 1550 amperios es 0.016 segundos. A causa de que la cinta 25T fusiona antes que abra la cinta 15T, esta combinación no es deseable para coordinación. El tiempo de mínima fusión de la cinta 30T en 1550 amperios es 0.031 segundos. La relación tiempo máximo de apertura/tiempo mínimo de fusión para la combinación 30T y 15T es $0.021/0.031$, o 68 por ciento. Esto es satisfactorio, ya que la relación para coordinación deseable no debería exceder 75 por ciento.

Una cinta 80T interrumpirá satisfactoriamente 1800 amperios en el punto A, transportará 105 amperios continuamente, y coordinará con la cinta 30T en el punto B. La relación CT/MT para la combinación 80T-30T es $0.051/0.16$, o 32 por ciento.

3.3 Coordinación para el diseño de la protección con reconector

Los reconectores automáticos son los dispositivos de protección de sobrecorriente más frecuentemente usados para "dar a cada falla una posibilidad para ser temporal". Para una aplicación adecuada de los reconectores en un sistema de distribución, los siguientes principios de coordinación básica deben ser observados:

- El dispositivo en el lado de la carga debe clarificar una falla permanente o temporal antes de que el dispositivo en el lado de la fuente interrumpa el circuito (fusible cinta) u opere el

bloqueo (reconectador)

- Las interrupciones causadas por fallas permanentes deben ser restringidas a la sección más pequeña del sistema.

Estos principios influyen principalmente en la selección de las curvas de operación y secuencias de ambos dispositivos en el lado de la fuente y en el lado de la carga, y la localización general de estos dispositivos en el sistema de distribución.

3.3.1 Coordinación de reconectador y fusibles cinta

El uso de un dispositivo de recierre automático en conjunto con fusibles de un disparo elimina muchas interrupciones innecesarias que ocurren cuando solamente se usan fusibles. El dispositivo automático se ajusta para disparar para una falla antes de que cualquiera de los fusibles se pueda quemar, y entonces recierra el circuito. Si la falla fuera no persistente por naturaleza, las condiciones normales serían restauradas al recierre del dispositivo automático. No obstante, si la falla fuera persistente por naturaleza, el dispositivo automático iría a una operación con retardo de tiempo siguiendo una o dos operaciones instantáneas y permitiría que el fusible correcto se quemara para aislar la falla.

Cuando los dispositivos de protección de recierre automático son usados en conjunto con fusibles, el problema de obtener la coordinación deseada es algo complicado por el hecho de que algo del calor acumulado en el fusible durante el flujo de la corriente de falla se perderá durante el tiempo que el dispositivo automático esté abierto. La cantidad de frío que tendrá lugar en un fusible durante el tiempo de apertura del dispositivo de recierre dependerá de factores tales como:

1. La temperatura del fusible cinta en el instante que el circuito es abierto
2. La temperatura ambiente
3. La conductividad térmica del fusible cinta y todos los materiales en contacto con o alrededor del fusible cinta
4. La longitud de tiempo que el circuito permanece abierto.

La aplicación de los reconectores en los sistemas de distribución requerirá que ellos sean coordinados con fusibles en el lado de la fuente y en el lado de la carga. En ambos casos, la corriente de falla a través del fusible será interrumpida por el reconectador y luego restaurada conforme el reconectador progrese a través de su secuencia de operación. Inicialmente, la temperatura del elemento fusible es determinada por la corriente de carga de pre-falla y por la temperatura ambiente. Cuando ocurre una falla, la temperatura del elemento fusible aumenta hacia su valor de fusión. Si el reconectador abre antes que el elemento fusible alcance su valor de fusión, el fusible se enfriará durante el intervalo de tiempo de recierre (contactos abiertos). Este ciclo de corriente continuará hasta que la falla sea clarificada antes de la siguiente operación de

recierre (es decir, falla temporal), el fusible fusione y clarifique la falla, o el reconectador opere hasta el bloqueo. La Figura 3.4 ilustra el calentamiento y enfriamiento del fusible.

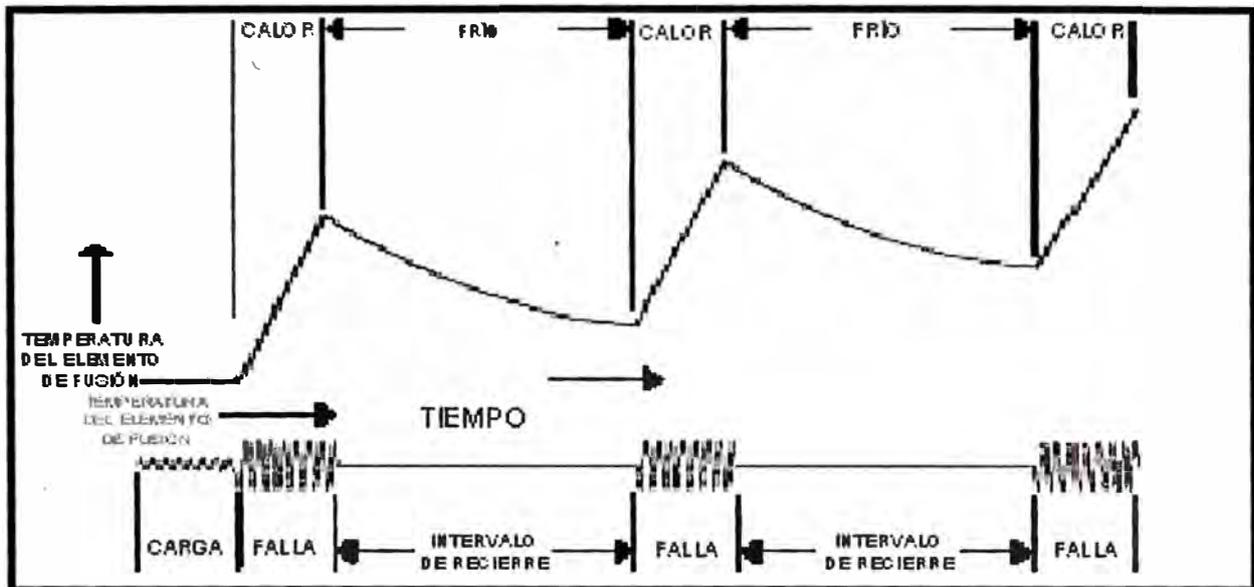


FIGURA 3.4
CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DE UN FUSIBLE
EN SERIE CON UN RECONECTADOR DURANTE
LA SECUENCIA DE OPERACIÓN DEL RECONECTADOR

Claramente, cuando se coordina reconectadores y fusibles, el calentamiento y enfriamiento repetido del fusible debe ser considerado. Para este fin, son aplicados factores de ajuste, no a las curvas TCC del fusible, sino a las curvas TCC del reconectador, para generar curvas "equivalentes" del reconectador conforme son vistas por el fusible; éste concepto es muy importante para comprender el uso de las curvas características tiempo-corriente en la coordinación reconectador-fusible cinta.

Tres técnicas diferentes son usadas frecuentemente para crear curvas equivalentes de reconectador, cada una de las cuales proporciona diferentes niveles de exactitud.

Un método, llamado el Método Conservativo, ignora completamente el enfriamiento del fusible y considera solamente el calentamiento del fusible.

El Método del Factor de Enfriamiento ajusta precisamente las curvas del reconectador reflejando ambas características del calentamiento y del enfriamiento específico del fusible como una función de la duración de cada intervalo de tiempo de recierre.

Un tercer método, llamado el Método del factor K usa factores de escala predeterminados para ciertas secuencias comunes del reconectador y velocidades del fusible. Se producen resultados en algún lugar entre el Método Conservativo y el Método del Factor de Enfriamiento.

Como se muestra en la Figura 3.5, los factores de enfriamiento para fusibles pueden variar sustancialmente. Por ejemplo, después que un intervalo de tiempo de recierre de 2 segundos ha transcurrido, el fusible cinta de velocidad "lenta" (20T) ha perdido 13% de su entrada de calor comparado a un fusible cinta de velocidad "muy rápido" (40N), que ha perdido 92% de su entrada

de calor. Un fusible cinta de velocidad "media" (40 Std.) ha perdido 54% de su entrada de calor después de 2 segundos.

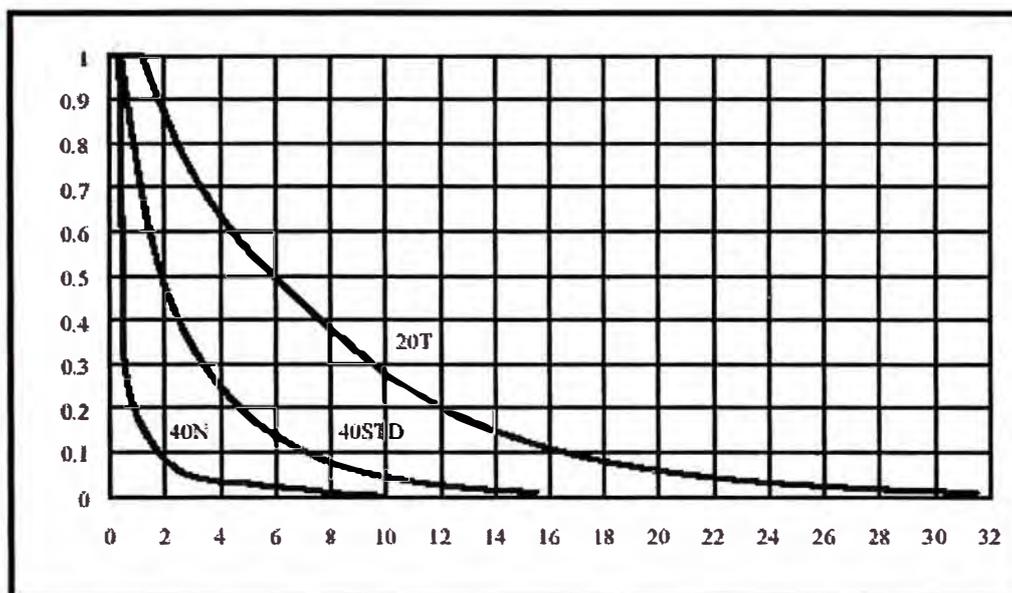


FIGURA 3.5
FACTORES DE ENFRIAMIENTO TÍPICOS VS. TIEMPO PARA DIFERENTES FUSIBLES CINTA
FABRICADOS POR S&C ELECTRIC COMPANY

a) Fusible en el lado de la fuente / reconectador en el lado de la carga

Cuando un fusible es localizado en el lado de la fuente de un reconectador, el fusible no debe fusionar antes de que el reconectador opere en el bloqueo. El máximo valor de corriente hasta el cual el fusible y un reconectador coordinarán se determina por lo siguiente:

- (a) la máxima capacidad de interrupción del reconectador o el fusible, o
- (b) la intersección de la curva de mínima fusión del fusible y la máxima curva de operación equivalente del reconectador (es decir, la curva de bloqueo).

Método conservativo

La aproximación conservativa es para ignorar el enfriamiento del fusible durante el intervalo de tiempo de recierre, y simplemente suma el efecto de calor de cada operación de recierre. Esto es, se crea una curva de bloqueo de reconectador equivalente sumando el número adecuado de operaciones rápida y retardada. Este método asegurará la coordinación, pero puede forzar la selección de un fusible más grande en el lado de la fuente que el que es necesario.

Las curvas equivalentes máximas para el reconectador son obtenidas usando la siguiente ecuación:

$$T_l = \frac{\sum_{j=1}^n T_{Rj}}{1 - P} \quad (3.1)$$

Donde:

T_I = Punto en la curva de bloqueo equivalente máxima del reconectador, a la corriente seleccionada (I).

P = Reducción en el tiempo de fusión del fusible debido a precarga, expresada como una parte decimal de su tiempo de fusión total.

T_{Rj} = Tiempo máximo de clarificación a la corriente (I) para la j^{va} operación (contactos cerrados) del reconectador.

n = Número de operaciones (contactos cerrados) del reconectador.

Método del Factor de Enfriamiento

A fin de obtener coordinación precisa entre un fusible en el lado de la fuente y un reconectador en el lado de la carga, es necesario compensar el calor generado en el fusible cuando los contactos del reconectador son cerrados, y el calor perdido cuando los contactos son abiertos. A un valor de corriente seleccionado, el calor almacenado en el fusible (precalentamiento), durante el tiempo que los contactos del reconectador están cerrados, es directamente proporcional al tiempo de clarificación del reconectador. Por esto un ajuste puede ser hecho con las curvas rápida (A) y lenta (B, C, etc.) del reconectador por medio de la aplicación de un factor "C" a los tiempos de clarificación. Estos factores de enfriamiento (C), para un intervalo de tiempo de recierre específico, o tiempo de enfriamiento, refleja el calor restante en el fusible después del precalentamiento y enfriamiento, en porcentaje del precalentamiento. Véanse las Figuras 3.6 y 3.7.

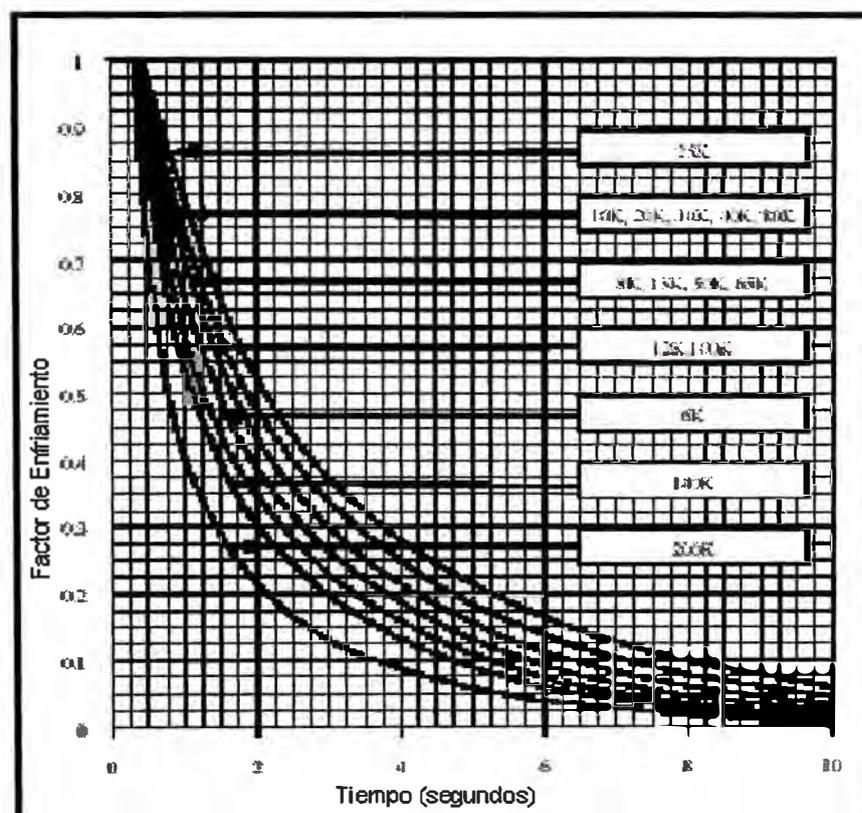


FIGURA 3.6
FACTOR DE ENFRIAMIENTO VS. TIEMPO
PARA FUSIBLES CINTA K, FABRICADOS POR S&C.

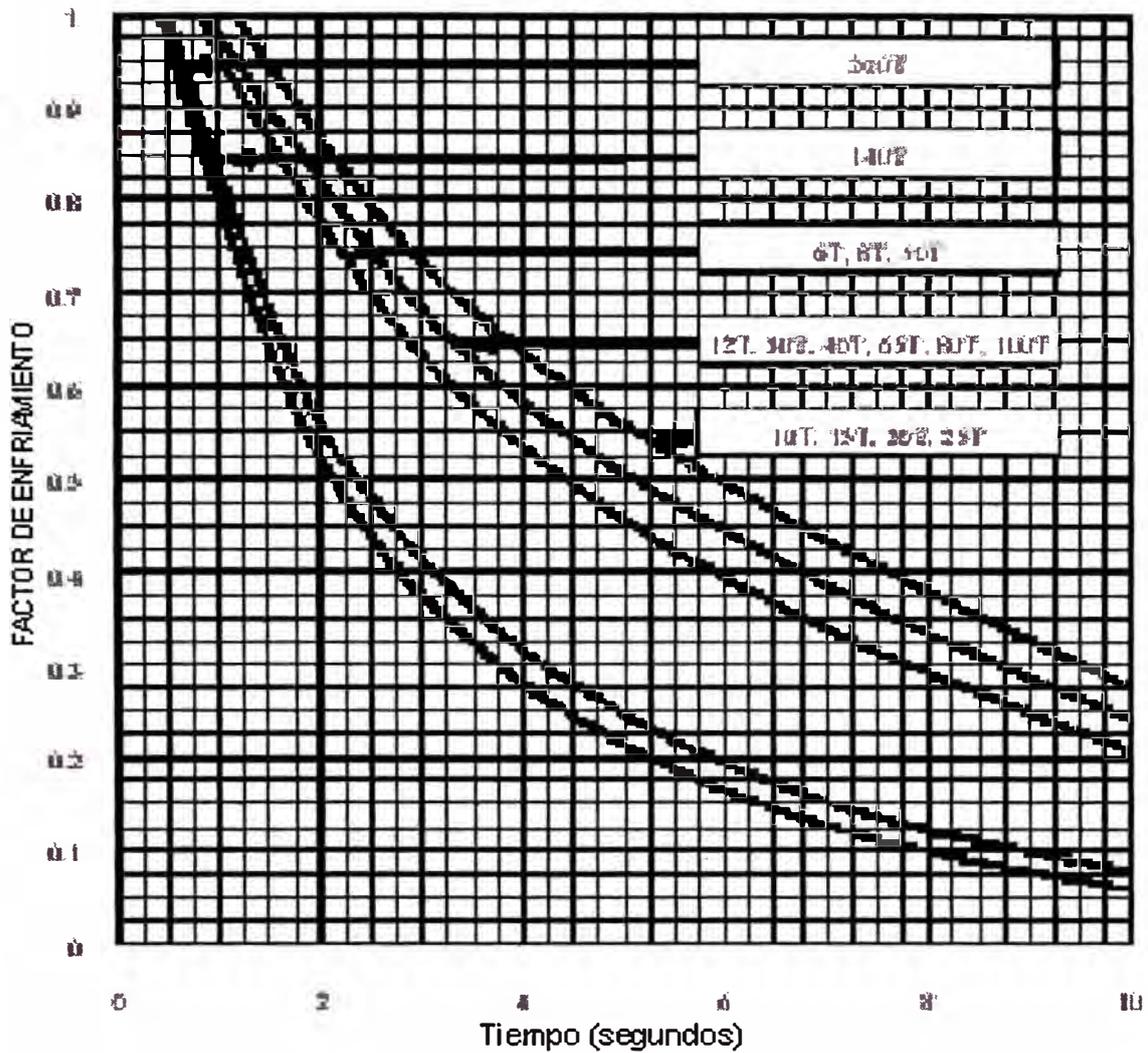


FIGURA 3.7
FACTOR DE ENFRIAMIENTO VS. TIEMPO
PARA FUSIBLES CINTA T FABRICADOS POR S&C

Las curvas máximas de bloqueo equivalentes del reconectador, para varias secuencias de operación, son obtenidas por el uso de las siguientes ecuaciones:

- a. Una operación del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}}{(1 - P)} \quad (3.2)$$

- b. Dos operaciones del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}C_1 + T_{R2}}{(1 - PC_1)} \quad (3.3)$$

c. Tres operaciones del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}C_1C_2 + T_{R2}C_2 + T_{R3}}{(1 - PC_1C_2)} \quad (3.4)$$

Cuando los tiempos de recierre son los mismos, esto se simplifica a:

$$T_l = \frac{T_{R1}C^2 + T_{R2}C + T_{R3}}{(1 - PC^2)} \quad (3.5)$$

d. Cuatro operaciones del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}C_1C_2C_3 + T_{R2}C_2C_3 + T_{R3}C_3 + T_{R4}}{(1 - PC_1C_2C_3)} \quad (3.6)$$

Cuando los tiempos de recierre son los mismos, esto se simplifica a:

$$T_l = \frac{T_{R1}C^3 + T_{R2}C^2 + T_{R3}C + T_{R4}}{(1 - PC^3)} \quad (3.7)$$

Donde:

T_l = Punto en la curva máxima equivalente de bloqueo del reconectador, a la corriente seleccionada (I).

P = Reducción en el tiempo de fusión del fusible debido a precarga, expresada como una parte decimal de su tiempo de fusión total.

T_{Rj} = Tiempo máximo de clarificación a la corriente (I) para la j^{va} operación (contactos cerrados) del reconectador.

C_k = Factores de enfriamiento de la Figura 3.6 o la Figura 3.7 para el k^{vo} intervalo de tiempo de recierre (contactos abiertos) del reconectador.

Método del Factor Multiplicador K

La coordinación entre un reconectador y fusibles cinta puede ser lograda usando métodos basados en curvas tiempo-corriente ajustadas por un factor multiplicador.

Los fusibles cinta en el lado de la fuente del transformador generalmente protegen al sistema de una falla en el transformador y protegen al transformador de una falla en la barra secundaria. Este

arreglo de fusibles es mostrado en la Figura 3.8. El reconectador automático (ACR1) debe ser seleccionado para coordinar con el fusible cinta en el lado de la fuente de modo que el fusible no interrumpa el circuito para cualquier corriente de falla en el lado de la carga del reconectador.

El efecto acumulativo del calor de las operaciones del reconectador debe ser menor que la curva característica de daño del fusible cinta. Esto es realizado a través del uso de un factor multiplicador en la curva tiempo-corriente del reconectador que identifica el punto de daño o fatiga del fusible cinta. La curva con retardo modificada del reconectador debe ser más rápida que la curva de mínima fusión del fusible en el lado de la fuente.

Las curvas tiempo-corriente son usadas para coordinar el reconectador en el lado secundario con el fusible cinta en el lado de la fuente utilizando la siguiente regla:

Para la máxima corriente de falla disponible en la ubicación del recloser, el mínimo tiempo de fusión del fusible cinta en el lado de la fuente del transformador debe ser mayor que el tiempo de clarificación promedio de la curva retardada del recloser, multiplicada por un factor específico. Los factores multiplicadores (factores "K") para varios intervalos de recierre y secuencias de operación son listados en la Tabla 3.1.

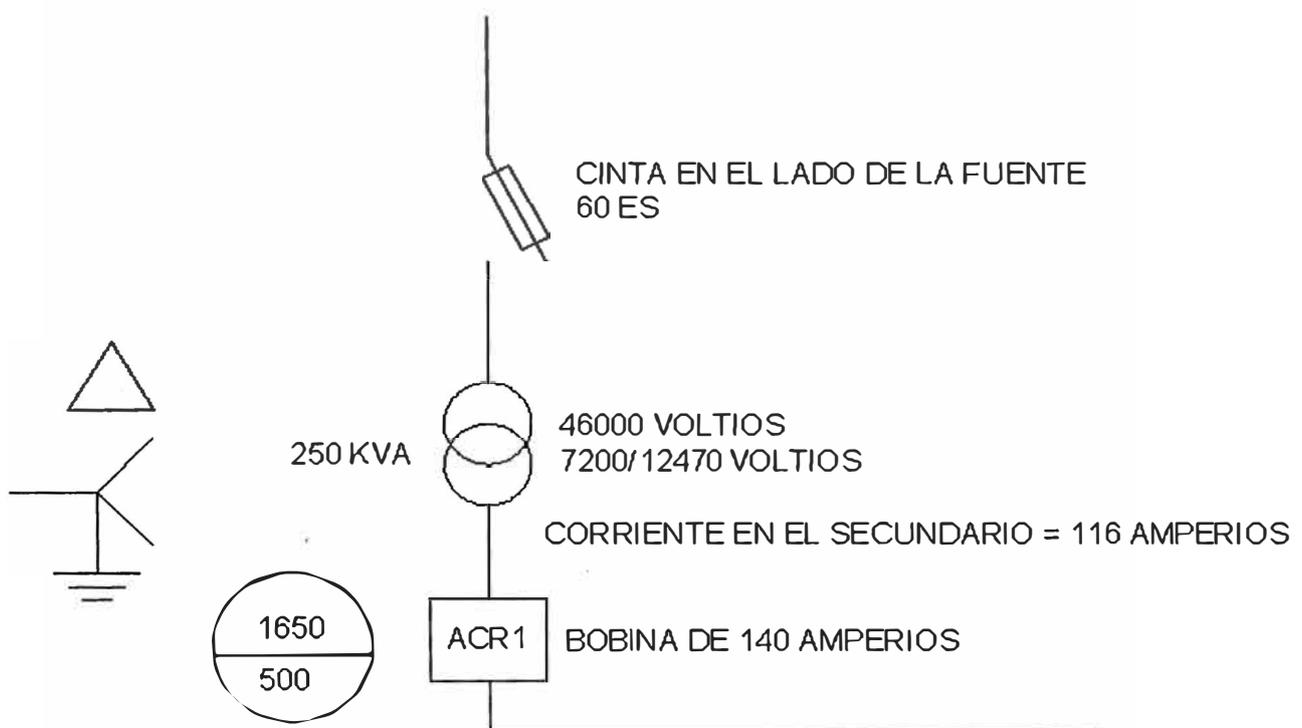


FIGURA 3.8
EJEMPLO DE ESQUEMA DE PROTECCIÓN
CON RECONECTADOR Y FUSIBLE EN EL LADO DE LA FUENTE

Tabla 3.1
Factor "K" para fusibles cinta de estaño en el lado de la fuente y en el lado de la carga

FUSIBLES CINTA EN EL LADO DE LA FUENTE			
Para coordinación de fusible en el lado de la fuente, el factor "K", planteado en valores promedio, es usado para multiplicar los valores de tiempo de la curva retardada (B, C, D, E, etc.). La intersección de esta curva de referencia con la curva de tiempo de mínima fusión del fusible determina la máxima corriente de coordinación. Notar que, las curvas del fusible o del recloser deben ser trasladadas de modo que ambas sean planteadas con la misma referencia de voltaje.			
	Multiplicadores de:		
Tiempo de recierre en ciclos	Secuencia de dos rápidas y dos retardadas	Secuencia de una rápida y tres retardadas	Secuencia de cuatro retardadas
25	2.7	3.2	3.7
30	2.6	3.1	3.5
50	2.1	2.5	2.7
90	1.85	2.1	2.2
120	1.7	1.8	1.9
240	1.4	1.4	1.45
600	1.35	1.35	1.35
FUSIBLES CINTA EN EL LADO DE LA CARGA			
Para coordinación de fusible en el lado de la carga, los factores "K" son usados para multiplicar los valores de tiempo de la curva rápida. La intersección de esta curva de referencia con la curva de tiempo de mínima fusión del fusible, determina la máxima corriente de coordinación. Notar que, las curvas del fusible o del recloser deben ser trasladadas de modo que ambas sean planteadas con la misma referencia de voltaje.			
	Multiplicadores para:		
Tiempo de recierre en ciclos	Una operación rápida	Dos Operaciones rápidas	
25-30	1.25	1.8	
60	1.25	1.35	
90	1.25	1.35	
120	1.25	1.35	

Con una conexión asimétrica del transformador (delta-estrella), la relación de la corriente de falla del primario al secundario será diferente, dependiendo del tipo de falla. Los siguientes factores son usados para determinar la cantidad a desviar de la curva del fusible para referirla al secundario de una conexión delta-estrella del transformador:

Tipo de Falla	Factor Multiplicador
Trifásico	N
Fase a fase	0.87 N
Fase a Tierra	1.73N

Donde N es la relación de voltaje, $46/12.47 = 3.7$

Para la relación N de 3.7, los factores multiplicadores son:

Trifásico	: Curva del fusible movida a la derecha en $46/12.47 =$ factor 3.7
Fase a fase	: Curva del fusible movida a la derecha en $0.87 \times (3.7) =$ factor 3.2
Fase a Tierra	: Curva del fusible movida a la derecha en $1.73 \times (3.7) =$ factor 6.4

Ya que el factor de falla de fase a fase de 3.2 resultará en la coordinación más apretada, esa debería ser usada como el factor limitador. Cualquier otro factor resultaría en un desplazamiento mayor y permitiría más espacio de coordinación entre las curvas del reconector y el fusible.

Ejemplo

Determinar si un reconector de aceite 4H, con una bobina de disparo de 25A, coordinará con un fusible cinta de 65K en el lado de la fuente. El reconector es ajustado para dos operaciones rápidas (A) y dos operaciones lentas (B) (es decir, 2A/2B), con un intervalo de tiempo de recierre fijado en 1.5 segundos entre cada operación. Como se notó antes, el fusible no debe fusionar antes de que el reconector opere en el bloqueo. La corriente de falla disponible es 600 amperios. Se asume que el fusible es precargado al 70% de su capacidad en amperios.

- a. Método Conservativo. Ya que el fusible debe permitir que el reconector opere en el bloqueo sin fusionar, la curva máxima equivalente de bloqueo del reconector es calculada añadiendo los tiempos de operación individual de las dos curvas rápidas (A) y las dos curvas lentas (B) en el nivel de corriente de falla especificado.

Debemos notar que las curvas rápidas del reconector (A), son expresadas como tiempos máximos de clarificación. Las curvas lentas (B) publicadas son expresadas como promedio de los tiempos de clarificación, y deben ser ajustadas por una tolerancia positiva de 10%. Véase la figura 3.9.

La curva máxima equivalente de bloqueo del reconector puede entonces ser calculada usando la ecuación (3.1):

$$T_i = \frac{2T_A + 2(1.1T_B)}{1 - P} \quad (3.8)$$

Donde T_a y T_b son puntos de las curvas A y B del reconector, respectivamente, a la corriente seleccionada I . Con 600 amperios: $T_A = 0.373$ segundos, y $T_B = 0.116$ segundos (ambas de la Figura 3.9).

Para 70% de precarga: $P = 0.10$ (véase la Figura 3.10)

$$T_i = \frac{2 \times 0.0373 + 2(1.1 \times 0.116)}{1 - 0.10} = 0.366s$$

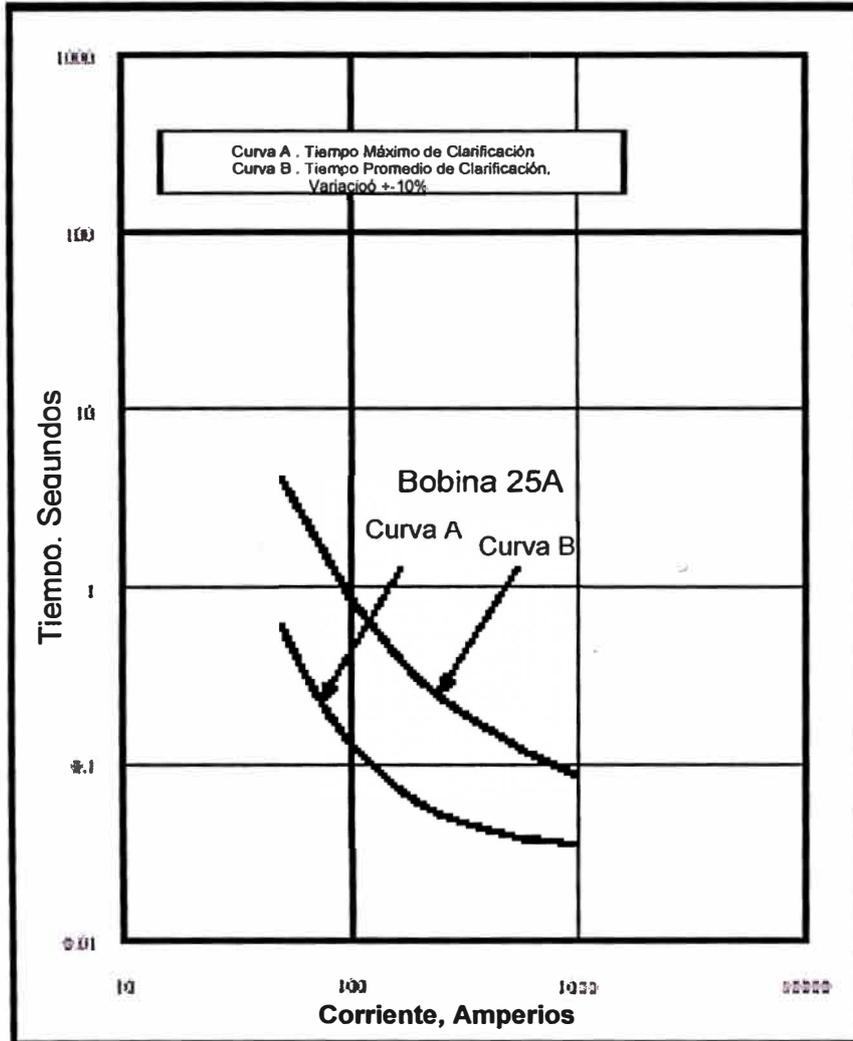


FIGURA 3.9
CURVAS TCC "A" (RÁPIDA) Y "B" (LENTA PARA UN RECONECTOR
TIPO 4H CON UNA BOBINA DE DISPARO DE 25 AMPERIOS

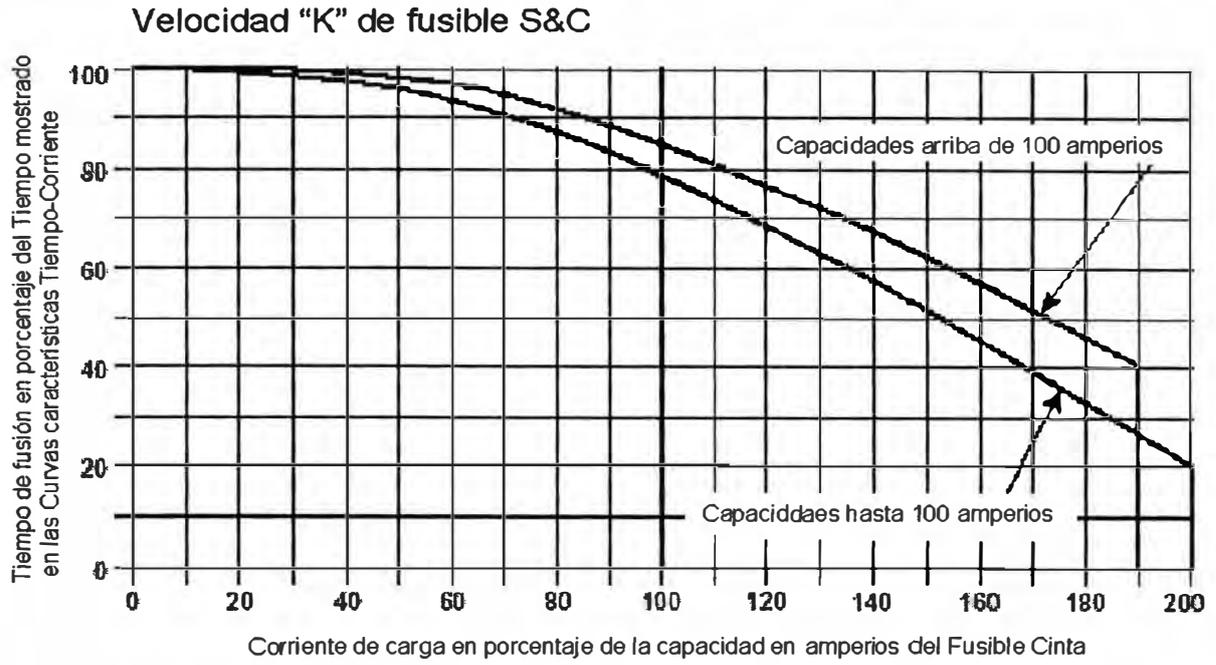


FIGURA 3.10
FACTORES DE AJUSTE POR PRECARGA DE FUSIBLES CINTA K

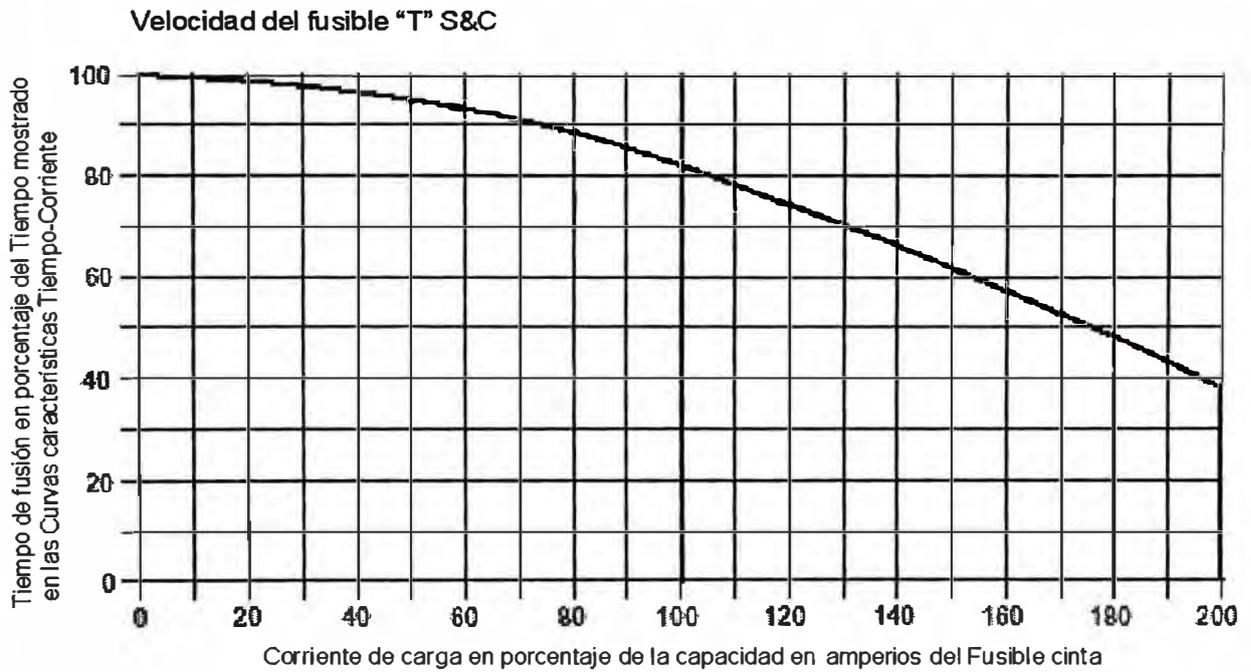


FIGURA 3.11
FACTORES DE AJUSTE POR PRECARGA DE FUSIBLES CINTA T

Un fusible cinta de 65K fusiona en 0.257 segundos, de modo que no se alcanza la coordinación total.

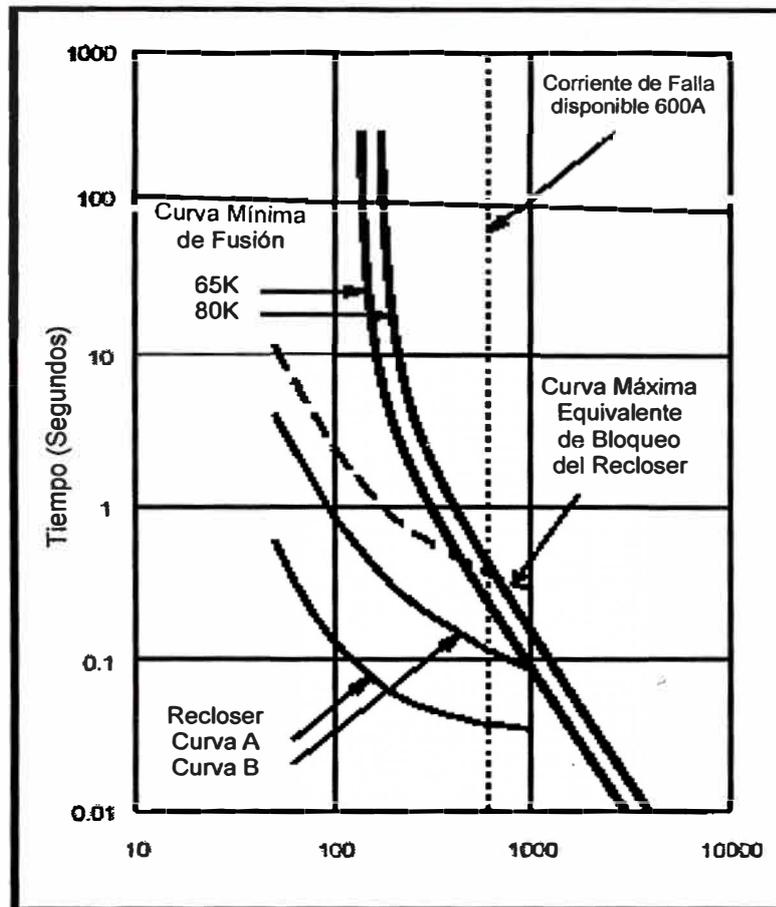


FIGURA 3.12
COORDINACIÓN FUSIBLE EN EL LADO DE LA FUENTE / RECONECTOR
EN EL LADO DE LA CARGA USANDO EL MÉTODO CONSERVATIVO

Un fusible cinta de 80K, que toma 0.439 segundos para fusionar en 600 amperios, será requerido para coordinación. Véase la figura 3.12.

b. Método del factor de Enfriamiento

Como en el ejemplo anterior, el fusible debe admitir que el reanclador opere hasta el bloqueo, y el intervalo de tiempo de recierre es fijado en 1.5 segundos.

La curva máxima equivalente de bloqueo del reanclador es calculada usando la Ecuación 3.7:

$$T_i = \frac{T_{AC}^3 + T_{AC}^2 + 1.1T_{BC} + 1.1T_B}{(1 - PC^3)} \quad (3.7)$$

Donde T_a y T_b son puntos de las curvas A y B del reconectador, respectivamente, a la corriente seleccionada I . A 600 amperios: $T_A = 0.0373$ segundos y $T_B = 0.116$ segundos (ambas de la Figura 3.9). Para 70% de precarga: $P = 0.10$ (véase la Figura 3.10). Para un intervalo de tiempo de recierre de 1.5 segundos: $C = 0.55$ para un fusible cinta de 65K (de la figura 3.6)

$$T_i = \frac{0.0373 \times 0.55^3 + 0.0373 \times 0.55^2 + 1.1 \times 0.116 \times 0.55 + 1.1 \times 0.116}{(1 - 0.10 \times 0.55^3)} = 0.219s$$

Un fusible cinta de 65K fusiona en 0.257 segundos, de modo que la coordinación total es alcanzada. Véase la Figura 3.13. El ejemplo anterior ilustra que incluyendo el enfriamiento del fusible cinta durante los intervalos de tiempo de recierre, se permite la selección de un fusible en el lado de la fuente más pequeño.

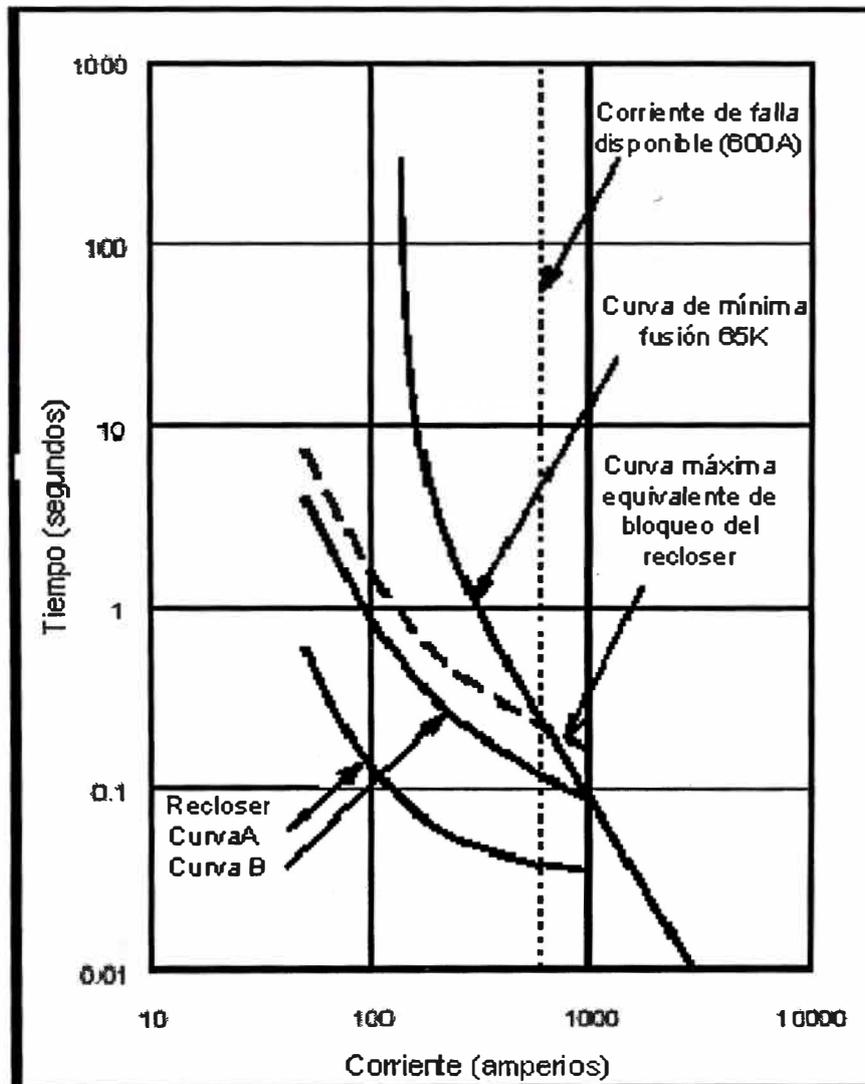


FIGURA 3.13
COORDINACIÓN FUSIBLE EN EL LADO DE LA FUENTE / RECONECTADOR EN EL LADO DE LA CARGA USANDO EL MÉTODO DE FACTOR DE ENFRIAMIENTO

b) Reconectador en el lado de la fuente / Fusible en el lado de la carga

Cuando un fusible es localizado en el lado de la carga de un reconectador, el fusible no debe fusionar mientras el reconectador opera a través de sus operaciones rápidas, pero sí debe operar durante las operaciones retardadas para evitar el bloqueo del reconectador. El máximo valor de corriente al cual un fusible y reconectador coordinará es determinado por lo siguiente:

- (a) la máxima capacidad de interrupción del reconectador o el fusible, o
- (b) la intersección de la curva de mínima fusión del fusible con la curva máxima equivalente solo para las operaciones rápidas del reconectador. Nótese que ésta no es la curva del bloqueo.

Las ecuaciones 3.1 a 3.7 son usadas para calcular la máxima corriente de coordinación, pero para el caso reconectador en el lado de la fuente / fusible en el lado de la carga, solamente las operaciones rápidas del reconectador son consideradas.

El mínimo valor de corriente inferior al cual el fusible y el reconectador coordinarán es determinado por la intersección de la curva de clarificación total del fusible y la curva mínima equivalente de bloqueo del reconectador.

a. Método Conservativo.

Para determinar la máxima corriente de coordinación úsese la ecuación 3.1, incluyendo solo las operaciones rápidas del reconectador en el cálculo. Para la mínima corriente de coordinación, considerar la intersección de la curva de clarificación total del fusible con la mínima curva equivalente de bloqueo del recloser, obtenida por medio del uso de la siguiente ecuación:

$$T_I = T_R \quad (3.9)$$

Donde:

T_I = Punto en la curva mínima equivalente de bloqueo del reconectador, a la corriente seleccionada (I).

T_R = Tiempo mínimo de clarificación a la corriente (I) para la operación retardada (contactos cerrados) del reconectador.

b. Método del Factor de Enfriamiento

Para determinar la máxima corriente de coordinación úsense las ecuaciones desde 3.2 hasta 3.7, incluyendo solo las operaciones rápidas del reconectador en el cálculo. Para la mínima corriente de coordinación, considerar la intersección de la curva de clarificación total del fusible con la curva

mínima equivalente de bloqueo para el reconectador, obtenida por medio del uso de las siguientes ecuaciones:

a. Una operación del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}}{(1 - P)} \quad (3.10)$$

b. Dos operaciones del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}C_1 + T_{R2}}{(1 - P)} \quad (3.11)$$

c. Tres operaciones del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}C_1C_2 + T_{R2}C_2 + T_{R3}}{(1 - PC_1C_2)} \quad (3.12)$$

Cuando los tiempos de recierre son los mismos, esto se simplifica a:

$$T_l = \frac{T_{R1}C^2 + T_{R2}C + T_{R3}}{(1 - PC^2)} \quad (3.13)$$

d. Cuatro operaciones del reconectador

$$T_l = \frac{T_{R1}C_1C_2C_3 + T_{R2}C_2C_3 + T_{R3}C_3 + T_{R4}}{(1 - PC_1C_2C_3)} \quad (3.14)$$

Cuando los tiempos de recierre son los mismos, esto se simplifica a:

$$T_l = \frac{T_{R1}C^3 + T_{R2}C^2 + T_{R3}C + T_{R4}}{(1 - PC^3)} \quad (3.15)$$

Donde:

T_l = Punto en la curva mínima equivalente de bloqueo del reconectador, a la corriente seleccionada (I).

P = Reducción en el tiempo de fusión del fusible debido a la precarga, expresada como una parte decimal de su tiempo total de fusión.

T_{Rj} = Tiempo mínimo de clarificación a la corriente (I) para la j^{va} operación (contactos cerrados) del reconector.

C_k = Factores de enfriamiento de la Figura 3 o Figura 4 para el k th intervalo de tiempo de recierre (contactos abiertos) del reconector.

Ejemplo

Determinar el rango de coordinación para un Reconector Tipo R con una bobina de disparo de 100A con un fusible cinta en el lado de la carga 65T. El reconector es ajustado para dos operaciones rápidas (A) y dos operaciones lentas (C) (es decir, 2A/2C), con un intervalo de tiempo de recierre fijado en dos segundos entre cada operación. El fusible no debe fusionar durante las operaciones rápidas del reconector, pero el fusible debe fusionar y clarificar la falla antes que el recloser opere en el bloqueo. Se asume que el fusible es precargado al 70% de su capacidad en amperios.

a. Método Conservativo

Ya que el fusible debe sostener las dos operaciones rápidas del reconector sin que fusionen, la curva máxima equivalente de operaciones rápidas del reconector es calculada sumando las dos curvas rápidas (A). Como se notó anteriormente, las curvas A son expresadas como tiempos máximos de clarificación. La curva máxima equivalente del reconector para las dos operaciones puede ser calculada usando la ecuación 3.1:

$$T_f = \frac{2T_A}{1 - P} \quad (3.16)$$

Donde T_A es el punto de la curva rápida (A) del reconector para la corriente seleccionada (I). Para 70% de precarga: $P = 0.09$ (de la Figura 3.10).

$$T_f = \frac{2T_A}{1 - 0.09} \quad (3.17)$$

Esta ecuación es aplicada a diferentes niveles de corriente. La intersección de la curva máxima equivalente del reconector para las dos operaciones rápidas con la curva de mínima fusión del fusible es la corriente máxima de coordinación.

Como se muestra en la Figura 3.13, la máxima corriente de coordinación es 1700A.

El fusible debe operar para clarificar la falla después de las operaciones rápidas del recloser, pero antes que el recloser opere en todos los modos de bloqueo. La curva mínima equivalente de bloqueo del recloser puede ser calculada usando la Ecuación 3.9:

$$T_I = 0.9 T_C \quad (3.18)$$

Donde T_C es el punto de la curva C del reanectador a la corriente seleccionada I . El factor 0.9 representa la tolerancia negativa de la curva promedio publicada.

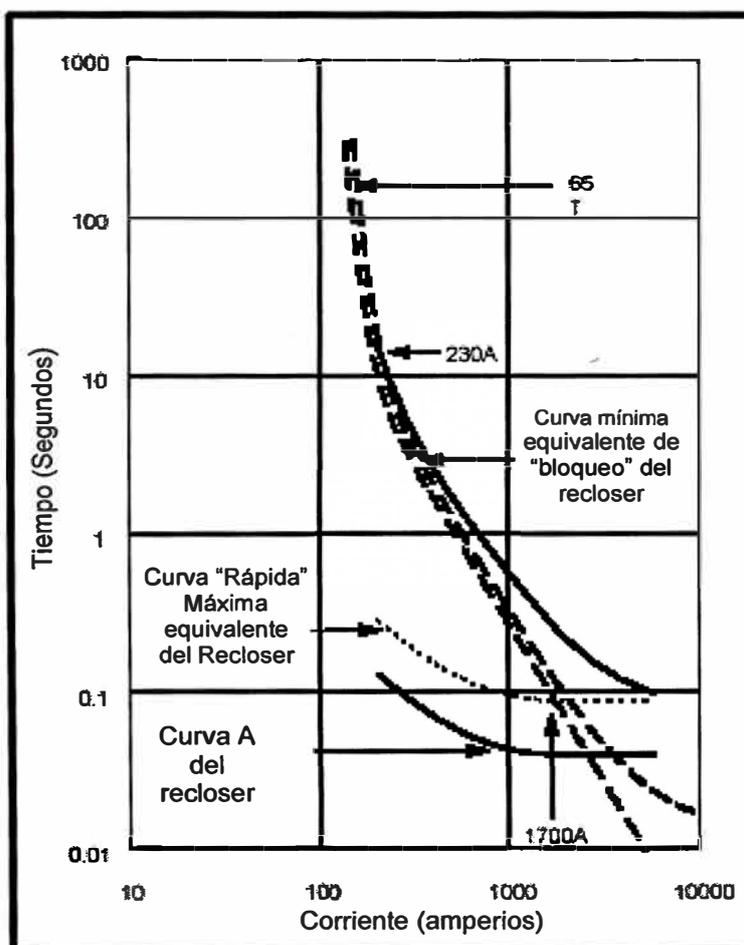


FIGURA 3.14
COORDINACIÓN REANECTADOR EN EL LADO DE LA FUENTE / FUSIBLE EN EL LADO DE LA CARGA USANDO EL MÉTODO CONSERVATIVO

La intersección de la curva de bloqueo mínima equivalente del reanectador con la curva de clarificación total del fusible, es la mínima corriente de coordinación. De la Figura 3.12, la mínima corriente de coordinación es 230A.

b. Método del Factor de Enfriamiento

Como antes, el fusible debe sostener las dos operaciones rápidas del reconectador sin fusionar, con el intervalo de tiempo de recierre fijado en 2 segundos.

La curva rápida máxima equivalente del recloser es calculada usando la ecuación 3.3.

$$T_f = \frac{T_A C + T_A}{(1 - PC)} \quad (3.19)$$

Donde T_A es el punto de la curva A del recloser a la corriente seleccionada I . Para 70% de precarga: $P = 0.09$ (de la Figura 3.10). Para un intervalo de tiempo de recierre de 2.0 segundos: $C = 0.82$ para un fusible cinta 65T (de la Figura 3.7)

$$T_f = \frac{T_A \times 0.82 + T_A}{(1 - 0.09 \times 0.82)} \quad (3.20)$$

Esta ecuación es aplicada a diferentes niveles de corriente. La intersección de la curva rápida máxima equivalente del recloser con la curva de mínima fusión del fusible es la máxima corriente de coordinación. Como se ha mostrado en la Figura 3.15, la máxima corriente de coordinación es 2015A.

El fusible debe clarificar después de las operaciones rápidas del recloser pero antes que el recloser opere en el bloqueo. La curva mínima equivalente de bloqueo del recloser puede entonces ser calculada usando la Ecuación 3.7:

$$T_i = \frac{0.8T_A C^3 + 0.8T_A C^2 + 0.9T_C C}{(1 - PC^3)} \quad (3.21)$$

Donde T_A y T_C son los puntos de las curvas A y C del recloser, respectivamente, a la corriente seleccionada I . Para 70% de precarga: $P = 0.09$ (de la Figura 3.10). Para un intervalo de tiempo de recierre de 2.0 segundos: $C = 0.82$ para un fusible cinta 65T (véase la Figura 3.7).

$$T_i = \frac{0.8 \times T_A \times 0.82^3 + 0.8 \times T_A \times 0.82^2 + 0.9 \times T_C \times 0.82 + 0.9 \times T_C}{(1 - 0.09 \times 0.82^3)}$$

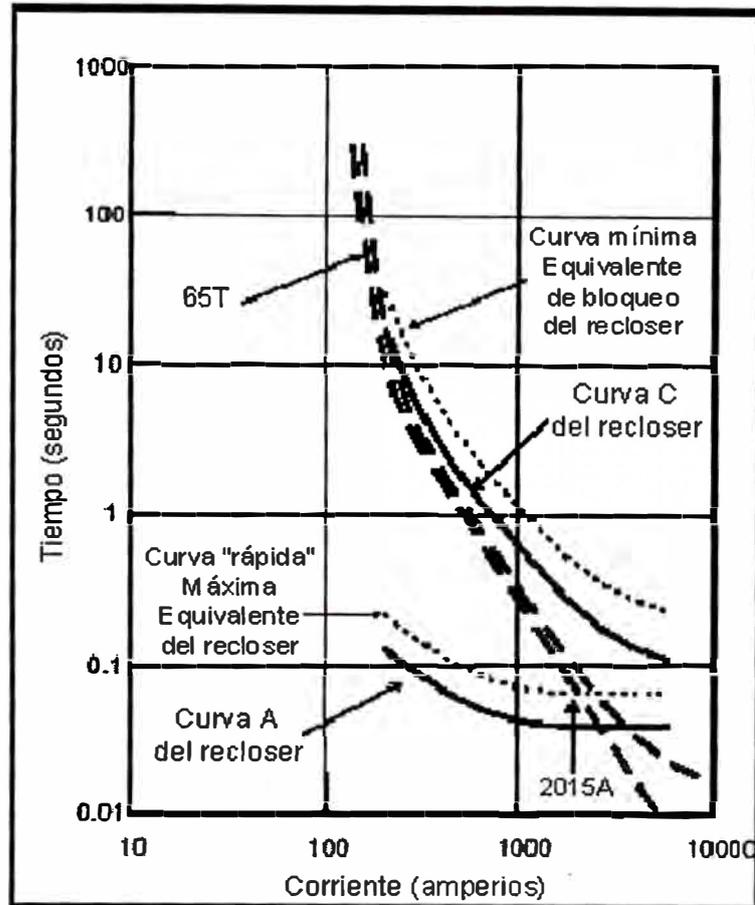


FIGURA 3.15
COORDINACIÓN DE RECONECTADOR EN ELLADO DE LA FUENTE / FUSIBLE EN EL LADO
DE LA CARGA USANDO EL MÉTODO DEL FACTOR DE ENFRIAMIENTO

La intersección de la curva mínima equivalente de bloqueo del reanclador con la curva de clarificación total del fusible es la mínima corriente de coordinación. A partir de la Figura 3.14, el fusible y el reanclador coordinan para todas las corrientes menores que 2015A, ya que la curva mínima de bloqueo del reanclador y la curva de clarificación total no se intersecan.

3.4 Coordinación del fusible limitador de corriente

Un fusible de respaldo puede interrumpir cualquier corriente entre su corriente mínima de interrupción y su corriente máxima de interrupción nominal. Si un fusible de respaldo es abierto por fusión (**melted open**) a una corriente menor que su capacidad mínima de interrupción, el fusible puede no interrumpir el circuito. A causa de esto, un fusible de respaldo no debe ser usado en aplicaciones donde será requerido para interrumpir corrientes menores que su corriente mínima de interrupción nominal. El fusible de respaldo siempre es aplicado en serie con otro dispositivo de interrupción que interrumpirá corrientes menores que la corriente mínima de interrupción nominal del fusible de respaldo. El dispositivo serie puede ser otro fusible o interruptor. En otros casos, estas corrientes pueden ser interrumpidas por un dispositivo que es disparado cuando el

elemento(s) del fusible de respaldo se fusiona y se apertura por fusión (**melt open**) y es coordinado para proteger el fusible de respaldo. Más comúnmente, los fusibles de expulsión son usados con los fusibles de respaldo para alcanzar la capacidad de interrupción baja.

Estos fusibles limitadores de corriente de respaldo son usados para proteger equipos de distribución (transformadores, capacitores, interruptores, etc.) de efectos potencialmente dañinos de la corriente de falla y retira el equipo fallado del resto del sistema, por esto minimiza la extensión del área afectada por la falla. En adición, los fusibles sirven frecuentemente para minimizar la duración de caídas en el voltaje del sistema causada por estas fallas. Como los fusibles limitadores de corriente son capaces de interrumpir corrientes muy altas (casi todos los fusibles tienen una corriente de interrupción máxima nominal de 50,000 amperios) y por esto pueden ser usados casi en cualquier lugar, sin considerar la corriente de falla prevista.

A diferencia de los fusibles limitadores de corriente de rango total, los fusibles limitadores de corriente backup, siempre deben ser usados en serie con un dispositivo de protección capaz de clarificar corrientes que son suficientes para fusionar el elemento(s) del fusible limitador de corriente, pero que son menores que su corriente mínima de interrupción nominal. Los fusibles de expulsión son particularmente adecuados para realizar esta función ya que tienen una buena capacidad de interrupción de corriente baja. No obstante, a causa de que también tienden a tener una capacidad limitada de interrupción de corriente alta (corriente de interrupción máxima nominal), emparejar un fusible de expulsión con un fusible backup limitador de corriente produce particularmente buena synergia. Por esto, a causa de que los fusibles limitadores de corriente de respaldo son usualmente emparejados con algún tipo de fusible de expulsión, el método de coordinación expuesto se enfocará solo en tales aplicaciones. No obstante, si otro tipo de dispositivo en serie es usado (por ejemplo un dispositivo interruptor de alto voltaje tal como un interruptor, se aplican los mismos principios básicos de coordinación.

El procedimiento normal seguido para la selección del fusible de expulsión y el fusible limitador de corriente para una aplicación particular es **seleccionar primero el fusible de expulsión**. Un número de factores determina el tipo y capacidad de corriente del fusible de expulsión a ser usado. Con un transformador, por ejemplo, los factores incluyen los requerimientos de sobrecarga (ambas máxima y mínima), corriente de inserción y corrientes de arranque con carga en frío. Para un capacitor, la corriente nominal máxima, incluye tolerancias y armónicos, y las corrientes de inserción son consideraciones importantes. En el presente trabajo no se ha expuesto los criterios de selección de los fusibles de expulsión como elemento de protección de distintos equipos, de modo que se supone que el fusible expulsión ya ha sido seleccionado.

Con el fusible de expulsión seleccionado, determinar el fusible limitador de corriente de respaldo adecuado para una aplicación en particular requiere que uno considere tres factores principales:

- el método por el cual los dos fusibles van a ser **coordinados**

- la **capacidad de voltaje** apropiada del fusible limitador de corriente
- la **capacidad de corriente** apropiada del fusible limitador de corriente

Cuatro áreas fundamentales tienen que ser direccionadas para asegurar que la coordinación adecuada exista entre los fusibles de respaldo y de expulsión, conectados en serie. Primero, cada dispositivo debe proteger al otro en su área de no operación. Segundo, a menos que el fusible de respaldo sea reemplazado después de cada operación del fusible de expulsión no debe ser dañado durante la operación del fusible de expulsión. Tercero, las corrientes de sobrecargas permitidas por el fusible de expulsión no deben dañar al fusible de respaldo. La cuarta área que, estrictamente hablando, no está relacionada directamente a la coordinación con el fusible de expulsión, es el requerimiento que el fusible de respaldo como el fusible de expulsión, no sean dañados por picos, tal como corrientes de inserción de transformador.

La coordinación principal entre el fusible de expulsión y el fusible limitador de corriente de respaldo asegura que los dos fusibles trabajarán juntos para despejar todas las corrientes desde la corriente más baja que causará que el elemento del fusible expulsión se fusione hasta una corriente igual a la corriente máxima de interrupción del fusible limitador de corriente. Alcanzar esta coordinación principal requiere que cuando las curvas características (TCC) tiempo-corriente apropiadas para los dos fusibles sean sobrepuestas, la curva TCC de clarificación total del fusible de expulsión debe cruzar la curva TCC de mínima fusión del fusible limitador de corriente en un punto correspondiente a una corriente que es mayor que la corriente de interrupción mínima nominal del fusible limitador de corriente, pero menor que la corriente de interrupción máxima nominal del fusible de expulsión. Cuando esto ocurre, cada fusible protege al otro fusible en su zona de "vulnerabilidad". Aunque, bajo algunas circunstancias, el cruce puede ser admitido para ocurrir a una corriente mayor que la capacidad de interrupción máxima del fusible de expulsión (con la selección del fusible adicional o limitaciones operacionales), las curvas siempre deben cruzar a una corriente mayor que la corriente de interrupción mínima nominal del fusible de respaldo o puede ser llamado a intentar e interrumpir una corriente que no puede. Dependiendo de la ubicación relativa de las dos curvas, uno de los dos tipos diferentes de coordinación existirá.

Estos dos métodos de coordinación son comúnmente referidos como coordinación "de fusión del juego" y coordinación "cruce de la curva tiempo-corriente", aunque la coordinación de fusión del juego es en efecto una forma de coordinación cruce de la curva tiempo-corriente con algunos requerimientos adicionales.

3.4.1 Coordinación Fusión del Grupo

Para este método de coordinación, en adición a las reglas de coordinación básica descrita arriba, otro criterio importante debe ser encontrado. Ese criterio implica asegurar que el fusible de expulsión se fusione en cualquier momento que la combinación de los dos fusibles clarifique una sobrecarga o falla. Las curvas características de los dos fusibles que alcanzan esta coordinación

están descritas en la figura 3.15. Uno notará que la intersección de la curva TCC de clarificación total del fusible de expulsión y la curva TCC de mínima fusión del fusible limitador de corriente ocurre en un tiempo muy corto. En algunos casos, como es mostrado en la figura 22, esta intersección puede ocurrir en la curva de clarificación total del fusible de expulsión en la región donde la curva es paralela al eje de corriente. Esta porción de la curva corresponde al tiempo que representa la duración de medio ciclo, que es la longitud mínima de tiempo requerida para que un fusible de expulsión clarifique, sin importar cuán grande podría ser la corriente.

En general, la coordinación de fusión del juego resultará en la TCC de mínima fusión del fusible de expulsión ubicada a la izquierda de la TCC de mínima fusión del fusible de respaldo para todos los tiempos mayores a 0.01s. No obstante, esto no es un método confiable de asegurar que el fusible de expulsión se fusionará en tiempos más cortos que 0.01s. Para que sea cierto que el fusible de expulsión siempre se fusionará a cualquier corriente que cause que el fusible limitador de corriente opere, la mínima I^2t total permitida por el fusible limitador de corriente debería ser igual a, o mayor que el máximo I^2t de fusión del fusible de expulsión. Es este criterio del cual se deriva el nombre del método (I^2t es un término proporcional a la energía, obtenida por integración del cuadrado de la corriente, sobre un intervalo de tiempo particular, en este caso el tiempo de clarificación total del fusible backup y el tiempo de fusión del fusible de expulsión).

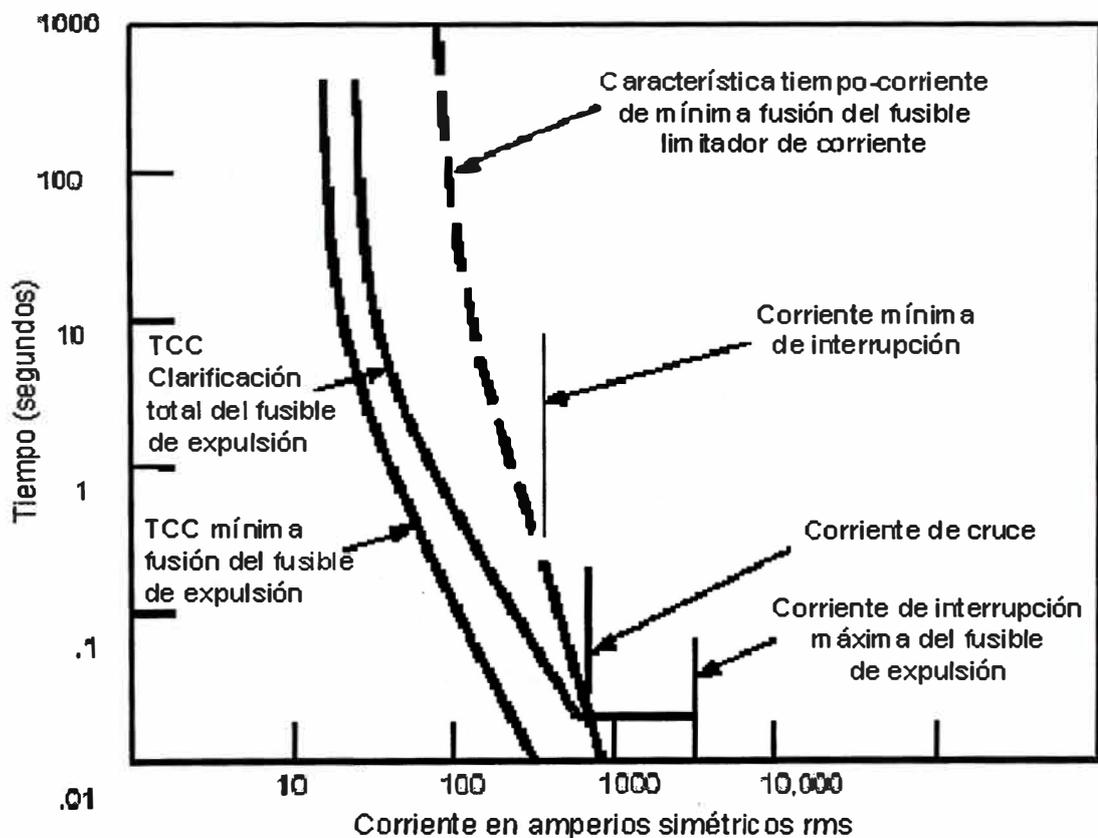


FIGURA 3.16
COORDINACIÓN DE FUSIÓN DEL JUEGO

Una aproximación bastante conservadora para asegurar que el fusible limitador de corriente dejará pasar suficiente energía para abrir por fusión el fusible de expulsión es seleccionar un fusible limitador de corriente que tenga un I^2t mínimo de fusión mayor que el máximo I^2t de fusión del fusible de expulsión. No obstante, una aproximación más práctica es tomar en cuenta el hecho que el fusible limitador de corriente dejará pasar, bajo casi todas las circunstancias prácticas, más I^2t que su mínima I^2t de fusión. No solo el I^2t real que causa la fusión será probablemente mayor que los valores mínimos publicados, un I^2t adicional se dejará pasar como resultado de la corriente que fluye durante el arco que ocurre después de la fusión y que continúa hasta que el fusible ha clarificado. La experiencia ha mostrado que la coordinación excelente puede ser realizada siempre que el máximo I^2t de fusión del fusible de expulsión no exceda aproximadamente dos veces el mínimo I^2t de fusión del fusible limitador de corriente. La única circunstancia bajo la cual tal aproximación podría resultar en la falla del fusible de expulsión para abrir por fusión es si un pico de corriente de duración muy corta (por ejemplo un pico de descarga) fuera a ocurrir y su magnitud ya ocurrida sea tal que el I^2t del pico excediera el I^2t de fusión del fusible limitador de corriente pero fuera menor que el I^2t de fusión del fusible de expulsión. Obviamente, ya que tal situación se desarrollaría muy raramente, esto no es una consideración significativa en la selección del mejor fusible limitador de corriente para una aplicación particular.

Como es obvio de lo anterior, a fin de usar el método de coordinación fusión del juego, uno debe conocer los valores del I^2t de máxima fusión para el fusible de expulsión y el I^2t de mínima fusión del fusible limitador de corriente. Aunque lo último está incluido usualmente en el dato de performance publicado por el fabricante del fusible limitador de corriente, el fabricante del fusible de expulsión normalmente no publica lo anterior. No obstante, puede ser calculado rápidamente a partir de la curva TCC de mínima fusión del fusible de expulsión (la curva que representa el valor más bajo de la corriente sinusoidal simétrica que causará que el fusible fusione en un tiempo dado). Un método de cálculo implica determinar primero la corriente correspondiente al valor de tiempo que representa el mínimo número entero de cuartos de ciclo. Por ejemplo, ésta podría ser la corriente correspondiente a tres (3) cuartos de ciclo (0.0125 segundos). Una vez que la corriente ha sido determinada a partir de la curva de mínima fusión del fusible de expulsión, se debe aumentar por un factor apropiado para tomar en cuenta las variaciones resultantes de las tolerancias del fabricante. En el caso de los fusibles de expulsión que tienen elementos de plata, este factor es 10%. Para fusibles con elementos hechos de otros materiales, este factor es normalmente 20%. Después que la corriente ha sido corregida para permitir las tolerancias del fabricante, la máxima I^2t de fusión del fusible de expulsión puede ser calculada primero elevando al cuadrado esta corriente y luego multiplicando ese valor por el tiempo (expresado en segundos) que fue la base para determinar la corriente. Obviamente, el fabricante del fusible de expulsión debe publicar un valor para la máxima I^2t de fusión del fusible, ése valor debe ser usado antes que el que obtuviera a partir del procedimiento descrito anteriormente.

La principal ventaja del método fusión del juego es que el fusible de expulsión abrirá por fusión aún si el fusible limitador de corriente realiza la clarificación real. De este modo, esta es la aproximación que casi siempre es usado con los fusibles limitadores de corriente de respaldo

aplicados en serie con cutouts. La apertura por fusión de la cinta cutout permite que el portafusible caiga abierto. Esto, a su vez, hace dos cosas. Proporciona una indicación visual de la ubicación de la falla que causó que los fusibles operen y también sirve para retirar el esfuerzo de voltaje del fusible limitador de corriente que ha operado. Cuando el fusible limitador de corriente es coordinado adecuadamente con cualquier fusible de expulsión conectado en serie usando el método fusión del juego, el fusible limitador de corriente probablemente no tenga el voltaje del sistema impreso a través de él después que ha operado. Esto permite al diseñador definir ciertas capacidades del fusible limitador de corriente físicamente menores que las que serían en el caso que los fusibles tuvieran que ser capaces de sostener indefinidamente el voltaje total del sistema. No obstante, aun si el voltaje del sistema estuviera impreso a través de un fusible "quemado" debido que el cutout es repuesto y energizado, o si un fusible de expulsión dentro de un transformador fuera más grande que el que deba haber sido y no fusionó, fusibles limitadores de corriente de respaldo relativamente cortos han sido mostrados que sostienen suficientemente el voltaje por largos periodos de tiempo sin tener lugar la erosión superficial (tracking). Se han registrado fusibles en buen tiempo que han sido capaces de sostener el voltaje del sistema tanto como varios meses, aún en ambientes costeros severos.

CAPÍTULO IV CASOS REALES DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN

4.1 Coordinación de protección de sobrecorriente entre reconectador, fusible de expulsión y relé WIP1, conectados al alimentador H-04

Para atender un incremento de potencia contratada a 180kW, de la Universidad José Faustino Sánchez Carrión, en la ciudad de Huacho, se fijó un punto de alimentación en una estructura de seccionamiento y medición (Puesto de medición Intemperie PMI N° 458); en la estructura de seccionamiento se han utilizado tres fusible- seccionador tipo cutout.

Como parte del proyecto de Sistema de Utilización 10kV (Red Eléctrica Particular 10kV), la Universidad ha instalado un interruptor de potencia con relé WIP-1 SEG, aguas abajo del punto de alimentación, en la celda de llegada de la subestación particular.

Por filosofía de protección, en el sistema de distribución de Edelnor, los reconectores son ajustados para que actúen con un solo disparo (sin recierre) ante una falla de cortocircuito entre líneas (sobrecorriente) y con disparo instantáneo.

El ajuste en la cabecera del alimentador viene definido por el personal que diseña la protección de subtransmisión 60kV, transformación 60/10kV y protección de barra 10kV. Asimismo, brindan al ingeniero de distribución la potencia de cortocircuito en barra 10kV de la subestación de transformación SET.

- a) Se determinan los niveles de cortocircuito y valores de carga en los enlaces del alimentador H-04 (véase Cuadro 1 – Corrientes de cortocircuito en alimentador H-04 y Figura 23 – Diagrama unificar de alimentador H-04).
- b) Con los ajustes de cortocircuito en la cabecera del alimentador H-04, debemos determinar el ajuste de protección por sobrecorriente (cortocircuito entre fases) del reconector Whipp & Bourne, modelo GVR 15/12 (reconector denominado RC 2057 en el diagrama unificar)

Cabecera de alimentador H-04

Corriente de carga en alimentador H-04: 235 A

Sobrecorriente alimentador H-04

$I > 630$ A

$t > 0,3$ seg

Recloser RC 2057

- a. Número de disparos: 1
- b. Curva seleccionada para el disparo en la secuencia de fase: Curva de disparo instantáneo.

- c. Multiplicador de tiempo para el disparo en la secuencia de fase: 0,15
- d. Retardo adicional: 0 segundos
- e. Tiempo mínimo de respuesta (ms) para disparo: el tiempo de disparo debe ser menor que el tiempo ajustado en el relé del interruptor en la cabecera. En el Reconectador GVR Whipp & Bourne, los ajustes del tiempo Mínimo de Respuesta se programa entre 0 segundos y 2 segundos. Para el Reconectador RC 2057 se ha ajustado en 0 segundos.
- f. Corriente mínima de disparo, en el Reconectador Whipp & Bourne, se determina como un porcentaje de la relación programada del transformador de corriente.
 - Falla de fase : 20% a 320% en pasos de 20%
 - Falla a tierra : 10% a 160% en pasos de 10%
 - Falla sensible a tierra : 1% a 16% en pasos de 1%

El reconectador utilizado en las redes de distribución de Edelnor tiene transformadores de corriente programados en 200:1A.

Para la protección de sobrecorriente, la corriente mínima de disparo debe ser menor que la corriente de disparo en la cabecera del alimentador. Determinamos la corriente mínima de disparo como 200% de 200. Luego, la corriente mínima de disparo es 480A.
- g. Nivel de disparo instantáneo para disparo 1 en secuencia de fase: 1
- h. Retardo de disparo instantáneo (ms) para disparo 1 en secuencia de fase: 0,15 segundos. Ya que el retardo de disparo instantáneo es de 0,15 segundos, se puede aproximar el tiempo de actuación del disparo instantáneo como de 0,15 segundos.
 - $I > 480A$
 - $t \geq 0,15$ segundos

Relé WIP1

Los parámetros de protección de acuerdo a las recomendaciones del fabricante:

a) Valor pickup para el elemento de sobrecorriente de fase

El valor pickup para el elemento de sobrecorriente de fase $I >$ es visualizado como la corriente secundaria del transformador de corriente en amperios.

El transformador de corriente utilizado tiene relación 100:1

El valor pickup se ha ajustado en 0.6

Con este valor pickup (0.6) y la relación de corriente de los transformadores de corriente (100), obtenemos el valor de corriente mínima de disparo en 60 amperios.

b) Característica Tiempo – Corriente para el elemento de sobrecorriente de fase

Se ha seleccionado la curva de tiempo definido a fin de que coordine con el reconectador RC2057.

c) Retardo de disparo o multiplicador de tiempo para el elemento de sobrecorriente de fase

El ajuste de tiempo definido es fijado en 10 segundos, conforme permite el rango de ajuste de sobrecorriente baja, entre 0.06 segundos y 300 segundos. (véase la Figura IV-1).

d) Configuración de la corriente para el elemento de alto ajuste

El valor pickup para el elemento de alto ajuste que aparece en la pantalla está relacionada a la corriente secundaria del transformador de corriente dado en amperios.

El transformador de corriente utilizado tiene relación 100:1

El valor pickup se ha ajustado en 3.9

Con este valor pickup (3.9) y la relación de corriente de los transformadores de corriente (100), obtenemos el valor de corriente mínima de disparo en 390 amperios.

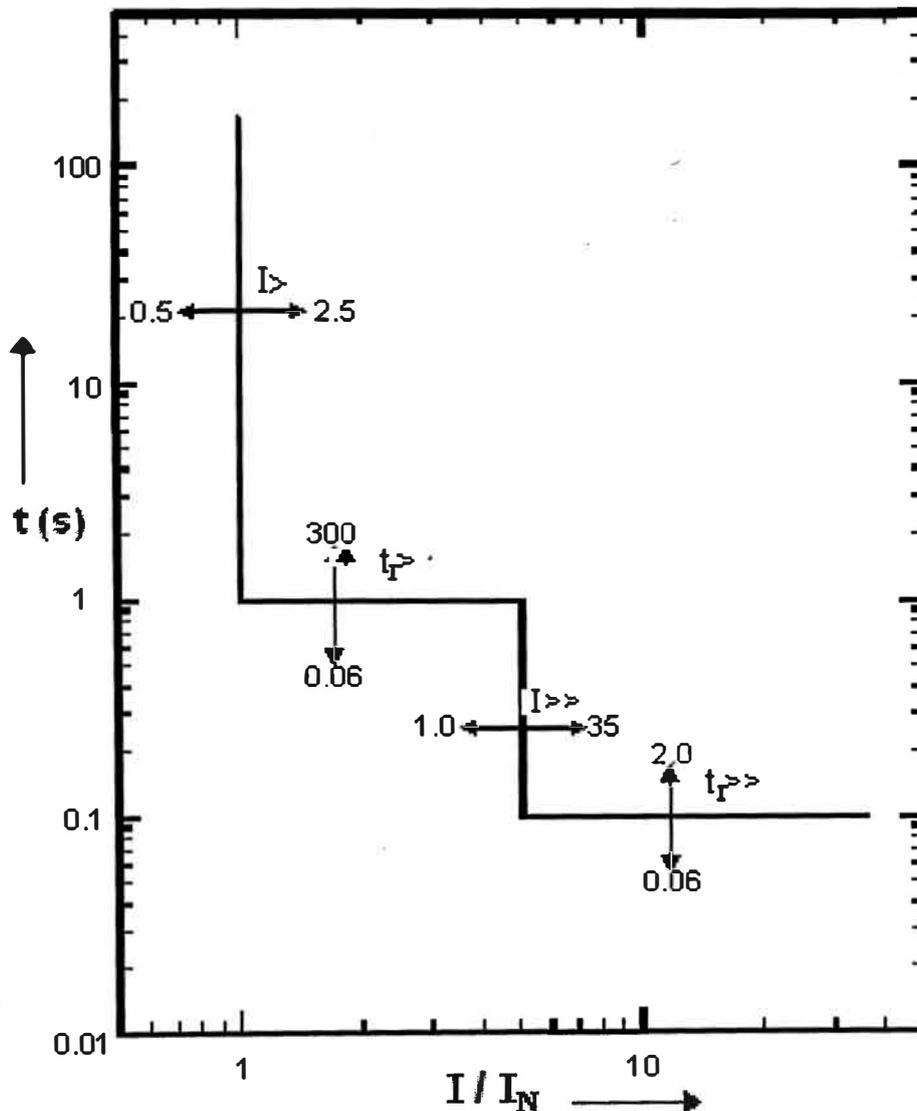


FIGURA 4.1
CARACTERÍSTICA DE DISPARO DE TIEMPO DEFINIDO

e) Retardo del disparo para el elemento de alto ajuste.

Diferente a la característica de disparo seleccionada para $I >$, el elemento de alto ajuste $I >>$ siempre tiene una característica de disparo de tiempo definido.

El retardo del tiempo se ha ajustado en 0.06 segundos, coordinando de esta manera con la característica de disparo del reconectador RC 2057.

$I > 60 \text{ A}$

$t \geq 10 \text{ segundos}$

$I >> 390 \text{ amperios}$

$t \geq 0,06 \text{ segundos}$

Fusible de expulsión "K"

Para el PMI 458, la carga contratada es de 46 amperios; el fusible de 20K se fundirá por sobrecarga, por lo que, debe incrementarse la capacidad del fusible a 30K.

El fusible tendrá actuación anticipada y/o simultánea con el relé WIP-1, por lo tanto, no habrá coordinación de la protección, aún así, debe mantenerse dichos fusibles a fin de no comprometer la red y otros clientes.

En la Figura IV.2 se puede apreciar la yuxtaposición de las curvas características del reconectador, relé WIP-1 y fusible de expulsión 30K.

En la Figura IV.3 se muestra el protocolo de ajuste de los elementos de protección en el ramal en estudio del alimentador H-04.

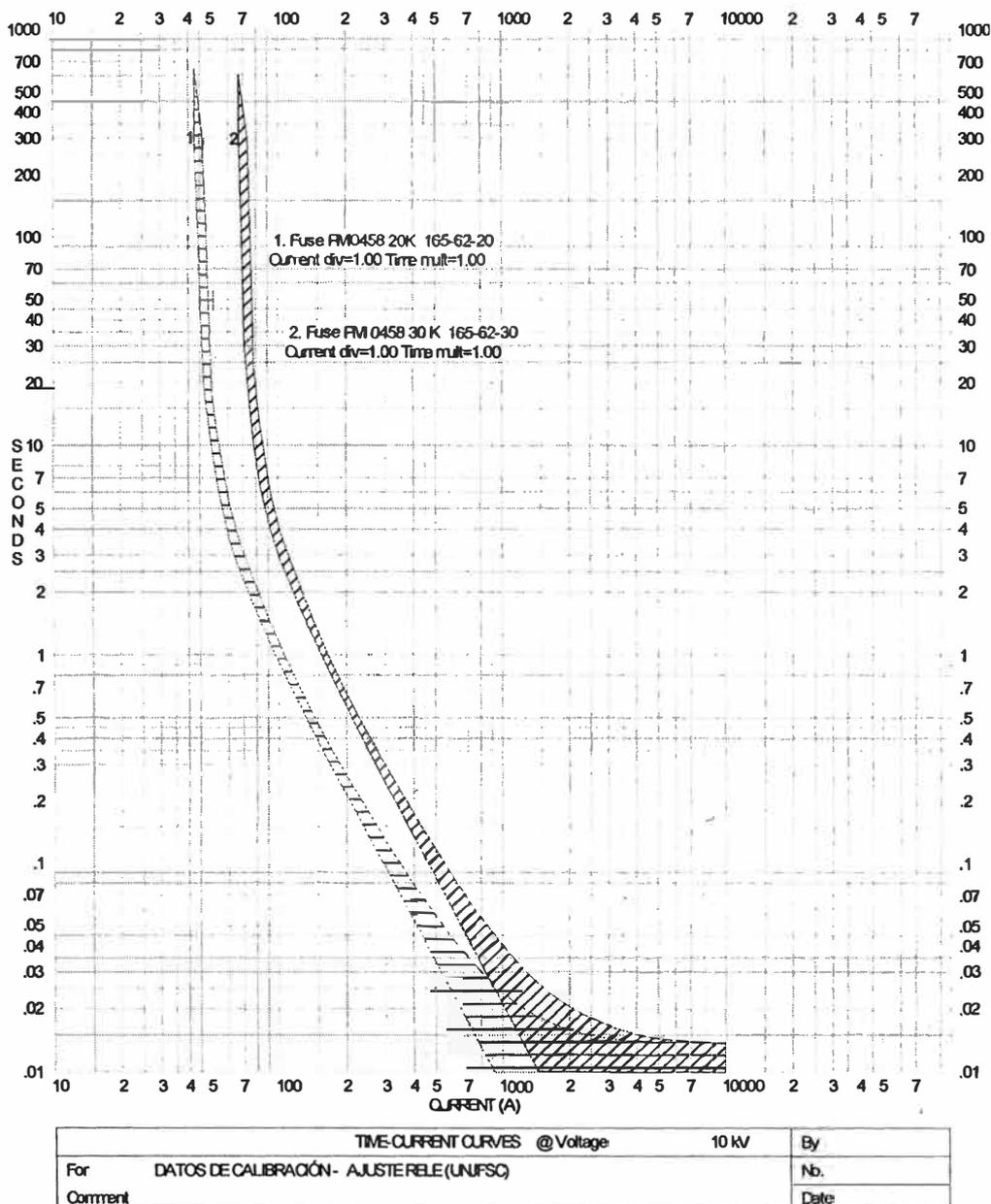


FIGURA 4.2

Coordinación del reconector RC2057, relé WIP-1 y fusible de expulsión 30K

4.2 Interrupción parcial del alimentador por actuación de fusible limitador de corriente mal dimensionado.

En el año 2005 se produjeron dos interrupciones imprevistas en el alimentador Chavaría 12 CH-12, enlace SE 921 – SE 1940, debido a la actuación de un fusible limitador de corriente instalado en un fusible seccionador de potencia ubicado en la sub-estación SE 921.

4.2.1 Antecedentes técnicos del alimentador

El circuito SE 921 a SE 1940 pertenecía al alimentador Chavarria CH-12; el Cliente Libre TECNIFIL tenía una carga de 2,8 MW, el cual se encontraba alimentado de la SE 1940.

4.2.2 Proyecto

Para darle confiabilidad al cliente TECNOFIL se proyectó un nuevo alimentador CH-03 para alimentar exclusivamente a la SE 1940, teniendo como respaldo el alimentador CH-12 a través del circuito auxiliar SE 921 a SE 1940. La puesta en servicio del nuevo alimentador CH-03 quedo en espera por el permiso de EMAPE para tender el cable en la Panamericana Norte, quedando el circuito de la siguiente manera:

4.2.3 Ejecución de la obra

El personal de Obras determinó la instalación de un Seccionador Potencia + Fusible Limitador Corriente de 125 A en el circuito de SE 921 a SE 1940, el cual se puso en servicio.

4.2.4 Primera interrupción imprevista año 2005

El xx de XXX a horas 11:00, se produjo la interrupción imprevista del enlace SE 921 a SE 1940 por fusión del fusible de la fase "T" por el paso de corriente mayor a 125 amperios.

4.2.5 Segunda interrupción imprevista año 2005

Seis días después de la primera interrupción imprevista, a horas 15:15, se produjo la interrupción imprevista del enlace SE 921 a SE 1940 por fusión del fusible de la fase "S",

T" por el paso de corriente mayor a 125 amperios.

4.2.6 Análisis de falla

En las dos interrupciones imprevistas la causa de la fusión del fusible de 125 A fue la corriente de carga ligeramente mayor a 125 amperios en SE 921 a SE 1940 el cual produjo altas temperaturas en el cuerpo del fusible de 145 °C.

En la topología de la red se indica que para utilizar el Seccionador Potencia la corriente de carga máxima debe ser pasar por el fusible es de 90 amperios. La corriente de carga debe ser inferior al 50% de la corriente nominal del fusible para no tener altas temperaturas en los fusibles.

CONCLUSIONES

1. En redes eléctricas aéreas que tienen un bajo índice de sobrecorrientes producidas por fallas temporales, podría ser suficiente el uso de fusibles; en cambio, en redes eléctricas que sufren constantemente sobrecorrientes debido a fallas temporales es recomendable el uso de reconectadores que pueden despejar las fallas temporales y luego reconectarse, evitando así clarificaciones innecesarias de los circuitos.
2. Los fusibles tipo expulsión son aplicados para montaje aéreo, en puntos con corrientes de cortocircuito relativamente bajas y son usados con seccionadores cutout tienen tiempos de actuación (clarificación del elemento fusible) del orden de tres ciclos.
3. Los fusibles limitadores de corriente se utilizan comúnmente para montaje interior, en puntos donde existe altos niveles de corriente de cortocircuito y demoran menos en su operación ya que antes de medio ciclo limita la corriente a un valor mínimo evitando así que la sobrecorriente dure excesivamente.
4. Los fusibles limitadores de corriente deben ser especificados de tal modo que no operen en el rango de corrientes superiores a su corriente nominal e inferiores a la corriente mínima de interrupción.
5. La coordinación de fusibles de expulsión con reconectadores es un tanto compleja, ya que la superposición de las curvas características tiempo-corriente correspondientes, requiere que se tome en consideración las variaciones de la temperatura del elemento fusible, la cual depende de varios factores: temperatura del medio ambiente, corriente precarga, tolerancias.
6. Dentro de los métodos utilizados para la coordinación de reconectadores con fusibles-cinta, el método del factor de enfriamiento resulta ser el más aconsejable por brindar mayor precisión al tomar en cuenta los efectos acumulativos del calor
7. en el fusible. El método conservativo es menos preciso pues no considera los efectos acumulativos del calor en el fusible y por ende, los resultados pueden llevarnos a seleccionar tiempos de apertura mayores.

8. El recloser, además de brindar protección contra sobrecorrientes, también cuenta con funciones de protección contra fallas a tierra. En el caso del reconectador con control electrónico, se cuentan con diferentes curvas características, y pueden ser calibrados para operar comúnmente con tres o cuatro recierres. En el caso que se desee utilizarlo como simple interruptor bastará con anular el recierre.

ANEXO A

- 1.1 Catálogo Cooper Power System, Fusibles Cinta K-SEC 030
- 1.2 Catálogo de ABB, Fusibles Limitadores de Corriente, CEF
- 1.3 Catálogo de GE, Recloser GE Power / VAC

Fusing Equipment

COOPER Power Systems

Electrical Apparatus

K-SEC 030

Kearney™ Fuse Links

GENERAL

Kearney™ fuse links can be applied to a variety of applications requiring overcurrent protection of distribution systems and equipment. When properly coordinated with other overcurrent protective devices, sectionalizing to isolate faulted feeder branches or equipment can be accomplished.

Kearney fuse links are available in a variety of types offering a wide selection of operating characteristics. The links incorporate low melting temperature elements, captive washers, high-resistance strain wires, color-coded high strength tubes, and Hi-Cor® corrosion resistant cables. The low temperature melting tin elements enhance overload capability by guaranteeing non-damageability of the fuse tubes. These elements are capable of absorbing vibration as well as thermal shock due to current surges and heating and cooling throughout the daily load cycle. They can be further distinguished by their years of superb service proven by lab TCC verification of aged fuse links. Consult your Cooper sales representative for more details.

The fuse links meet the latest version of ANSI C37.42 and NEMA SG2.1 standards for fuse links.

The following are the types of fuse links offered:

- Type K
- Type T
- Type 200 (N)
- Type KS
- Type QA
- Type X
- Secondary Indicating Fuses
- Under-oil Fuses

INTERNAL CONSTRUCTION

All Kearney fuse links are designed with low melting temperature element components of either tin or solder filled dual element construction. Each element material shipment from our supplier is accompanied with a certification of quality and composition. The diameter is verified in incoming



Figure 1. Fuse link packaging ensures proper selection and application.

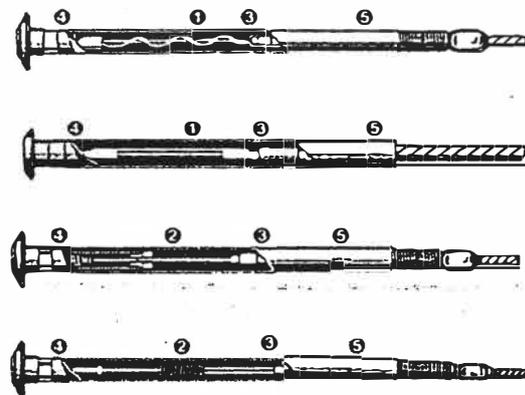


Figure 2. Internal construction features.

1. Tin element (in parallel with high strength strain wire to ensure mechanical strength of fuse).
2. Solder coil and tin element.
3. Body terminals made of pure copper.
4. Screw terminal.
5. High burst strength tube with fish paper liner.

inspection. Low melting temperature fuse links Types K, T, 200, X and KS have exceptional overload capability. They are designed to carry 150% of their continuous current rating continuously without damage to the fuse link itself or to the cutout fuseholder in which they are installed. (Care should be exercised so that the current rating of the cutout is not exceeded.)

SINGLE TIN ELEMENT

Links using pure tin elements have a precision gauged strain wire crimped in parallel to provide tension loading properties. The tin element is soldered into position providing the industry's best possible electrical connection between the element and its terminals. The low melting temperature of the tin

Kearney™ Fuse Links

allows all of the fuse link components to operate at a lower temperature while providing long term reliable time-current characteristics (TCC).

DUAL ELEMENT

There are two dual element designs. The dual element design for 1 and 2 A, K, X, T, 200 (N), and QA link assemblies is composed of a heater coil mounted around a solder pot that is soldered to a fuse element. Type KS and X links above 2 A have two wire elements in series which are axially inserted into a soldered coil.

Dual element links which use solder coils are mechanically crimped to the body and screw terminals. The elements are inserted into the coil and meticulously gauged to assure that active element lengths are maintained. The soldering process then permanently sets the active elements to the proper TCC curve and guarantees positive electrical continuity.

Dual elements allow the fuse to respond as low temperature single element fuses for long time overloads, yet have superior lightning surge withstand capability. Both types of links have up to 26 times more surge withstand capability than single element fuse links.

FINAL CONSTRUCTION

After passing in-process QA checks, high strength color coded tubes are swaged to both the single and dual element fuse links. A unique self locking washer and button is attached to the screw terminal. Every fuse link is axial pull tested to verify mechanical strength before packaging in the Kearney unique "lineman friendly" pull-tab fuse packs.

FUSE LINK SELECTION

Type K

Kearney Type K fuse links meet the ANSI/NEMA requirements for a "fast" fuse. The nominal speed ratio of Type K fuse links is 7. Type K fuse links are well suited where "fast" time-current characteristics are desired such as for capacitor protection.

Type 200 (N)

Kearney Type 200 fuse links are classified as "medium" speed fuses, with a nominal speed ratio of 10. Type 200 fuse links provide more surge withstand capability than Type K links, and provide good coordination possibilities with relays and reclosers.

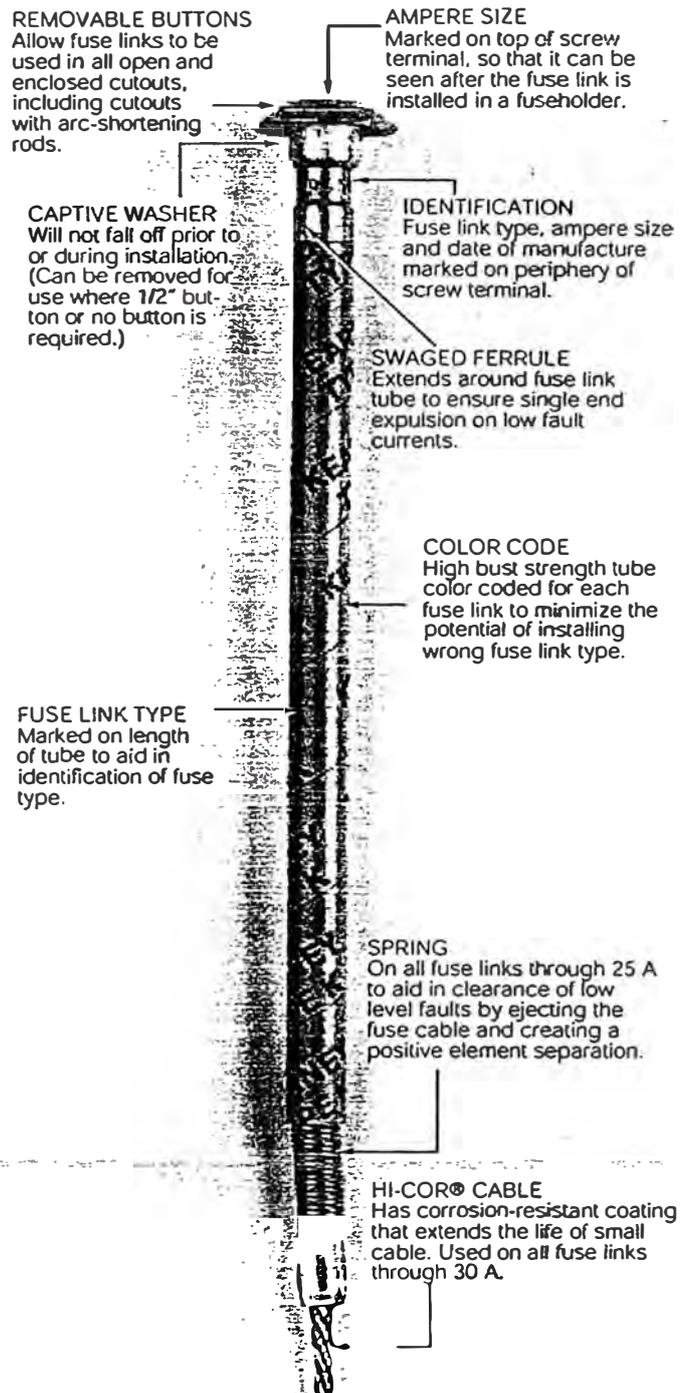


Figure 3.
Fuse link features.

Type QA

Kearney Type QA fuse links are classified as "medium" speed fuse links with a nominal speed ratio of 10. Type QA fuse links will carry 100% of the rated current continuously without damage, and provide good coordination possibilities with relays and reclosers.

Type T

Kearney Type T fuse links meet the ANSI/NEMA requirements for a "slow" fuse link. The nominal speed ratio of Type T fuse links is 12. Type T fuse links provide slower time-current characteristics than Types K, 200, and QA, and coordinate well with relays and reclosers.

Type KS

Kearney Type KS fuse links employ dual element construction which gives the Type KS high surge withstand capability, and a nominal speed ratio of 20. Classified as "very slow" fuse links, the Type KS has greater surge current withstand capability than the Type T, and is a good choice for line fusing and transformer protection.

Type X

Kearney Type X fuse links are specially designed for transformer protection. Type X fuse links employ dual element construction, which allows the time-current characteristic to be carefully shaped to closely match the ANSI loading curve for transformers while providing excellent surge withstand to avoid nuisance blowing from lightning and switching surges. The nominal speed ratio of the Type X is 32.

PACKAGING

All fuse links are packed in individual cartons for the maximum protection and ease of use. Cartons are perforated for easy opening. Fuse links can be removed with gloves on. Fuse Link Type and Ampere Ratings are clearly marked on the carton. The print will not smear or run.

Five Pack Sleeves: Fuse Link Type and Ampere Rating are clearly marked on box front and end of cartons. Individual cartons are tabbed so that remaining fuses stay securely in the carton as others are removed.

Overcartons: All fuse links 100 A and below are packed in protective overcartons 25 per box. Catalog Number, Fuse Link Type, Ampere Rating, and Date of Manufacture are marked on the label for ease of selection.

COMPARATIVE MELTING SPEED RATIO CHART

Electrical equipment such as transformers, switches, relays, and conductors are exposed to various levels of current during normal operation. Generally, electrical devices can withstand high currents for a short period of time and low current for longer periods of time without thermal or mechanical damage. The ability to withstand various levels of current for various periods of time is referred to as time-current characteristics.

Coordination of power systems involves the selection of fuse links to protect equipment with various time-current characteristics while coordinating with reclosers, circuit breakers, sectionalizers, relays, and

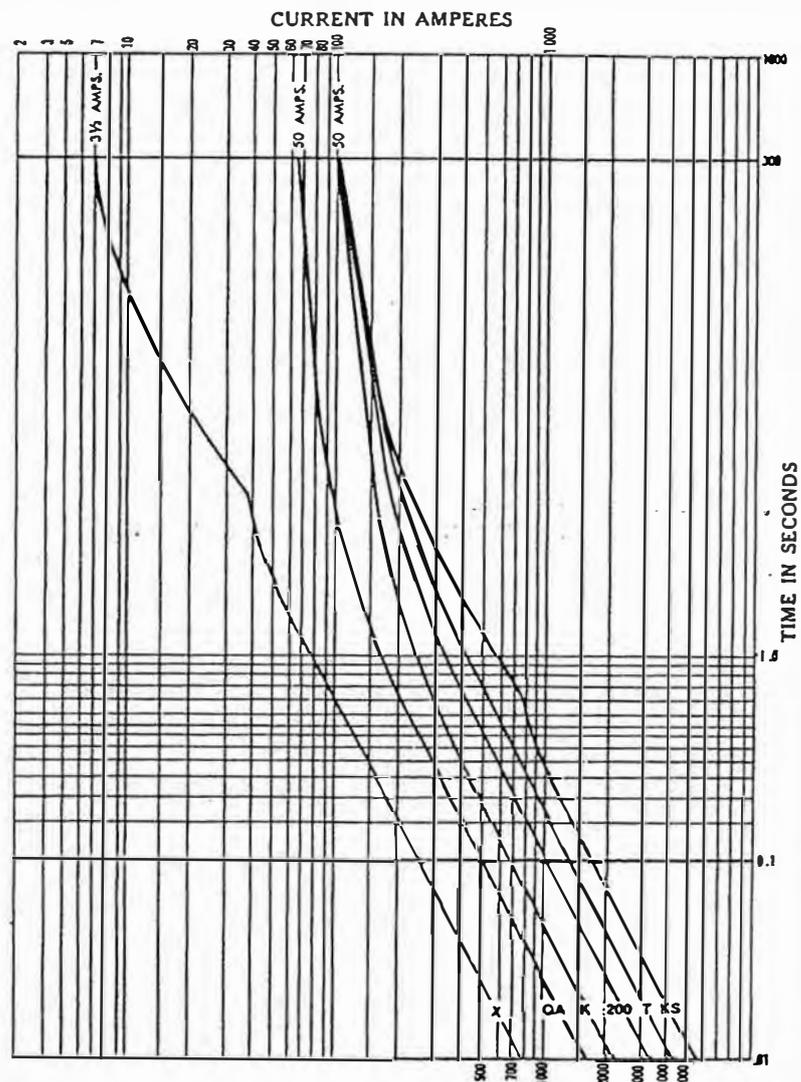


Figure 4. This chart compares the six speed ratios available with standard fuse link types which are fully adaptable to various coordination needs.

TABLE 1
Speed Ratio

Designation	Single Element			Dual Element	
	Fast	Medium	Slow	Very Slow	Extra Slow
Type	K	200, QA	T	KS	X
Speed Ratio	6-8	7-11	10-13	20	32

other fuses. Kearney offers six types of fuse links with a wide range of time-current characteristics (refer to Table 1).

The speed ratio of all fuse link sizes 100 A and below is the ratio between the current that melts the fuse in 0.1 seconds to the current that melts

the fuse in 300 seconds. The higher the ratio, the slower the speed of melting. For fuses rated above 100 A, the speed ratio is between the melting currents at 0.1 second and 600 seconds.

CATALOG INFORMATION

TABLE 2
Fit-All® Cable Fuse Links

Current Rating	Catalog Numbers					
	Type X	Type KS	Type 200	Type QA	Type K	Type T
1/3 1/2	41033 41050					
3/4 1	41075 41100	21001	11001	6413-2T	31001	51001
1 1/4 1 1/2	41125 41150					
2 2 1/2	41200 41250	21002	11002	6414-2T	31002	51002
2 3/4 3	41275	21003	11003	6415-2T	31003	51003
3 1/2 4	41350 41400					
5 5 1/2	41550	21005	11005	6416-2T		
6 7	41007	21007	11007	6417-2T	31006	51006
8 10	41010	21010	11010	6418-2T	31008 31010	51008 51010
12 15	41015	21015	11015	6419-2T	31012 31015	51012 51015
20 25		21020 21025	11020 11025	6420-2T 6421-2T	31020 31025	51020 51025
30 40		21030 21040	11030 11040	6422-2T 6423-2T	31030 31040	51030 51040
50 60		21050	11050	6424-2T 6425-2T	31050	51050
65 75		21065	11065	6426-2T	31065	51065
80 100		21080 21100	11080 11100	6427-2T	31080 31100	51080 51100
125 140		21125	11125	6428-2T	31140	51140
150 175		21150	11150 11175	6429-2T 6724-2T		
200		21200	11200	6725-2T	31200	51200

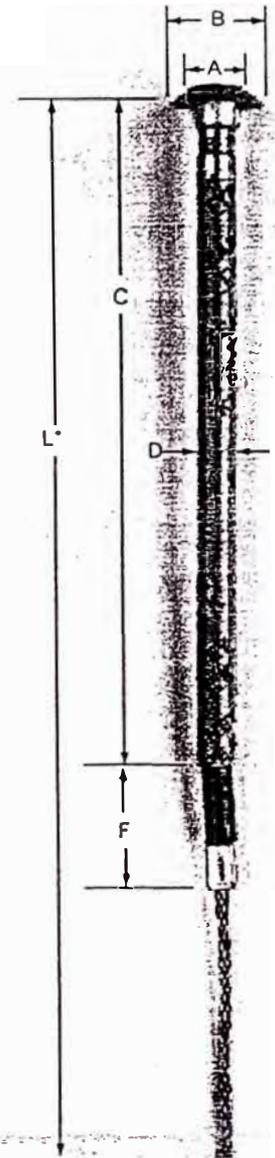


Figure 5.
Fit-All® cable fuse links.

* "L" dimension extends to the end of the fuse leader.

TABLE 3
Fit-All Fuse Link Dimensions

Current Rating (A)	Fuse Link Types	A*	B*	C*	D*	F*	L*
1/2 to 2	X, KS, T, K, 200, QA	1/2"	3/4"	5 3/8"	.269"	1 1/8"	23"
2 1/2 to 15	X	1/2"	3/4"	5 3/8"	.305"	1 1/8"	23"
3 to 20	K	1/2"	3/4"	5 3/8"	.305"	1 1/8"	23"
3 to 25	200, QA, KS, T	1/2"	3/4"	5 3/8"	.305"	1 1/8"	23"
25 to 50	K	1/2"	3/4"	5 3/8"	.305"	N/A	23"
30 to 50	T, KS, 200	1/2"	3/4"	5 3/8"	.305"	N/A	23"
30 to 60	QA	1/2"	3/4"	5 3/8"	.305"	N/A	23"
65 to 100	K, T, KS, 200		3/4"	5 3/8"	.396"	N/A	23"
75 to 150	QA		3/4"	5 3/8"	.396"	N/A	23"
125 to 200	KS, 200		1"	6 3/8"	.500"	N/A	23"
140 to 200	K, T		1"	6 3/8"	.500"	N/A	23"
175 to 200	QA		1"	6 3/8"	.500"	N/A	23"

*See Figure 5

TABLE 4
Trip-O-Link Fuse Link Ordering Information

Current Rating	Catalog Numbers					
	Type X	Type KS	Type 200	Type QA	Type K	Type T
1/3	42033					
1/2	42050					
3/4	42075					
1	42100	22001	12001	6813	32001	52001
1 1/4	42125					
1 1/2	42150					
2	42200	22002	12002	6814	32002	52002
2 1/2	42250					
2 3/4	42275					
3		22003	12003	6815	32003	52003
3 1/2	42350					
4	42400					
5		22005	12005	6816		
5 1/2	42550					
6						
7	42007	22007	12007	6817	32006	52006
8					32008	52008
10	42010	22010	12010	6818	32010	52010
12					32012	52012
15	42015	22015	12015	6819	32015	52015
20		22020	12020	6820	32020	52020
25		22025	12025	6821	32025	52025
30		22030	12030	7482	32030	52030
40		22040	12040	7483	32040	52040
50		22050	12050	7484	32050	52050

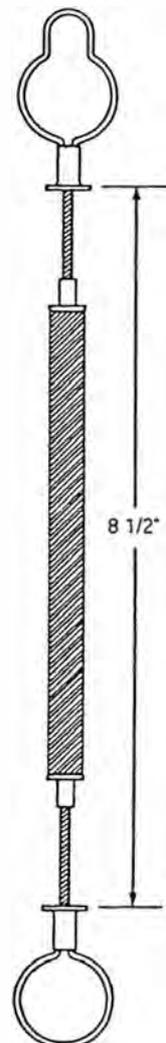


Figure 6.
Trip-o-Link fuse links.

WARNING: Electrical shock from live electrical lines or energized equipment can cause serious bodily injury or death if persons or conductive materials they are using contact them. The time-current response of these fuse links will not protect against human injury from electrical shock. Appropriate safeguards must be used when working on or near or bringing any conductive object on or near live electrical power lines or energized equipment.

INDICATING TYPE TUBULAR SECONDARY FUSES

Indicating type tubular secondary fuses protect transformers and capacitors from secondary overloads and faults. Each secondary fuse has a spring locked red plastic flag which springs out from the cartridge when the fuse link melts, indicating an outage. Fuses are available with insulated or non-insulated leads.

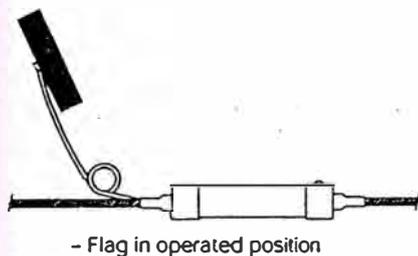


Figure 7. Tubular secondary fuses.

TABLE 5
Ordering Information for Indicating Type Tubular Secondary Fuses

Current Rating (A)	Catalog Numbers	
	Tinned Leads	Insulated Leads
10	8316	8316-5
15	8317	8317-5
20	8318	8318-5
25	8319	8319-5
30	8320	8320-5
40	8321	8321-5
50	8322	8322-5
60	8323	8323-5
75	8324	8324-5
100	8325	8325-5
125	8326	8326-5
150	8327	—
175	8328	—
200	8329	—
300	11405	—

TABLE 6
U-Adapter Assemblies*

For Types KS, X, K, T and 200 Fuses	
Current Rating (A)	Catalog Number
1 / 3-25	14036
30-50	14036-1
65-100	14036-2
125-150	14036-3
175-200	14036-4

* 10" length for all ampere ratings

UNIVERSAL ADAPTER ASSEMBLIES

This universal adapter assembly will adapt Fit-All fuse links for use in the



Figure 8. Universal Adapter assemblies.

TABLE 7
U-Adapter Assemblies*

For Type QA Fuse	
Current Rating (A)	Catalog Number
1 -25	14037
30-50	14037-1
60-100	14037-2
125-150	14037-3
175-200	14037-4

* 10" length for all ampere ratings

cutouts that have bolt-type cable connections to connect the upper as well as the lower cable. Note from the table that only five sizes are required to adapt to any type fuse.

DUAL ELEMENT WEAK LINKS

Kearney Dual Element Weak Link (DEWL) Under-Oil Fuses are available in the following ratings: 5 kV, 8.3 kV, 15 kV, 23 kV; 5 thru 70 A. They can be sized for complete fault response, including secondary cable dig-ins. Following are features of the Kearney Weak Link:

- Closely approximates ANSI safe loading curve for transformers when used to monitor transformer loads.
- Clears at 145°C, preventing thermal runaway conditions.
- Differentiates between load and fault outages permitting accurate field troubleshooting analysis.
- Has high surge withstand capability.
- Ideal for establishing composite fusing with back-up current limiting fuses.
- Has superior sensitivity when compared with a secondary breaker.
- Slower T/C characteristics permit use of lower ampere rated line fuses.
- Extremely economical.
- Common fusing system for all kVA ratings.

The Kearney line of Dual Element Fuses has been expanded to transformer Weak Links. This design has a slower speed ratio than the single

element types and more nearly approximates the slope of the ANSI safe loading curve for transformers. This characteristic lends itself well when sizing fuses to monitor transformer loads and performs a function similar to a secondary breaker.

The DEWL is designed to have a high surge current withstand capability. The user is not forced to increase the desired ampere rating as a result of high magnetizing inrush currents or lightning surges. As a matter of interest, some users choose a safe minimum fuse size which is capable of sensing secondary dig-ins for direct buried aluminum cables. The industry recognizes that this is not feasible with secondary breakers and conventional weak links.

The slower DEWL characteristic permits minimum upstream fusing where coordination of series devices might otherwise be difficult. As is indicated later, the slow speed of the DEWL TC curves combines best with the fast speed of the current-limiting fuses to form a desirable composite fusing scheme. This provides a minimum crossover area for positive fuse selection and enables the weak link to sense faults external to the transformer and low internal faults. Since most faults are external, only the inexpensive weak link need be replaced, preserving the integrity of the back up current-limiting fuse.

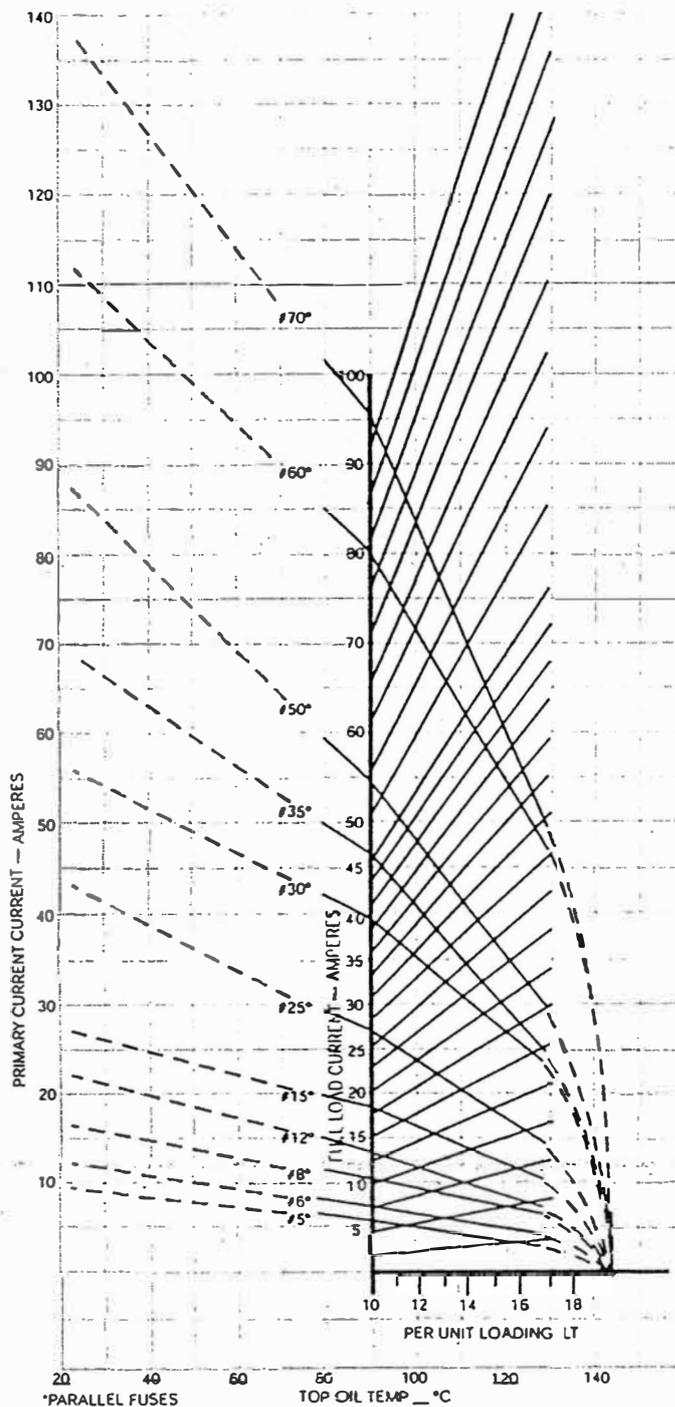


Figure 9.
Loading Guide for all DEWL Types, all voltages.

One of the two elements in the DEWL is a eutectic metal which will melt at 145°C. Therefore, if the transformer top oil temperature reaches this level the fuse will melt and operate. This is beneficial since this temperature would be indicative of a possible thermal runaway condition.

In an effort to simplify the determination of the DEWL fuse's overload capability, a family of curves was developed (Figure 9). They show the loading effects on top oil temperatures which in turn affects the fuse loading characteristic. The transformer loading curves assume a preload condition of 90°C top oil and the overload

conditions were extracted from curves used for secondary breaker calibrations. The values may be conservative since the fuse curves are plotted to minimum, the fuse may not physically be located exactly near the top oil hot spot and most transformers would generally have a lower preload condition. The curves were plotted for long term overload limit capability 15± hours from which a short term overload limit can easily be determined. The NELPA load cycle with a 3 hour peak is considered a short term overload condition.

The DEWL is available in the conventional style weak link fiberglass reinforced "Horn Fiber" lined tube or the bay-o-net style with "Teflon" tube. The fuses are available in sizes 5 through 70 A at maximum voltages of 5, 8.3, 15 and 23 kV. The standard DEWL interrupting capability is 3.5 kA @ 8.3 kV, 2 kA @ 15.5 kV, 1.0 kA @ 23 kV, and the bay-o-net type performs at the bay-o-net rating.

LOADING GUIDE

Purpose

To provide a simplified means for determining the upper limit of cyclic loading for all DEWL types in a varying oil ambient temperature environment.

Curves

Transformer overload curves (increasing slope) effecting top oil temperatures superimposed on the DEWL melting curves (decreasing slope) in a variable top oil temperature environment.

Application

- Locate transformer full load current on the 1 PU loading ordinate and follow along appropriate loading curve (interpolate) to the point of intercept on the appropriate DEWL curve - Read the long term (LT) 15± hour peak loading cycle limit by dropping vertically from this point.
- Short term (ST) 3 hour peak loading cycle limit may be calculated from the (LT) values as follows:
ST = 1 + 2 (LT-1)
- May safely add one tenth PU to LT obtained for padmounts 10/30 respectively 25/75, 37/112, 50/150 and dual ratio or tap changer type units due to their relatively large tank size.

Note: Any thermal runaway is prevented because the DEWL will melt and clear for 145°C oil temperatures.

Coordination Example

187 KVA - 7.2 KV / 240 / 120 VOLT 10 TRANSFORMER

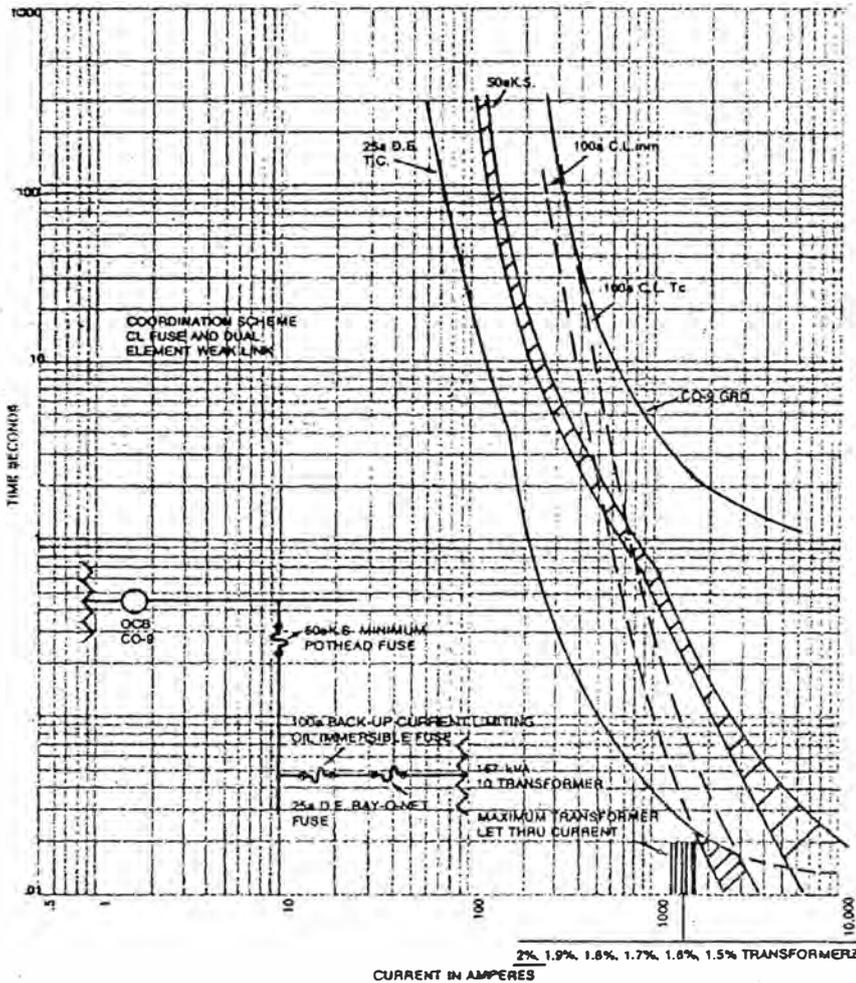


Figure 10. 100 A back-up current-limiting oil immersible fuse.

TWO FUSE SYSTEM COORDINATION

Expulsion fuses have advantages at low fault current levels but have great limitations at high fault current levels. Conversely, current-limiting fuses have limitations at low faults but enormous advantages at high fault current levels. The two fuse system combines the best of both for the first truly "full range" system fault protection. This benefit applies even if system faults

increase in the future. A pressure relief device is complimentary to the fuse protection system.

Figure 10 illustrates a typical distribution system. If only a current-limiting fuse were used, full coordination could not be obtained with upstream devices. Adding a DEWL fuse provides an effective composite protective curve. This indicates how the "Back-up CLF" can be used effectively with existing expulsion fusing schemes

without upsetting system coordination. The back-up fuse only operates for fault conditions at and beyond the intercept of the expulsion and CLF curves. Since most faults are of a low magnitude the inexpensive expulsion fuse will clear and leave the CLF intact for operation at high fault currents. It should be understood that the back-up fuse can be used with any expulsion fuse whether in a cutout or a weak link. The text will make reference to the Dual Element Weak Link (DEWL) since more applications will fall in this category.

Selective crossing of the composite two fuse curves provides additional benefits. Figure 10 shows a cross-over current value (TC/DEWL and MM/CLF) which is greater than the Let-Through Current of a bolted secondary fault. Access under these conditions is not necessary since a CLF operation would indicate a serious internal fault requiring a transformer replacement in any case.

This now permits locking the CLF in the transformer, the least cost approach. Since the fuse is not influenced by overvoltages due to possible secondary delta load, the CLF voltage rating for three phase application is a L-G value, an additional cost savings. (Note, however, that the expulsion fuse must have a L-L voltage rating because of the secondary influence).

Recommended fusing combinations are available in the tables in this section. The selections are for use with Kearney's DEWL and oil immersible back-up CLF. Recommendations are made for both padmount and pole mount units; the pole mount CLF sizes are slightly larger to protect against damage from lightning surges.

ORDERING INFORMATION AND DIMENSIONS

TABLE 8
Conventional Dual Element Weak Link (DEWL) Fuse

Catalog Number	Max. kV	Ampere Ratings **	Dimensions (inches)		
			X	Y	Z
124090-5	15.5	5	3-7/8	4-7/16	3-3/4
124090-6		6			
124090-8		8			
124090-12		12			
124090-15		15			
124090-25		25			
124090-30		30			
124090-35		35			
124090-50*		50			
124090-60*		60			
124090-70*	70				
124092-5	23	5	6-1/16	6	5-15/16
124092-6		6			
124092-8		8			
124092-12		12			
124092-15		15			
124092-25		25			
124092-30		30			
124092-35		35			
124092-50*		50			
124092-60*		60			
124092-70*	70				

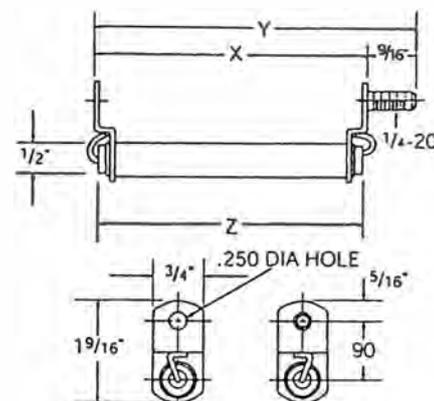


Figure 12.
Fuse dimensions.

TABLE 9
Conventional, Single Element Weak Link (SEWL) Fuse

Catalog Number	Max. kV	Ampere Ratings	Dimensions (inches)		
			X	Y	Z
8.3 and 15 kV 124084-13 124084-14 124084-15 124084-16	15.5	NA NA NA NA	3-7/8	4-7/16	3-3/4

Note: NA-Not Applicable (See 124030 TC Curves)

TABLE 10
Bay-O-Net Dual Element Weak Link Fuse

Catalog Number	Max. kV	Ampere Ratings **
124080-5	22	5
124080-6		6
124080-8		8
124080-12		12
124080-15		15
124080-25	15.5	25
124080-30		30
124080-35		35

* Consists of 2 fuses requiring parallel connection by user.

** Loading-See Loading Guide for all DEWL types, all voltages.

Figure 11.
Bay-O-Net fuse link.

Current Limiting Fuses, CEF Motor Circuits Fuses, CMF

Catalogue 1YMB631050-en



High voltage current limiting fuse links type CEF

Rated voltage:	Rated current:
3,6/7,2-12 kV	6-200 A
17,5-24 kV	6-125 A
27 kV	6-100 A
36 kV	6-40 A

Index

1. General	3
2. Overvoltages	3
3. Replacement of melted fuse links	3
4. Nameplate	3
5. Pre-arcing times	4
6. Current limitation	4
7. Indicator and striker pin	4
8. Choice of fuse links	5
9. Ordering table	6
10. Data and dimensions CEF	7
11. Accessories	9
12. Data and dimensions CEF-BS	10

High voltage current limiting fuse link for MOTOR circuit applications type CMF

Rated voltage:	Rated current:
3,6 kV	100-315 A
7,2 kV	63-315 A
12 kV	63-200 A

Index

1. General	11
2. Nameplate	11
3. Indicator and striker pin	11
4. Ordering table CMF	12
5. Ordering table UCM	12
6. Ordering table type CMF-BS	12
7. Pre-arcing times	13
8. Current limitation	13
9. Overvoltages	13
10. Choice of fuse links	14
11. Replacement of melted fuse links	15
12. The K-factor	15
13. Data and dimensions CMF	15

High voltage current limiting fuse links type CEF

Rated voltage: 3,6/7,2-36 kV

Rated current: 6-200 A



1. General

The HRC generation of fuse link type CEF are designed and tested according to IEC Publication 60282-1 (IEC 282-1). Dimensionally the fuse links are in accordance with DIN 43625.

ABB's high voltage fuse links have the following properties:

- Low minimum breaking current
- Low power losses
- Low arc-voltage
- High breaking capacity
- High current limitation.

Low power losses permit installation of these fuse links in compact switchgear.

CEF fuses are of back-up type. They have a zone between the minimum melting current and the minimum breaking current where the fuse links may fail to interrupt. For CEF fuse links this zone is very narrow. The minimum breaking current I_3 for any type is specified in the table on p. 8.

Other fuse types produced by ABB can be found in the following catalogues:

Fuses for Voltage Transformers WBP/BRT 1YMB6120001-en

Fuses for Railway DC Applications BWT/WBT 1YMB622001-en

M-effect

One of the structural means used for forming the time-current characteristic of medium voltage fuse links of CEF and CMF series, manufactured by ABB, is an overload spot located on fuse elements. To create this overload spot the M-effect is used. The overload spot is made by coating the silver fuse elements with a short segment of metal characterized by a low melting point. For the first time the M-effect was described by professor Metcalf in the 1930s. It consists in taking advantage of the effect of melting by some metals characterized by a low melting point (e.g. tin, lead) and being in a liquid state, metals characterized by a higher melting point (e.g. copper, silver). Silver fuse element coated with a segment of metal a low melting point metal (solder) fuses for current values that would not fuse it if the overload spot were not present. The reason for it is as follows: During heating of the fuse element with the overload spot, the metal, which the overload spot is made of, starts melting and diffuses into the metal of the fuse element and thus reduces the active cross-section of the main silver fuse element. As a result of this silver fuse element is melted at the moment when the other parts of the fuse element still keep a relatively low temperature. With this design the overload spot enables reduction of the minimum melting current and reduction of the minimum breaking current. Consequently, the range of correct operation of the fuse link is extended. One must also emphasize that in case of short-circuit currents, when fuse elements are heating up very fast and practically no heat is dissipated into the surrounding arc-quenching medium (adiabatic heating), the fuse elements melt at the constrictions before metal, which the overload spot is made of, reaches its melting temperature. Therefore, the overload spot does not affect the fuses characteristic for short-circuit currents.

Additionally, a very important advantage of using the overload spot is the fact that the arc is always initiated at the same point on the fuse element, near the geometrical center of the fuse link. This solution prevents the arc from initializing near one of the end-caps, which could result in damaging of the end-cap by the arc. To sum up, the overload spot enables increase in the useful operational range of the fuse link by extending the range of correct operation for small overload currents. Moreover, use of the overload spot prevents the arc from initializing near one of the fuse link ends and, thus, makes the fuse link safer to use.

2. Overvoltages

In order to be current limiting, the fuse link must generate an arc-voltage exceeding the instantaneous value of the operating voltage. The switching voltage generated by the CEF fuse link is below the maximum permissible value acc. to IEC 60282-1 (IEC 282-1). The CEF fuse link can safely be used if the system line voltage is 50-100% of the rated fuse link voltage.

3. Replacement of melted fuse links

CEF fuse links cannot be regenerated. According to IEC Publication 60282-1 (IEC 282-1), all 3 fuse links should be replaced, even if only 1 or 2 of the fuse links in the three phase system have operated. Exceptions are allowed when it can be verified that the fuse link(s) have not experienced any over-current.

4. Nameplate

The symbols on the nameplate have the following meaning:

I_N = Rated current

U_N = Rated voltage

I_3 = Minimum breaking current

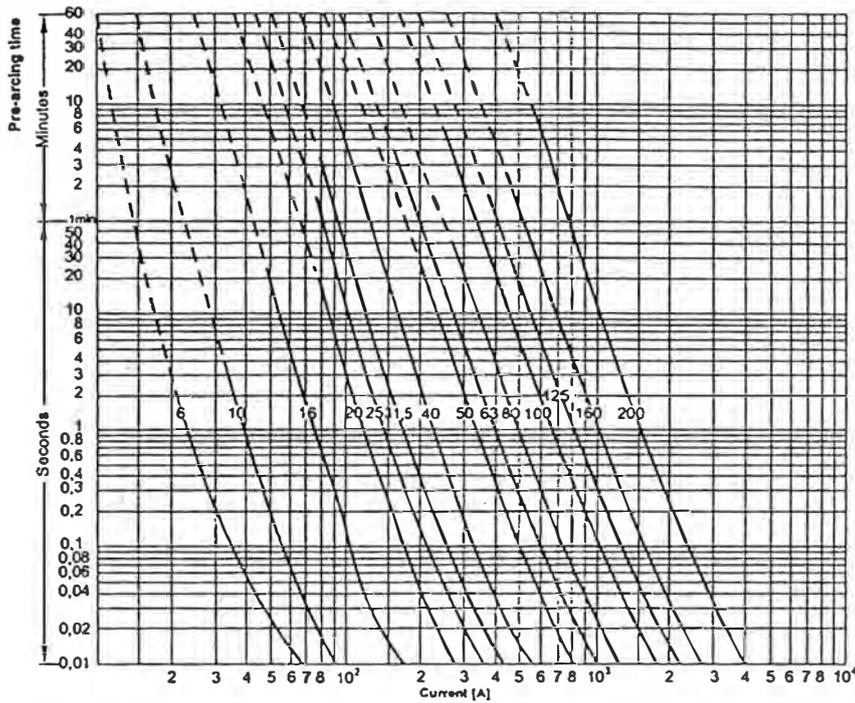
I_1 = Maximum short circuit current for which the fuse is tested

The arrowhead on the nameplate indicates in which end of the fuse link the indicator and striker pin appears. Additionally this end contact of the fuse link is specially marked.

CEF-U is outdoor type.

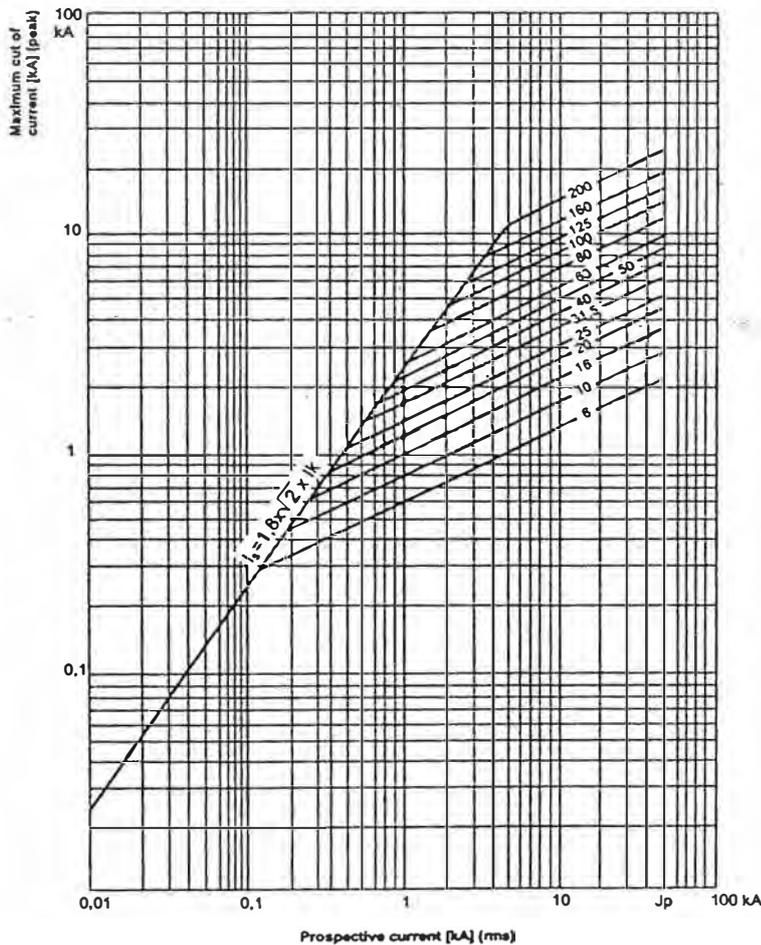
STRIKER - SCHLAGSTIFT	ABB	TYPE CEF
	$I_N = 63A$	$I_3 < 3 \times I_N$
	$U_N = 12kV$	$I_1 = 50kA$
INDOOR - INNENRAUM		

Fuse link type CEF



5. Pre-arcing times

The characteristics are equal for all rated voltages and are recorded from cold condition. Dashed sections of the curves indicate the zone of uncertain interruption.

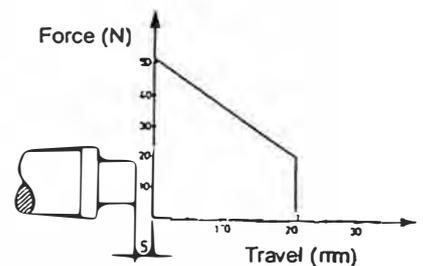


6. Current limitation

CEF fuse links are current limiting. A large short circuit current will therefore not reach its full value. The diagram shows the relation between the prospective short circuit current and the peak value of the cut-off current. Substantial current limitation results in a considerable reduction of the thermal and mechanical stress on the high voltage installation.

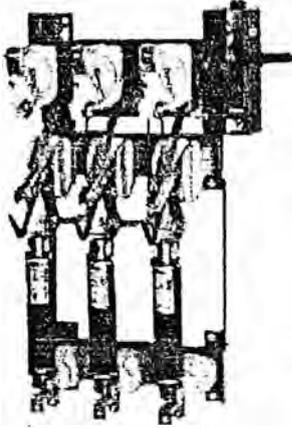
7. Indicator and striker pin

The CEF fuse link is equipped with a combined indicator- and striker system, which is activated immediately when the fuse element melts. The force diagram is in accordance with the requirements of IEC 60282-1 (IEC 282-1) and DIN 43625.



Fuse link type CEF

8. Choice of fuse links



Choice of rated voltage U_n :

The rated voltage of the fuse links must be equal to, or higher than the operating line voltage. By choosing the fuse link rated voltage considerably higher than the line voltage, the maximum arc voltage must not exceed the insulation level of the network.

Choice of rated current I_n :

To obtain the best possible current limitation, and thereby also protection, I_n must be chosen as low as possible compared to the rated current of the object to be protected. However, the following limitations must be taken into consideration:

- the largest load current must not exceed I_n ;
- cooling conditions (e.g. in compact switchgear);
- inrush current of off load transformers;
- starting currents of motor circuits. (See page 14 with CMF, special motor fuses).

For the choice of rated current of fuse links for protection of transformers, the relation between the power rating of the transformers, operating voltage and rated current of the fuse link is given in the table below. The same table indicates the highest rated current of the low voltage fuse link (on the low voltage side of the transformer) which gives discrimination with the high voltage fuse link. The low voltage fuse link is of the type gL (VDE) or gG/gM (IEC).

For choice of fuse links for transformer protection in switchgear of type Safe Plus or Safering CTC-F, see SF Insulated Compact Switchgear and Ring Main Unit catalogue.

Choice of fuse links for protection of transformers

Line voltage (kV)	TRANSFORMER RATING (kVA)																			
	25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3000	3500
	HIGH VOLTAGE FUSE-LINK I_n (A)																			
3	16	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100	160	200	200	250*	315*				
5	10	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100	160	200	200	250*	315*	315*	
6	10	16	16	25	25	25	40	40	63	63	63	80	100	100	160	200	200	250*	315	315*
10	6	10	16	16	16	25	25	25	31,5	40	63	63	63	80	100	100	160	200	250*	250*
12	6	10	16	16	16	16	25	25	25	31,5	40	63	63	63	80	100	160	160	200	250*
15	6	10	10	16	16	16	16	20	25	25	31,5	40	63	63	63	100	100	125	200	200
20	6	10	10	10	16	16	16	20	20	20	31,5	31,5	40	63	63	63	80	100	125	160
24	6	10	10	10	10	16	16	20	20	20	31,5	31,5	40	40	63	63	63	80	125	125
30	6	10	10	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	40	2x40	2x40		
36	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	40	40	2x40	2x40		
	LOW VOLTAGE FUSE-LINK I_n (A)																			
220 V		80	100	125	160	200	250	250	315	400	500	630								
380 V		50	63	100	100	125	125	200	250	250	350	400	400	500	630					
500 V		40	50	80	80	100	100	160	160	200	250	350	350	400	500	630				

*1) CMF -fuse link

Fuse link type CEF

9. Ordering table High-voltage – HRC fuse links

Type	Rated voltage Un [kV]	Rated current [A]	Length e [mm]	Diameter D [mm]	Catalogue No.	Weight [kg]
CEF	3.6/7.2	6	192	65	TYMBS31001M0001	1.5
CEF	3.6/7.2	10	192	65	TYMBS31001M0002	1.5
CEF	3.6/7.2	16	192	65	TYMBS31001M0003	1.5
CEF	3.6/7.2	25	192	65	TYMBS31001M0004	1.5
CEF	3.6/7.2	40	192	65	TYMBS31001M0005	1.5
CEF	3.6/7.2	50	192	65	TYMBS31001M0006	1.5
CEF	3.6/7.2	63	192	65	TYMBS31001M0007	1.5
CEF	3.6/7.2	80	192	87	TYMBS31001M0008	2.6
CEF	3.6/7.2	100	192	87	TYMBS31001M0009	2.6
CEF	3.6/7.2	6	292	65	TYMBS31034M0001	2.3
CEF	3.6/7.2	10	292	65	TYMBS31034M0002	2.3
CEF	3.6/7.2	16	292	65	TYMBS31034M0003	2.3
CEF	3.6/7.2	25	292	65	TYMBS31034M0004	2.3
CEF	3.6/7.2	40	292	65	TYMBS31034M0005	2.3
CEF	3.6/7.2	50	292	65	TYMBS31034M0006	2.3
CEF	3.6/7.2	63	292	65	TYMBS31034M0007	2.3
CEF	3.6/7.2	80	292	87	TYMBS31034M0008	3.6
CEF	3.6/7.2	100	292	87	TYMBS31034M0009	3.6
CEF	3.6/7.2	125	292	87	TYMBS31001M0010	3.6
CEF	3.6/7.2	160	292	87	TYMBS31001M0011	3.6
CEF	3.6/7.2	200	292	87	TYMBS31001M0012	3.6
CEF	3.6/7.2	125	367	87	TYMBS31034M0011	4.4
CEF	3.6/7.2	160	367	87	TYMBS31034M0012	4.4
CEF	3.6/7.2	200	367	87	TYMBS31034M1010	4.4
CEF	12	6	292	53	TYMBS31042M0001	1.9
CEF	12	6	292	65	TYMBS31002M0001	2.3
CEF	12	10	292	53	TYMBS31042M0002	1.9
CEF	12	10	292	65	TYMBS31002M0002	2.3
CEF	12	16	292	53	TYMBS31042M0003	1.9
CEF	12	16	292	65	TYMBS31002M0003	2.3
CEF	12	20	292	53	TYMBS31042M0004	1.9
CEF	12	25	292	65	TYMBS31002M0004	2.3
CEF	12	31.5	292	65	TYMBS31002M0014	2.3
CEF	12	40	292	65	TYMBS31002M0005	2.3
CEF	12	50	292	65	TYMBS31002M0006	2.3
CEF	12	63	292	65	TYMBS31002M0007	2.3
CEF	12	80	292	65	TYMBS31002M0021	2.3
CEF	12	80	292	87	TYMBS31002M0008	3.6
CEF	12	100	292	65	TYMBS31002M0022	3.6
CEF	12	100	292	87	TYMBS31002M0009	3.6
CEF	12	6	442	53	TYMBS31047M0001	2.5
CEF	12	6	442	65	TYMBS31035M0001	3.0
CEF	12	10	442	53	TYMBS31047M0002	2.5
CEF	12	10	442	65	TYMBS31035M0002	3.0
CEF	12	16	442	53	TYMBS31047M0003	2.5
CEF	12	16	442	65	TYMBS31035M0003	3.0
CEF	12	20	442	53	TYMBS31047M0004	2.5
CEF	12	25	442	65	TYMBS31035M0004	3.0
CEF	12	31.5	442	65	TYMBS31035M0014	3.0
CEF	12	40	442	65	TYMBS31035M0005	3.0
CEF	12	50	442	65	TYMBS31035M0006	3.0
CEF	12	63	442	65	TYMBS31035M0007	3.0
CEF	12	80	442	65	TYMBS31035M0021	3.0
CEF	12	80	442	87	TYMBS31035M0008	5.3
CEF	12	100	442	65	TYMBS31035M0022	3.0
CEF	12	100	442	87	TYMBS31035M0009	5.3
CEF	12	125	442	65	TYMBS31002M0023	3.0
CEF	12	125	442	87	TYMBS31002M0010	5.3
CEF	12	160	442	87	TYMBS31002M0011	5.3
CEF	12	200	442	87	TYMBS31002M0012	5.3
CEF	12	125	537	65	TYMBS31035M0023	4.0
CEF	17.5	6	292	65	TYMBS31003M0001	2.3
CEF	17.5	10	292	65	TYMBS31003M0002	2.3
CEF	17.5	16	292	65	TYMBS31003M0003	2.3
CEF	17.5	20	292	65	TYMBS31003M0013	2.3
CEF	17.5	25	292	65	TYMBS31003M0004	2.3
CEF	17.5	31.5	292	65	TYMBS31003M0014	2.3
CEF	17.5	40	292	65	TYMBS31003M0021	2.3
CEF	17.5	40	292	87	TYMBS31003M0005	3.6
CEF	17.5	50	292	65	TYMBS31003M0022	2.3
CEF	17.5	50	292	87	TYMBS31003M0006	3.6
CEF	17.5	63	292	87	TYMBS31003M0007	3.6
CEF	17.5	80	292	87	TYMBS31003M0008	3.6
CEF	17.5	100	292	87	TYMBS31003M0009	3.6
CEF	17.5	125	292	87	TYMBS31003M0010	3.6
CEF	17.5	10	367	65	TYMBS31036M0001	2.7
CEF	17.5	16	367	65	TYMBS31036M0002	2.7
CEF	17.5	20	367	65	TYMBS31036M0003	2.7
CEF	17.5	25	367	65	TYMBS31036M0004	2.7
CEF	17.5	31.5	367	65	TYMBS31036M0014	2.7
CEF	17.5	40	367	65	TYMBS31036M0021	2.7
CEF	17.5	40	367	87	TYMBS31036M0005	4.4
CEF	17.5	50	367	65	TYMBS31036M0022	4.4
CEF	17.5	50	367	87	TYMBS31036M0006	4.4
CEF	17.5	63	367	87	TYMBS31036M0007	4.4
CEF	17.5	100	367	87	TYMBS31038M0001	4.4
CEF	17.5	6	442	65	TYMBS31037M0001	3.0
CEF	17.5	10	442	65	TYMBS31037M0002	3.0
CEF	17.5	16	442	65	TYMBS31037M0003	3.0
CEF	17.5	20	442	65	TYMBS31037M0013	3.0
CEF	17.5	25	442	65	TYMBS31037M0004	3.0
CEF	17.5	31.5	442	65	TYMBS31037M0014	3.0
CEF	17.5	40	442	65	TYMBS31037M0021	3.0
CEF	17.5	40	442	87	TYMBS31037M0005	5.3
CEF	17.5	50	442	65	TYMBS31037M0022	3.0
CEF	17.5	50	442	87	TYMBS31037M0006	5.3
CEF	17.5	63	442	87	TYMBS31037M0007	5.3
CEF	17.5	80	442	87	TYMBS31003M0008	5.3
CEF	17.5	100	442	87	TYMBS31003M0009	5.3
CEF	17.5	125	442	87	TYMBS31003M0010	5.3
CEF	24	6	442	53	TYMBS31044M0001	2.5
CEF	24	6	442	65	TYMBS31004M0001	3.0
CEF	24	10	442	53	TYMBS31044M0002	2.5
CEF	24	10	442	65	TYMBS31004M0002	3.0
CEF	24	16	442	53	TYMBS31044M0003	2.5
CEF	24	16	442	65	TYMBS31004M0003	3.0
CEF	24	20	442	53	TYMBS31044M0004	2.5
CEF	24	20	442	65	TYMBS31004M0011	3.0
CEF	24	25	442	65	TYMBS31004M0004	3.0
CEF	24	31.5	442	65	TYMBS31004M0012	3.0
CEF	24	40	442	65	TYMBS31004M0005	3.0
CEF	24	50	442	65	TYMBS31004M0021	3.0
CEF	24	50	442	87	TYMBS31004M0006	5.3
CEF	24	63	442	65	TYMBS31004M0022	3.0
CEF	24	63	442	87	TYMBS31004M0007	5.3
CEF	24	80	442	87	TYMBS31022M0001	5.3
CEF	24	100	442	87	TYMBS31022M0002	5.3
CEF	24	125	442	87	TYMBS31022M0003	5.3
CEF	24	80	537	65	TYMBS31004M0023	4.0
CEF	24	80	537	87	TYMBS31004M0008	6.2
CEF	24	100	537	87	TYMBS31004M0009	6.2
CEF	24	125	537	87	TYMBS31004M0010	6.2
CEF	27	6	442	65	TYMBS31005M0001	3.0
CEF	27	10	442	65	TYMBS31005M0002	3.0
CEF	27	16	442	65	TYMBS31005M0003	3.0
CEF	27	25	442	87	TYMBS31005M0004	5.3
CEF	27	40	442	87	TYMBS31005M0005	5.3
CEF	27	50	442	87	TYMBS31005M0006	5.3
CEF	27	63	442	87	TYMBS31005M0007	5.3
CEF	27	80	537	87	TYMBS31005M0008	6.2
CEF	27	100	537	87	TYMBS31005M0009	6.2
CEF	36	6	537	65	TYMBS31006M0001	4.0
CEF	36	10	537	65	TYMBS31006M0002	4.0
CEF	36	16	537	65	TYMBS31006M0003	4.0
CEF	36	25	537	87	TYMBS31006M0004	6.2
CEF	36	40	537	87	TYMBS31006M0005	6.2

Other ratings and dimensions on request. When ordering outdoor version pls.indicate CEF -U.

Fuse link type CEF

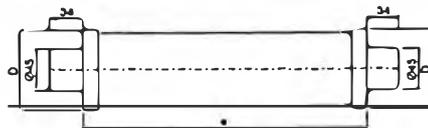
10. Data and dimensions CEF

Type	Rated voltage U_n [kV]	Rated current I_n [kV]	Length e [mm]	Diameter D [mm]	Short Circuit current I_1 [kA]	Minimum breaking current I_3 [A]	Rated Power P_n [W]	Resistance R_o [mΩ]
CEF	3,6/7/2	6	192	65	50	35	26	489,0
CEF	3,6/7/2	10	192	65	50	55	16	120,0
CEF	3,6/7/2	16	192	65	50	55	26	60,2
CEF	3,6/7/2	25	192	65	50	72	24	30,1
CEF	3,6/7/2	40	192	65	50	100	30	15,3
CEF	3,6/7/2	50	192	65	50	190	35	10,4
CEF	3,6/7/2	63	192	65	50	190	40	7,8
CEF	3,6/7/2	80	192	87	50	250	52	6,2
CEF	3,6/7/2	100	192	87	50	275	57	4,4
CEF	3,6/7/2	6	292	65	50	35	26	489,0
CEF	3,6/7/2	10	292	65	50	55	16	120,0
CEF	3,6/7/2	16	292	65	50	55	26	60,2
CEF	3,6/7/2	25	292	65	50	72	24	30,1
CEF	3,6/7/2	40	292	65	50	100	30	15,3
CEF	3,6/7/2	50	292	65	50	190	35	10,4
CEF	3,6/7/2	63	292	65	50	190	40	7,8
CEF	3,6/7/2	80	292	87	50	250	52	6,2
CEF	3,6/7/2	100	292	87	50	275	57	4,4
CEF	3,6/7/2	125	292	87	50	375	76	3,5
CEF	3,6/7/2	160	292	87	50	480	101	2,6
CEF	3,6/7/2	200	292	87	50	650	107	1,7
CEF	3,6/7/2	125	367	87	50	375	76	3,5
CEF	3,6/7/2	160	367	87	50	480	101	2,6
CEF	3,6/7/2	200	367	87	50	650	107	1,7
CEF	12	6	292	53	50	36	46	735,0
CEF	12	6	292	65	50	35	41	735,0
CEF	12	10	292	53	50	65	25	180,0
CEF	12	10	292	65	50	55	33	180,0
CEF	12	16	292	53	50	65	34	105,2
CEF	12	16	292	65	50	55	32	105,2
CEF	12	20	292	53	50	83	38	70,1
CEF	12	25	292	65	50	77	47	52,6
CEF	12	31,5	292	65	50	100	41	30,7
CEF	12	40	292	65	50	105	52	23,0
CEF	12	50	292	65	50	190	70	17,9
CEF	12	63	292	65	50	190	78	13,4
CEF	12	80	292	65	50	250	82	9,2
CEF	12	80	292	87	50	250	82	9,2
CEF	12	100	292	65	50	375	101	6,4
CEF	12	100	292	87	50	275	84	6,6
CEF	12	6	442	53	50	36	46	735,0
CEF	12	6	442	65	50	35	41	735,0
CEF	12	10	442	53	50	65	25	180,0
CEF	12	10	442	65	50	55	33	180,0
CEF	12	16	442	53	50	65	34	105,2
CEF	12	16	442	65	50	55	32	105,2
CEF	12	20	442	53	50	83	38	70,1
CEF	12	25	442	65	50	77	47	52,6
CEF	12	31,5	442	65	50	100	41	30,7
CEF	12	40	442	65	50	105	52	23,0
CEF	12	50	442	65	50	190	70	17,9
CEF	12	63	442	65	50	190	78	13,4
CEF	12	80	442	65	50	250	82	9,2
CEF	12	80	442	87	50	250	82	9,2
CEF	12	100	442	65	50	375	103	6,4
CEF	12	100	442	87	50	275	84	6,6
CEF	12	125	442	65	50	375	125	5,3
CEF	12	125	442	87	50	375	125	5,3
CEF	12	160	442	87	50	480	170	3,9
CEF	12	200	442	87	50	650	174	2,7
CEF	12	125	537	65	50	375	125	5,3
CEF	17,5	6	292	65	20	35	54	880,0
CEF	17,5	10	292	65	20	55	41	270,7
CEF	17,5	16	292	65	20	55	67	135,4
CEF	17,5	20	292	65	25	83	52,6	90,3
CEF	17,5	25	292	65	25	72	64	67,7
CEF	17,5	31,5	292	65	25	100	56,7	46,0
CEF	17,5	40	292	65	25	210	80	34,5
CEF	17,5	40	292	87	25	100	80	34,5
CEF	17,5	50	292	65	25	210	90	23,1
CEF	17,5	50	292	87	25	210	90	23,1
CEF	17,5	63	292	87	25	210	100	17,3
CEF	17,5	6	367	65	20	35	54	880,0
CEF	17,5	10	367	65	20	55	41	270,7
CEF	17,5	16	367	65	20	55	67	135,4

Fuse link type CEF

Data and dimensions CEF

Type	Rated voltage U_n [kV]	Rated current I_n [kV]	Length e [mm]	Diameter D [mm]	Short Circuit current I_1 [kA]	Minimum breaking current I_2 [A]	Rated Power P_n [W]	Resistance R_0 [mΩ]
CEF	17,5	20	367	65	25	83	52,6	90,3
CEF	17,5	25	367	65	25	72	64	67,7
CEF	17,5	31,5	367	65	25	100	56,7	46,0
CEF	17,5	40	367	65	25	210	80	34,7
CEF	17,5	40	367	87	25	100	80	34,5
CEF	17,5	50	367	65	25	210	90	23,1
CEF	17,5	50	367	87	25	210	90	23,1
CEF	17,5	63	367	87	25	210	100	17,3
CEF	17,5	100	367	87	25	375	134	9,5
CEF	17,5	6	442	65	20	35	54	880,0
CEF	17,5	10	442	65	20	55	41	271,0
CEF	17,5	16	442	65	20	55	67	135,0
CEF	17,5	20	442	65	25	83	52,6	101,6
CEF	17,5	25	442	65	25	72	64	67,7
CEF	17,5	31,5	442	65	25	100	56,7	43,1
CEF	17,5	40	442	65	25	210	80	34,5
CEF	17,5	40	442	87	25	100	80	34,5
CEF	17,5	50	442	65	25	210	90	23,1
CEF	17,5	50	442	87	25	210	90	23,1
CEF	17,5	63	442	87	25	210	100	17,3
CEF	17,5	80	442	87	25	250	124	13,8
CEF	17,5	100	442	87	25	275	136	9,9
CEF	17,5	125	442	87	25	375	175	7,9
CEF	24	6	442	53	63	25	82	1370,0
CEF	24	6	442	65	63	35	91	1370,0
CEF	24	10	442	53	63	65	48	360,9
CEF	24	10	442	65	63	55	62	360,9
CEF	24	16	442	53	63	65	63	180,5
CEF	24	16	442	65	63	55	72	180,5
CEF	24	20	442	53	63	83	46	120,3
CEF	24	20	442	65	63	82	61	120,3
CEF	24	25	442	65	63	72	79	90,2
CEF	24	31,5	442	65	63	82	98	72,2
CEF	24	40	442	65	63	110	106	46,0
CEF	24	50	442	65	63	210	130	30,7
CEF	24	50	442	87	63	210	130	30,7
CEF	24	63	442	65	63	250	147	23,0
CEF	24	63	442	87	63	210	147	23,0
CEF	24	80	442	87	63	250	165	18,4
CEF	24	100	442	87	63	300	186	13,2
CEF	24	125	442	87	63	375	234	10,5
CEF	24	80	537	65	25	250	165	18,4
CEF	24	80	537	87	63	250	165	18,4
CEF	24	100	537	87	63	300	186	13,2
CEF	24	125	537	87	63	375	234	10,5
CEF	27	6	442	65	20	35	91	1340,0
CEF	27	10	442	65	20	55	80	451,2
CEF	27	16	442	65	20	55	90	225,6
CEF	27	25	442	87	20	72	100	112,8
CEF	27	40	442	87	20	110	130	55,6
CEF	27	50	442	87	20	210	130	30,7
CEF	27	63	442	87	20	210	147	23,0
CEF	27	80	537	87	20	250	210	18,4
CEF	27	100	537	87	20	300	235	15,8
CEF	36	6	537	65	20	35	137	2055,0
CEF	36	10	537	65	20	55	93	571,5
CEF	36	16	537	65	20	55	109	285,8
CEF	36	25	537	87	20	72	144	142,9
CEF	36	40	537	87	20	100	176	69,1



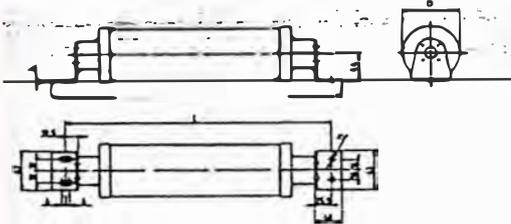
I_1 = maximum short-circuit current tested
 I_2 = minimum breaking current
 P_n = power loss at rated current
 R_0 = resistance at room temp.

Fuse link type CEF

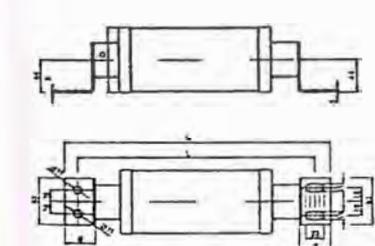
12. Data and dimension CEF-BS

Type	Rated voltage [kV]	Rated current [A]	L/D [mm]	A [mm]	Catalogue No.
CEF-BS	3,6/7,2	6	307/65	342	TYMBS31007M0001
CEF-BS	3,6/7,2	10	307/65	342	TYMBS31007M0002
CEF-BS	3,6/7,2	16	307/65	342	TYMBS31007M0003
CEF-BS	3,6/7,2	25	307/65	342	TYMBS31007M0004
CEF-BS	3,6/7,2	40	307/65	342	TYMBS31007M0005
CEF-BS	3,6/7,2	50	307/65	342	TYMBS31007M0006
CEF-BS	3,6/7,2	63	307/65	342	TYMBS31007M0007
CEF-BS	3,6/7,2	80	307/87	342	TYMBS31007M0008
CEF-BS	3,6/7,2	100	307/87	342	TYMBS31007M0009
CEF-BS	3,6/7,2	125	407/87	442	TYMBS31007M0010
CEF-BS	3,6/7,2	160	407/87	442	TYMBS31007M0011
CEF-BS	3,6/7,2	200	407/87	442	TYMBS31007M0012
CEF-BS-B	12	6	407/65	442	TYMBS31008M0001
CEF-BS-B	12	10	407/65	442	TYMBS31008M0002
CEF-BS-B	12	16	407/65	442	TYMBS31008M0003
CEF-BS-B	12	25	407/65	442	TYMBS31008M0004
CEF-BS-B	12	40	407/65	442	TYMBS31008M0005
CEF-BS-B	12	50	407/65	442	TYMBS31008M0006
CEF-BS-B	12	63	407/65	442	TYMBS31008M0007
CEF-BS-B	12	80	407/87	442	TYMBS31008M0008
CEF-BS-B	12	100	407/87	442	TYMBS31008M0009
CEF-BS-B	12	125	407/87	442	TYMBS31008M0010
CEF-BS-B	12	160	557/87	592	TYMBS31008M0011
CEF-BS-B	12	200	557/87	592	TYMBS31008M0012
CEF-BS	17,5	6	407/65	442	TYMBS31009M0001
CEF-BS	17,5	10	407/65	442	TYMBS31009M0002
CEF-BS	17,5	16	407/65	442	TYMBS31009M0003
CEF-BS	17,5	25	407/65	442	TYMBS31009M0004
CEF-BS	17,5	40	407/87	442	TYMBS31009M0005
CEF-BS	17,5	50	407/87	442	TYMBS31009M0006
CEF-BS	17,5	63	407/87	442	TYMBS31009M0007
CEF-BS	17,5	80	557/87	592	TYMBS31009M0008
CEF-BS	17,5	100	557/87	592	TYMBS31009M0009
CEF-BS	17,5	125	557/87	592	TYMBS31009M0010
CEF-BS	24	6	557/65	592	TYMBS31010M0001
CEF-BS	24	10	557/65	592	TYMBS31010M0002
CEF-BS	24	16	557/65	592	TYMBS31010M0003
CEF-BS	24	25	557/65	592	TYMBS31010M0004
CEF-BS	24	40	557/65	592	TYMBS31010M0005
CEF-BS	24	50	557/87	592	TYMBS31010M0006
CEF-BS	24	63	557/87	592	TYMBS31010M0007
CEF-BS	24	80	652/87	592	TYMBS31010M0008
CEF-BS	24	100	652/87	592	TYMBS31010M0009
CEF-BS	24	125	652/87	592	TYMBS31010M0010

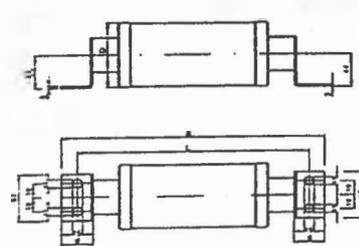
Dimension CEF-BS



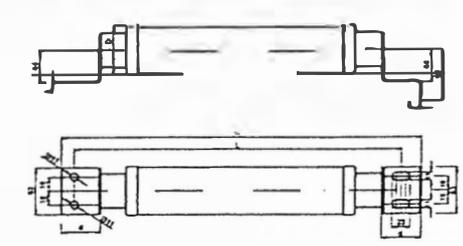
Dimension CEF-BS-B



Dimension CEF-BS-C



Dimension CEF-BS-D



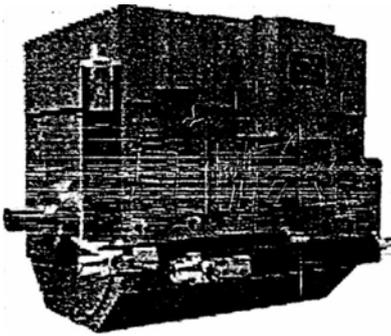
Data and dimension CEF-BS acc. to EN 60282-1:1996

Type	Rated voltage [kV]	Rated current [A]	L/D [mm]	A/d [mm]	Catalogue No.
CEF-BS-B	3,6/7,2	6	305/65	340/40	TYMBS31007M0021
CEF-BS-B	3,6/7,2	10	305/65	340/40	TYMBS31007M0022
CEF-BS-B	3,6/7,2	16	305/65	340/40	TYMBS31007M0023
CEF-BS-B	3,6/7,2	25	305/65	340/40	TYMBS31007M0024
CEF-BS-B	3,6/7,2	40	305/65	340/40	TYMBS31007M0025
CEF-BS-B	3,6/7,2	50	305/65	340/40	TYMBS31007M0026
CEF-BS-B	3,6/7,2	63	305/65	340/40	TYMBS31007M0027
CEF-BS-B	3,6/7,2	80	305/87	340/40	TYMBS31007M0028
CEF-BS-B	3,6/7,2	100	305/87	340/40	TYMBS31007M0029
CEF-BS-D	3,6/7,2	125	419/87	461/50,5	TYMBS31007M0030
CEF-BS-D	3,6/7,2	160	419/87	461/50,5	TYMBS31007M0031
CEF-BS-D	3,6/7,2	200	419/87	461/50,5	TYMBS31007M0032
CEF-BS-B	12	6	419/65	461/50,5	TYMBS31008M0021
CEF-BS-B	12	10	419/65	461/50,5	TYMBS31008M0022
CEF-BS-B	12	16	419/65	461/50,5	TYMBS31008M0023
CEF-BS-B	12	25	419/65	461/50,5	TYMBS31008M0024
CEF-BS-B	12	40	419/65	461/50,5	TYMBS31008M0025
CEF-BS-B	12	50	419/65	461/50,5	TYMBS31008M0026
CEF-BS-B	12	63	419/65	461/50,5	TYMBS31008M0027
CEF-BS-B	12	80	419/87	461/50,5	TYMBS31008M0028
CEF-BS-B	12	100	419/87	461/50,5	TYMBS31008M0029
CEF-BS-B	12	125	555/87	590/40	TYMBS31009M0031
CEF-BS-B	12	160	555/87	590/40	TYMBS31009M0032
CEF-BS-B	12	200	555/87	590/40	TYMBS31009M0033
CEF-BS-D	17,5	6	419/65	461/50,5	TYMBS31009M0021
CEF-BS-D	17,5	10	419/65	461/50,5	TYMBS31009M0022
CEF-BS-D	17,5	16	419/65	461/50,5	TYMBS31009M0023
CEF-BS-D	17,5	25	419/65	461/50,5	TYMBS31009M0024
CEF-BS-D	17,5	40	419/87	461/50,5	TYMBS31009M0025
CEF-BS-D	17,5	50	419/87	461/50,5	TYMBS31009M0026
CEF-BS-D	17,5	63	419/87	461/50,5	TYMBS31009M0027
CEF-BS-B	17,5	80	555/87	590/40	TYMBS31009M0028
CEF-BS-B	17,5	100	555/87	590/40	TYMBS31009M0029
CEF-BS-B	17,5	125	555/87	590/40	TYMBS31009M0030
CEF-BS-B	24	6	555/65	590/40	TYMBS31010M0021
CEF-BS-B	24	10	555/65	590/40	TYMBS31010M0022
CEF-BS-B	24	16	555/65	590/40	TYMBS31010M0023
CEF-BS-B	24	25	555/65	590/40	TYMBS31010M0024
CEF-BS-B	24	40	555/85	590/40	TYMBS31010M0025
CEF-BS-B	24	50	555/87	590/40	TYMBS31010M0026
CEF-BS-B	24	63	555/87	590/40	TYMBS31010M0027
CEF-BS-B	24	80	652/87	590/40	TYMBS31010M0028
CEF-BS-B	24	100	652/87	590/40	TYMBS31010M0029
CEF-BS-B	24	125	652/87	590/40	TYMBS31010M0030
CEF-BS-C	3,6/7,2	6	305/65	340/40	TYMBS31007M0041
CEF-BS-C	3,6/7,2	10	305/65	340/40	TYMBS31007M0042
CEF-BS-C	3,6/7,2	16	305/65	340/40	TYMBS31007M0043
CEF-BS-C	3,6/7,2	25	305/65	340/40	TYMBS31007M0044
CEF-BS-C	3,6/7,2	40	305/65	340/40	TYMBS31007M0045
CEF-BS-C	3,6/7,2	50	305/65	340/40	TYMBS31007M0046
CEF-BS-C	3,6/7,2	63	305/65	340/40	TYMBS31007M0047
CEF-BS-C	3,6/7,2	80	305/87	340/40	TYMBS31007M0048
CEF-BS-C	3,6/7,2	100	305/87	340/40	TYMBS31007M0049
CEF-BS-C	3,6/7,2	6	320/65	361/50,5	TYMBS31007M0081
CEF-BS-C	3,6/7,2	10	320/65	361/50,5	TYMBS31007M0082
CEF-BS-C	3,6/7,2	16	320/65	361/50,5	TYMBS31007M0083
CEF-BS-C	3,6/7,2	25	320/65	361/50,5	TYMBS31007M0084
CEF-BS-C	3,6/7,2	40	320/65	361/50,5	TYMBS31007M0085
CEF-BS-C	3,6/7,2	50	320/65	361/50,5	TYMBS31007M0086
CEF-BS-C	3,6/7,2	63	320/65	361/50,5	TYMBS31007M0087
CEF-BS-C	3,6/7,2	80	320/87	361/50,5	TYMBS31007M0088
CEF-BS-C	3,6/7,2	100	320/87	361/50,5	TYMBS31007M0089
CEF-BS-C	3,6/7,2	125	400/87	440/40	TYMBS31007M0090
CEF-BS-C	3,6/7,2	160	400/87	440/40	TYMBS31007M0091
CEF-BS-C	3,6/7,2	200	400/87	440/40	TYMBS31007M0092
CEF-BS-C	12	6	400/65	440/40	TYMBS31008M0041
CEF-BS-C	12	10	400/65	440/40	TYMBS31008M0042
CEF-BS-C	12	16	400/65	440/40	TYMBS31008M0043
CEF-BS-C	12	25	400/65	440/40	TYMBS31008M0044
CEF-BS-C	12	40	400/65	440/40	TYMBS31008M0045
CEF-BS-C	12	50	400/65	440/40	TYMBS31008M0046
CEF-BS-C	12	63	400/65	440/40	TYMBS31008M0047
CEF-BS-C	12	80	400/87	440/40	TYMBS31008M0048
CEF-BS-C	12	100	400/87	440/40	TYMBS31008M0049
CEF-BS-C	17,5	6	400/65	440/40	TYMBS31009M0041
CEF-BS-C	17,5	10	400/65	440/40	TYMBS31009M0042
CEF-BS-C	17,5	16	400/65	440/40	TYMBS31009M0043
CEF-BS-C	17,5	25	400/65	440/40	TYMBS31009M0044
CEF-BS-C	17,5	40	400/87	440/40	TYMBS31009M0045
CEF-BS-C	17,5	50	400/87	440/40	TYMBS31009M0046
CEF-BS-C	17,5	63	400/87	440/40	TYMBS31009M0047

High voltage current limiting fuse link for MOTOR circuit applications type CMF

Rated voltage:	Rated current:
3,6 kV	100-315 A
7,2 kV	63-315 A
12 kV	63-200 A

1. General



The fuse links type CMF are specially designed for motor circuit applications. They are tested according to the IEC Publication 60282-1 (IEC 282-1) and Publication 644. The IEC 644 applies to fuse links used with motors started direct-on-line on alternating current systems. High voltage fuses used in motor circuits must have the ability to withstand, without deterioration, the repeated surges associated with motor starting.

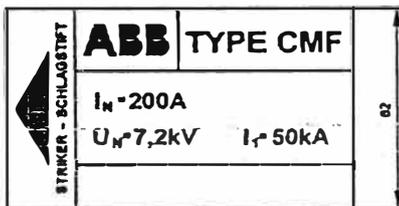
The dimensions are in accordance with DIN 43625, i.e. the 3,6 kV rating is realized in the normal 12 kV length (e = 292 mm). The 7,2 kV and 12 kV rating in the 24 kV length (e = 442 mm). Special connection elements can be delivered in cases where fuses have to be paralleled.

ABB's motor fuses have the following properties:

- higher current rating within single body dimensions
- tested according to IEC 644 which guarantees excellent ability to withstand repeated motor starting conditions
- low power losses
- low minimum-breaking-current
- high breaking capacity and excellent short circuit current limitation.

Although a motor fuse is normally run at a stationary current which is much lower than the fuse rated current, the low-loss characteristics of the CMF fuses make them especially suitable in compact contactor compartments.

2. Nameplate

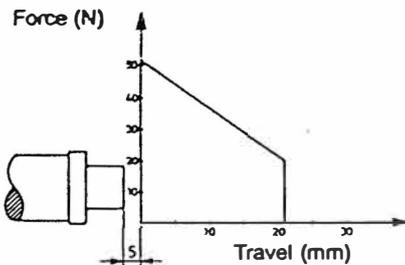


The symbols on the nameplate have the following meaning:

- I_N = Rated current
- U_N = Rated voltage
- I_1 = Maximum short circuit current for which the fuse is tested

The arrowhead on the nameplate indicates in which end of the fuse link the indicator and striker pins appears. Additionally this end contact of the fuse links is specially marked.

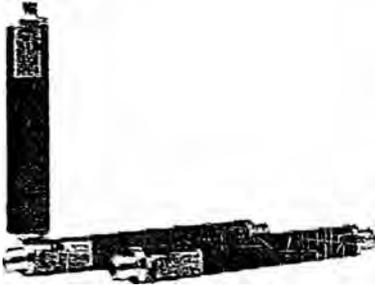
3. Indicator and striker pin



The CMF fuse links are equipped with a combined indicator and striker system, which is activated immediately when the fuse element melts. The force diagram is in accordance with the requirements of IEC 60282-1 (IEC 282-1) and DIN 43625.

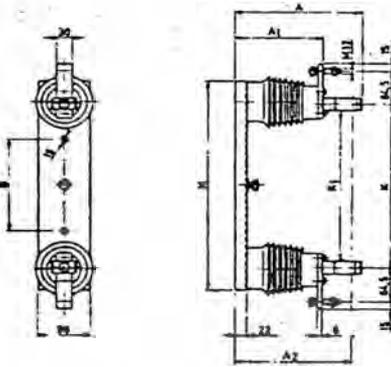
Fuse link type CMF

4. Ordering table type CMF High voltage – fuse links



Type	Rated voltage [kV]	Rated Current [A]	e [mm]	Catalogue No.	Weight [kg]
CMF	3.6	100	292	TYMB531028M0001	2.3
CMF	3.6	160	292	TYMB531028M0002	2.3
CMF	3.6	200	292	TYMB531028M0003	2.3
CMF	3.6	250	292	TYMB531028M0004	3.8
CMF	3.6	315	292	TYMB531028M0005	3.8
CMF	7.2	63	442	TYMB531029M0001	3.0
CMF	7.2	100	442	TYMB531029M0002	3.0
CMF	7.2	160	442	TYMB531029M0003	3.0
CMF	7.2	200	442	TYMB531029M0004	5.3
CMF	7.2	250	442	TYMB531029M0005	5.3
CMF	7.2	315	442	TYMB531029M0006	5.3
CMF	12	63	442	TYMB531030M0001	3.0
CMF	12	100	442	TYMB531030M0002	5.3
CMF	12	160	442	TYMB531030M0003	5.3
CMF	12	200	442	TYMB531030M0004	5.3

FUSE BASE TYPE UCM

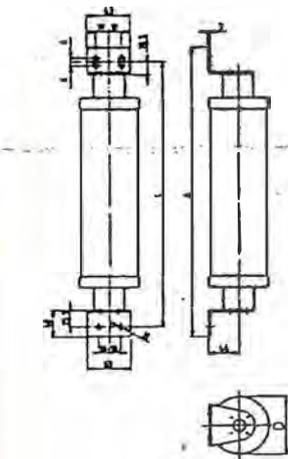


5. Ordering table UCM

Type	Rated voltage [kV]	Dimensions [mm]							Weight [kg]	Catalogue No.
		A	A ₁	A ₂	H	K	K ₁	B		
UCM	3.6	232	160	220	410	318	293	180	3.7	TYMX139037R001
UCM	7.2/12	232	160	220	570	468	443	300	4.2	TYMX139037R002

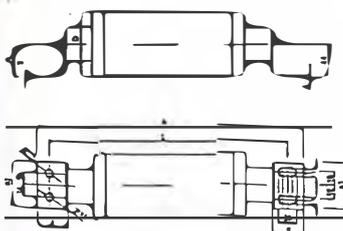
6. Ordering table type CMF-BS

Dimension CMF-BS

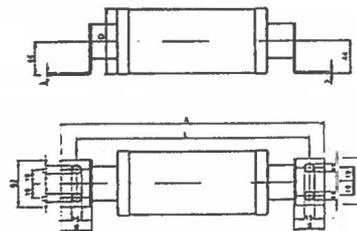


Type	Rated voltage [kV]	Rated Current [A]	L/D [mm]	A/d [mm]	Catalogue No.	Weight [kg]
CMF-BS-C	3.6	100	400/65	440/40	TYMB531031M0021	2.3
CMF-BS-C	3.6	160	400/65	440/40	TYMB531031M0022	2.3
CMF-BS-C	3.6	200	400/87	440/40	TYMB531031M0023	2.3
CMF-BS-C	3.6	250	400/87	440/40	TYMB531031M0024	3.8
CMF-BS-C	3.6	315	400/87	440/40	TYMB531031M0025	3.8
CMF-BS-D	3.6	100	419/65	461/50.5	TYMB531031M0011	2.3
CMF-BS-D	3.6	160	419/65	461/50.5	TYMB531031M0012	2.3
CMF-BS-D	3.6	200	419/87	461/50.5	TYMB531031M0013	2.3
CMF-BS-D	3.6	250	419/87	461/50.5	TYMB531031M0014	3.8
CMF-BS-D	3.6	315	419/87	461/50.5	TYMB531031M0015	3.8
CMF-BS-B	7.2	63	555/65	590/40	TYMB531032M0021	3.0
CMF-BS-B	7.2	100	555/65	590/40	TYMB531032M0022	3.0
CMF-BS-B	7.2	160	555/65	590/40	TYMB531032M0023	3.0
CMF-BS-B	7.2	200	555/87	590/40	TYMB531032M0024	5.3
CMF-BS-B	7.2	250	555/87	590/40	TYMB531032M0025	5.3
CMF-BS-B	7.2	315	555/87	590/40	TYMB531032M0026	5.3
CMF-BS-B	12	63	555/65	590/40	TYMB531033M0021	3.0
CMF-BS-B	12	100	555/87	590/40	TYMB531033M0022	5.3
CMF-BS-B	12	160	555/87	590/40	TYMB531033M0023	5.3
CMF-BS-B	12	200	555/87	590/40	TYMB531033M0024	5.3
CMF-BS	3.6	100	405/65	440/40	TYMB531031M0001	2.3
CMF-BS	3.6	160	405/65	440/40	TYMB531031M0002	2.3
CMF-BS	3.6	200	405/87	440/40	TYMB531031M0003	2.3
CMF-BS	3.6	250	405/87	440/40	TYMB531031M0004	3.8
CMF-BS	3.6	315	405/87	440/40	TYMB531031M0005	3.8
CMF-BS	7.2	63	555/65	590/40	TYMB531032M0001	3.0
CMF-BS	7.2	100	555/65	590/40	TYMB531032M0002	3.0
CMF-BS	7.2	160	555/65	590/40	TYMB531032M0003	3.0
CMF-BS	7.2	200	555/87	590/40	TYMB531032M0004	5.3
CMF-BS	7.2	250	555/87	590/40	TYMB531032M0005	5.3
CMF-BS	7.2	315	555/87	590/40	TYMB531032M0006	5.3
CMF-BS	12	63	555/65	590/40	TYMB531033M0001	3.0
CMF-BS	12	100	555/87	590/40	TYMB531033M0002	5.3
CMF-BS	12	160	555/87	590/40	TYMB531033M0003	5.3
CMF-BS	12	200	555/87	590/40	TYMB531033M0004	5.3

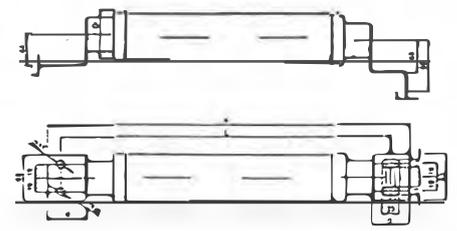
Dimension CMF-BS-B



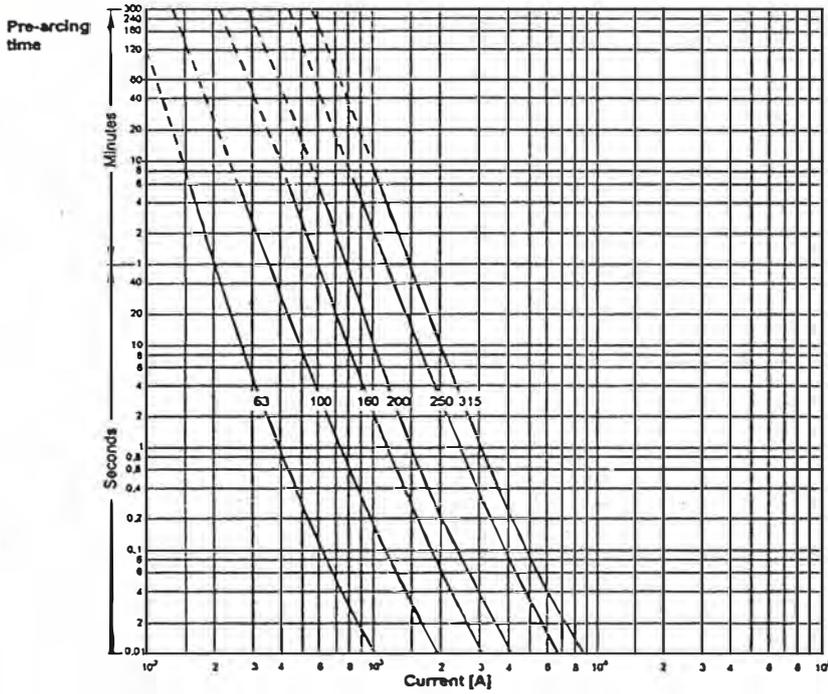
Dimension CMF-BS-C



Dimension CMF-BS-D



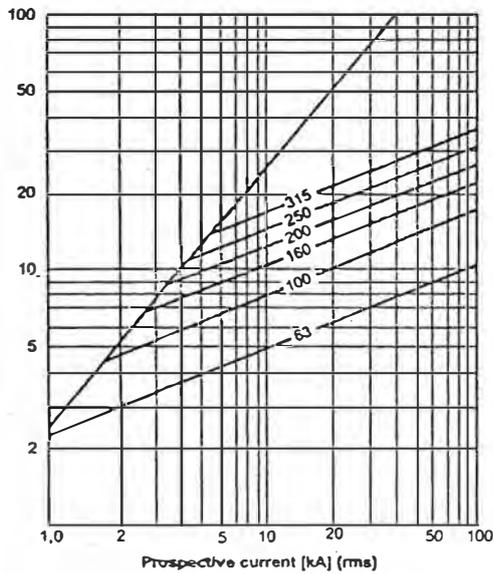
Fuse link type CMF



7. Pre-arcing times

The characteristics are equal for all rated voltages and are recorded from cold condition. Dashed sections of the curves indicate the zone of uncertain interruption.

Maximum cut off current [kA] (peak)



8. Current limitation

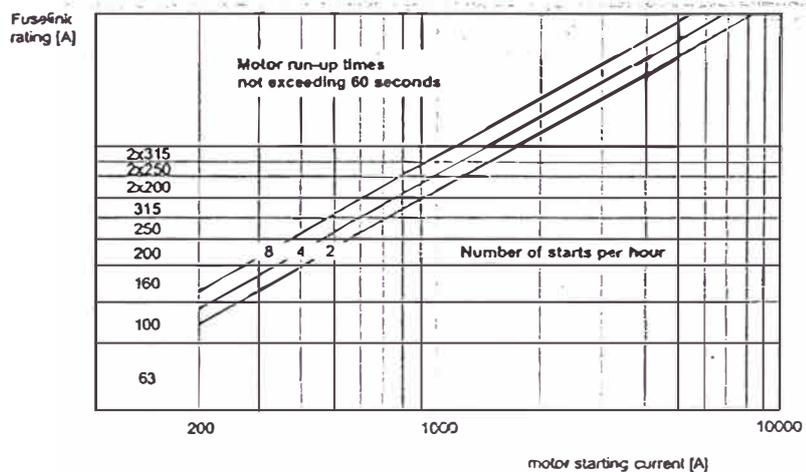
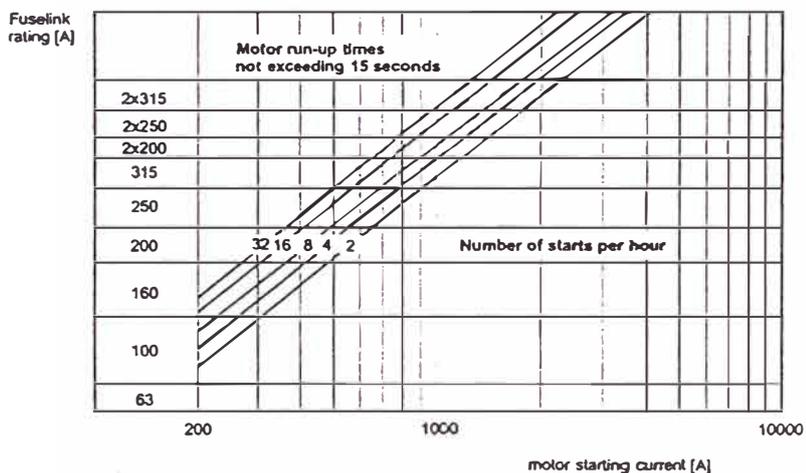
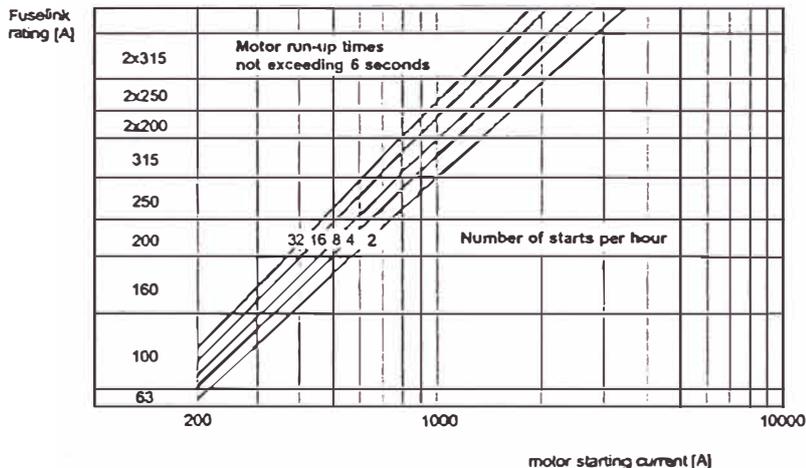
CMF fuse links are current limiting. A large short circuit current will therefore not reach its full value. The diagram shows the relation between the prospective short circuit current and the peak value of the cut off current.

9. Overvoltages

In order to be current limiting, the fuse links must generate an arc voltage exceeding the instantaneous value of the operating voltage. The overvoltage generated by the CMF fuse link is below the maximum permissible value acc to IEC 60282-1 (IEC 282-1)

CMF fuse links can safely be used if the system line voltage is 50-100% of the rated fuse link voltage.

Fuse link type CMF



10. Choice of fuse links

Choice of rated voltage U_N
 The rated voltage of the fuse links must be equal to, or higher than the operating line voltage. By choosing fuse link rated voltage considerably higher than the line voltage, the maximum arc voltage must not exceed the insulation level of the network.

Choice of rated current I_N
 The minimum permissible current rating of the fuse link for motor protection may be determined from the selection charts I, II and III. The three different charts are for run-up times of 6, 15 and 60 seconds respectively. Each chart contains different characteristics, depending on the number of starts per hour. Of this specific number of starts per hour, the first two are in immediate succession, the rest being evenly spaced in the 1 hour period. The number of starts per hour indicates the time interval between separate starts. For example, 4 starts in 15 minutes are represented by 16 starts per hour. On the horizontal axis of the selection chart, the motor starting current is given, and along the vertical axis the current rating of the fuse link is found.

- Selection procedure:**
- Select the charts which are appropriate for the run-up time of the motor,
 - select the starting current along the horizontal axis,
 - depending on the number of starts per hour, select the correct characteristic (2, 4, 8, 16, 32),
 - read of the correct rating of the fuse link on the vertical axis.

Example:	A	B
Starting current of the motor	850A	250A
Run-up time	6 sec.	15 sec.
Number of starts per hour	2	16
Chart number	1	2
Rated current of fuse link	250A	160A

Fuse link type CMF

11. Replacement of melted fuse links

CMF fuse link cannot be regenerated. According to IEC Publication 60282-1 (IEC 282-1), all 3 fuse links should be replaced, even if only 1 or 2 of the fuse links in the three-phase system have operated.

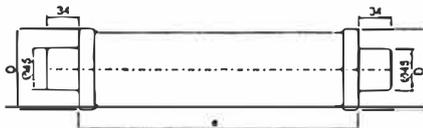
Exceptions are allowed when it can be verified that the fuse link(s) have not experienced any overcurrent.

12. The K-factor

According to the IEC 644, the K-factor is a factor (less than unity) defining an overload characteristic to which the fuse link may be repeatedly subjected under specified motor starting conditions without deterioration. The overload characteristic is obtained by multiplying the current on the pre-arcing characteristic (melting time characteristics) by K. The Value of K given in the data table is chosen at 10 seconds melting time, and is valid for melting times between 5 and 60 seconds.

13. Data and dimensions CMF

U_N	I_N	e	D	K*	I_1	I_3	R_0	P_N	Minimum $I^2 \times t$	Maximum $I^2 \times t$
kV	A	mm	mm	-	kA	A	mΩ	W	Pre-arc A ² s	Interruption A ² s
3,6	100	292	65	0,75	50	275	3,20	49	$1,4 \times 10^4$	17×10^4
	160	292	65	0,7	50	400	1,92	75	$3,8 \times 10^4$	50×10^4
	200	292	87	0,7	50	500	1,40	75	$7,6 \times 10^4$	71×10^4
	250	292	87	0,6	50	760	0,97	90	14×10^4	115×10^4
	315	292	87	0,6	50	900	0,81	122	21×10^4	180×10^4
7,2	63	442	65	0,75	50	175	8,50	45	$0,48 \times 10^4$	$6,5 \times 10^4$
	100	442	65	0,75	50	275	4,86	67	$1,40 \times 10^4$	18×10^4
	160	442	65	0,7	50	400	2,92	119	$3,8 \times 10^4$	54×10^4
	200	442	87	0,7	50	500	2,12	118	$7,6 \times 10^4$	75×10^4
	250	442	87	0,6	50	800	1,48	142	14×10^4	120×10^4
	315	442	87	0,6	50	950	1,23	193	21×10^4	220×10^4
12	63	442	65	0,75	50	190	13,52	77	$0,48 \times 10^4$	11×10^4
	100	442	87	0,75	50	275	6,62	103	$1,4 \times 10^4$	20×10^4
	160	442	87	0,7	50	480	3,98	155	$3,8 \times 10^4$	70×10^4
	200	442	87	0,7	50	560	2,73	173	$9,3 \times 10^4$	91×10^4



*) The K-factor is referred to the average value of current.

Legends:
 e = see figure
 D = see figure
 K = K-factor acc. to IEC 644

I_1 = max. short circuit current tested
 I_3 = minimum breaking current
 R_0 = resistance at room temperature
 P_N = power loss at rated current

ABB is working to continuously improve the products. Therefore we reserve the right to change design, dimension and data without prior notice.



ABB Sp. z o.o.

Power Products division

ul. Leszno 59

06-300 Przasnysz, Poland

Phone: (+48 22) 51 52 838, 51 52 831

(+48 29) 75 33 233, 75 33 240

Fax: +48 22 51 52 659, +48 29 75 33 327

E-mail: export.plzwa@pl.abb.com

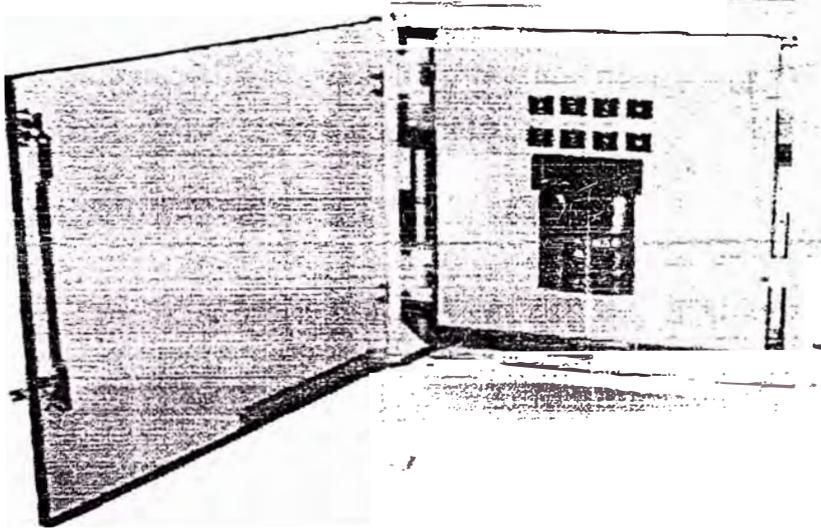
www.abb.com

GE Power Switching & Controls

GE Power/Vac[®] Vacuum Distribution Recloser



GE DISTRIBUTION RECLOSER



Power/Vac[®] Type PVDR
15.5 kV and 27.0 kV
Three Phase
Vacuum Circuit Recloser

GE Power Switching & Controls

Introduces Power/Vac Vacuum Distribution Recloser

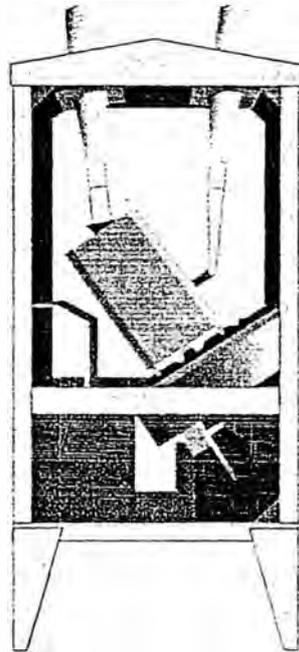
An addition to the proven vacuum distribution product line.

The GE Distribution Recloser is a Power/Vac (in-air), Type PVDR, four shot recloser for use in applications in distribution systems.

The Vacuum (in-air) Distribution Recloser is available as a standard offering utilizing the GE-Multilin F650-Recloser Controller. This controller package utilizes the Multi-function F650 relay, 10-pole test switch, 24 vdc battery with charger (when station DC is not available), and a 120VAC GF-protected receptacle. (Other relay configurations are available.)

The Type PVDR Recloser is rated 15.5 kV and 27.0 kV. They are high speed vacuum (in-air) reclosers designed to meet increased demands for uninterrupted power on distribution circuits requiring single or multi-shot reclosing. The PVDR is capable of interrupting at either 10,000, 12,000 or 16,000 amperes symmetrical fault current at rated voltage, depending on the particular unit specified. Reclosers have continuous current ratings of 200, 400, 560, 800, or 1120 amperes. The duty cycle of each rating conforms to ANSI C37.60, Table 4, where applicable.

GE introduced the world's first vacuum interrupter distribution breaker in the 1960's. Today this proven design is incorporated in the Vacuum Distribution Recloser and is the same standard vacuum interrupter used in the Power/Vac Metalclad Switchgear. To date, this design has accumulated over 800,000 interrupter years of reliable field service experience domestically and in over 30 countries worldwide.



Side cross section of recloser showing location of the vacuum interrupter

The Power/Vac Distribution Recloser offers these important features:

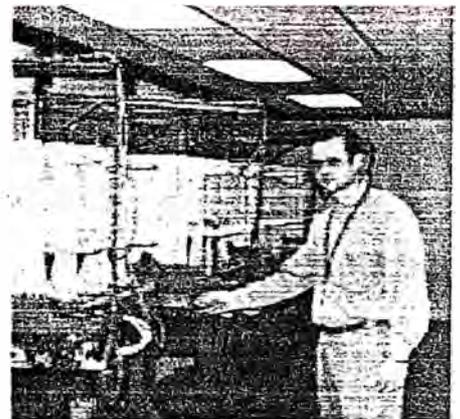
- **No Contact Maintenance**
One set of contacts performs both main and arcing contact functions. Maintenance is eliminated because the high vacuum environment isolates contacts from exposure to dirt, moisture and other pollutants.
- **Quiet Operation**
Arc extinction is silent, and the sound level of the mechanism is low. Quiet operation is particularly desirable near hospitals, residential areas and shopping centers.

- **Reliable Arc Interruption**
Arc interruption typically occurs at the first current zero after contact separation. The high dielectric strength of the vacuum gap results in an extremely short clearing time. From a normal CLOSED position, the recloser can complete fault interruption in five cycles.
- **Long Service Life**
Power/Vac interrupters experience no significant contact erosion during normal duty. They are designed and tested to meet or exceed performance requirements of applicable ANSI, IEEE and NEMA standards.
- **Low Maintenance**
The Power/Vac interrupter element is designed for 10,000 no-load and 5,000 full load operations prior to maintenance. After 18 full fault interruptions, it is recommended that the contact erosion indicator be checked to estimate remaining interrupter life.
- **"E Coat" Paint**
"E Coat" is applied with a cathodic electrodeposition method which bonds the paint to all surfaces to resist adverse effects of harsh environments. A final exterior finish coat provides extra protection. ANSI 70 Grey is standard. (Other color options are available.)

1. Recloser Settings Table

RECLOSER SETTINGS	
Description	Range
Number of Reclosers	1 to 4
Number of Repetitive Trips	1 to 50*
Reset Time Available	1.0 to 600.0 seconds
Hold Time	0.0 to 100.0 seconds
Reclose Delay	0.1 to 600.0 seconds**

* Limited by Battery ** Mechanism needs 3 seconds to recharge springs



300 Operation Open/Close mechanical run-in test

Rigid Quality Standards and Thorough Testing Assure High Reliability

Power-Vac Distribution Recloser quality begins with the basic materials: steel, copper, aluminum, fiberglass, reinforced polyester and porcelain - proven in both indoor and outdoor use. All recloser elements and purchased components are thoroughly inspected to assure they meet specifications. In addition, the insulation in each recloser receives numerous production and laboratory tests.

During manufacture, numerically-controlled machines and high quality tooling are utilized to produce accurate parts. This helps reduce assembly and alignment problems and improves reliability.

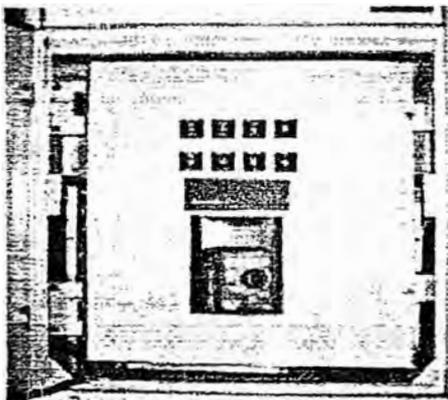
All reclosers are designed and tested to ANSI C37.60 and applicable industry standards.

Some of the factory test procedures include:

1. Preliminary recloser adjustments assure that all components are within specifications
2. Every recloser interrupter element undergoes a 300 operation CLOSE/OPEN mechanical run-in test (most component failures occur within this period). Thus, this stress test catches problems in the factory before they can impact system integrity.
3. Vacuum interrupter wipe, gap and stroke are adjusted to precise tolerances.

4. High potential tests are made on primary and secondary circuits, and the resistance of each pole assembly is measured against specification.
5. The breaker element mechanism is operated at maximum, minimum and rated voltages. In addition, speed/time checks are made to assure reliable operation.
6. A series of tests are conducted to verify operation of interlocks, auxiliary switches, wiring relays and other components for continuity and correctness.

Automatic Recloser Controller and Assembly - DRC



DRC Controller featuring the F650 Relay

GE Provides a standard designed DRC Controller unit that is being used in the Type PVDR Recloser that includes a GE multifunction F650 relay, 10 pole test switch, 24 VDC battery with charger (when station DC is not available), and a 120 VAC GF protected receptacle. Other relay configurations are available. The F650 digital relay provides control of the tripping and reclosing circuits of the ML-18 operating mechanism. This extremely flexible digital relay is designed to provide instantaneous and inverse time-current tripping to coordinate with other reclosers, breakers, relaying and fuses. It provides a single to four shot recloser that can operate with an instantaneous and three time delayed reclose shots. This allows the user to program which functions are allowed to trip after the shot.

When instrumentation voltage transformers are available at the substation, these will be used for the AC voltage measurements for the relay. When these transformers are not available, the station service 120/120 VAC transformers, which are required for spring charge motor, close and accessory circuits, are used for single phased voltage and frequency information for the relay.

Bushing transformers provided with the recloser are used for AC current measurements.

Features include:

- All current transformer secondary leads are continuous from the transformer to the short circuiting type terminal boards or test plugs.
- Terminal boards are positioned for ease of access to facilitate connection of external leads.
- Relays and controls are mounted on a swinging panel for easy access.
- Recloser control switch and indicating lamps are positioned for ease of operation.
- Other devices are available.

Additional features of the F650 relay, while controlling the recloser function, also provide a digital protection, control, metering and monitoring system. It uses waveform sampling of the current and voltage inputs, together with appropriate algorithms, to provide distribution feeder protection. By incorporating the protection, control, metering and both local and remote human interface in one assembly, it eliminates the need for expensive discrete components. The relay stores up to 256 events with the date and time stamped to the nearest millisecond and captures current and voltage waveforms at 64 samples per cycle. From 2-16 oscillography records can be stored in memory.

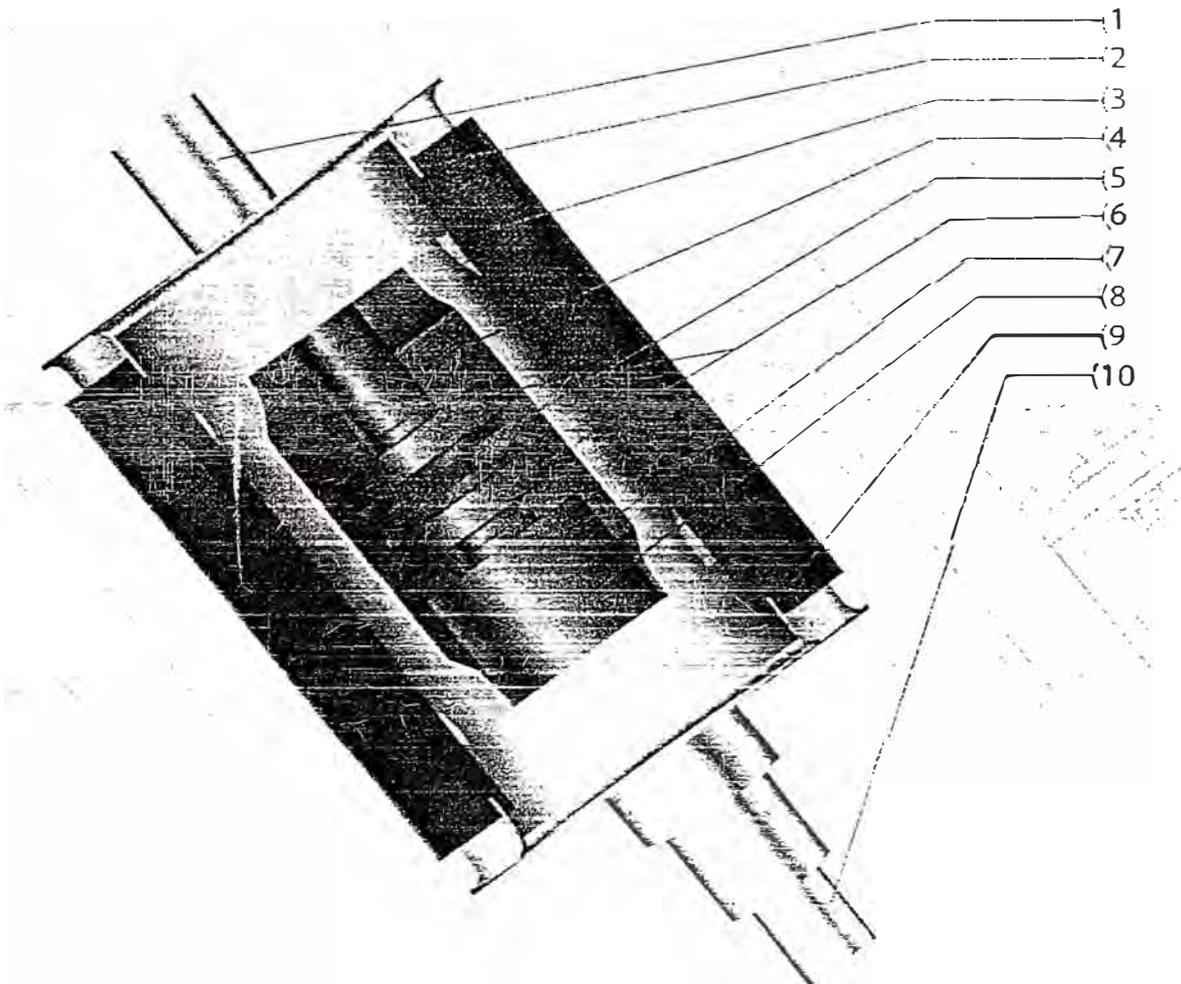
Vacuum Interruption provides the most efficient protection

At the heart of the distribution recloser is the Power/Vac metalclad vacuum interrupter. To date, this design has accumulated over 800,000 interrupter years of reliable field service experience.

General Electric pioneered vacuum interruption technology in the 1920's, refined it with improved materials and new manufacturing techniques in the 30's and 40's, and introduced the world's first vacuum interrupter distribution breaker and recloser in the 1960's.

With the development of the Power/Vac interrupter element in the 1970's, General Electric introduced the first medium voltage metalclad switchgear line to use vacuum exclusively. Today, this same proven breaker element is incorporated in the Power/Vac Distribution Recloser.

1. Stationary Electrical Terminal
2. Metal-to-Insulation Vacuum Seal
3. Insulating Vacuum Envelope
4. Vacuum Chamber
5. Electric Arcing Region
6. Electrical Contacts
7. Metal Vapor Condensing Shield
8. Flexible Metallic Bellows Assembly
9. Metal-to-Insulation Vacuum Seal
10. Movable Electrical Terminal



Modular Design Provides Easy Installation and Accessibility

Easy Installation

Distribution Reclosers are shipped completely assembled ready for immediate installation, except for adjustable legs which are easily installed in the field.

Bushings and Current Transformers

Designed to meet exacting ANSI standards. CT's are readily accessible (refer to Table 4 for ratings). This design features up to two standard accuracy current transformers per bushing, or 12 per breaker.

Continuous Steel Frame

Simplifies grounding and provides greater rigidity for added strength. This design has lower reaction forces during operation, and therefore a lighter foundation can be used.

Modular Recloser Design

Consists of three pole assemblies and the breaker mechanism to simplify maintenance. The entire module can be removed with minimum effort.

Optional Stainless Steel Construction is Available. Consult Factory.

ML-18 Mechanism

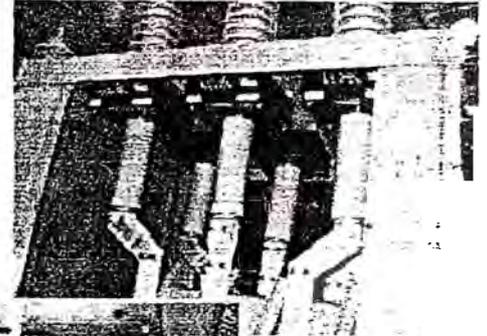
The recloser operator features a ML-18 (15.5 kV) or a ML-18H (27.0 kV) motor operated spring charged mechanism which is electrically trip-free. The standard recloser design utilizes 120 VAC for the spring charging motor and close circuit and 24VDC (derived from the on-board battery and charger in the recloser control) for the trip circuit. When station DC is available, the GE PVDR can be ordered with 48 or 125

Viewing Window

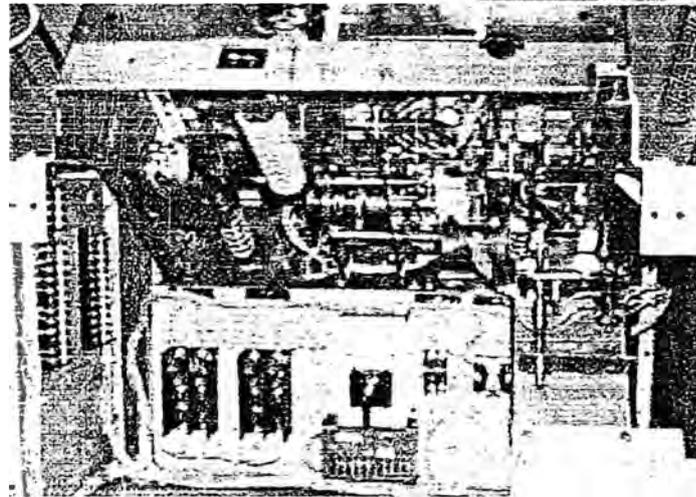
Permits convenient visual check of operations counter, OPEN/CLOSE indication, spring charge indication, manual CLOSE and TRIP buttons and pull-to-trip lever.

Pull-to-Trip-Lever

Located on the outside of the recloser to prevent reclosing from any source until manually reset by the operator.



Current Transformers



Inside front mechanism and control compartment

VDC close, trip and charge motor circuits as required.

If the customer chooses AC control power with a capacitor device, the capacitor trip device cannot be used to supply power to the recloser relay. An option with the recloser relay, for those systems that use AC power for control power, is to install a UPS system to power the relay and controller.

2. ML-18 & ML-18H Table

Control Voltage Source	Closing Range	Tripping Range Current	Closing Coil Current Amperes	Tripping Coil Current		Motor Inrush Current	Motor Windup Current (4)	Fuse Size Close CTK Protection (5) Amperes
				5 Cycle	3 Cycle			
48 VDC	38-56	28-56	13.7	17.0	17.0	34	17.0	30
125 VDC	100-140	70-140	6.0	5.9	10.5	23	8.0	20
250 VDC	200-280	140-280	2.8	4.7	10.8	18	3.8	15
240 VDC	208-254	340 (1)	2.8	3.7	3.7	20	6.0	20
120 VDC	104-127	169 (2)	6.0	3.7	3.7	35	15.0	20
120 VDC (3)	104-127	18-28 VDC	6.0	3.2	N/A	35	15.0	20

(1) With 240V capacitor trip device, nominal output

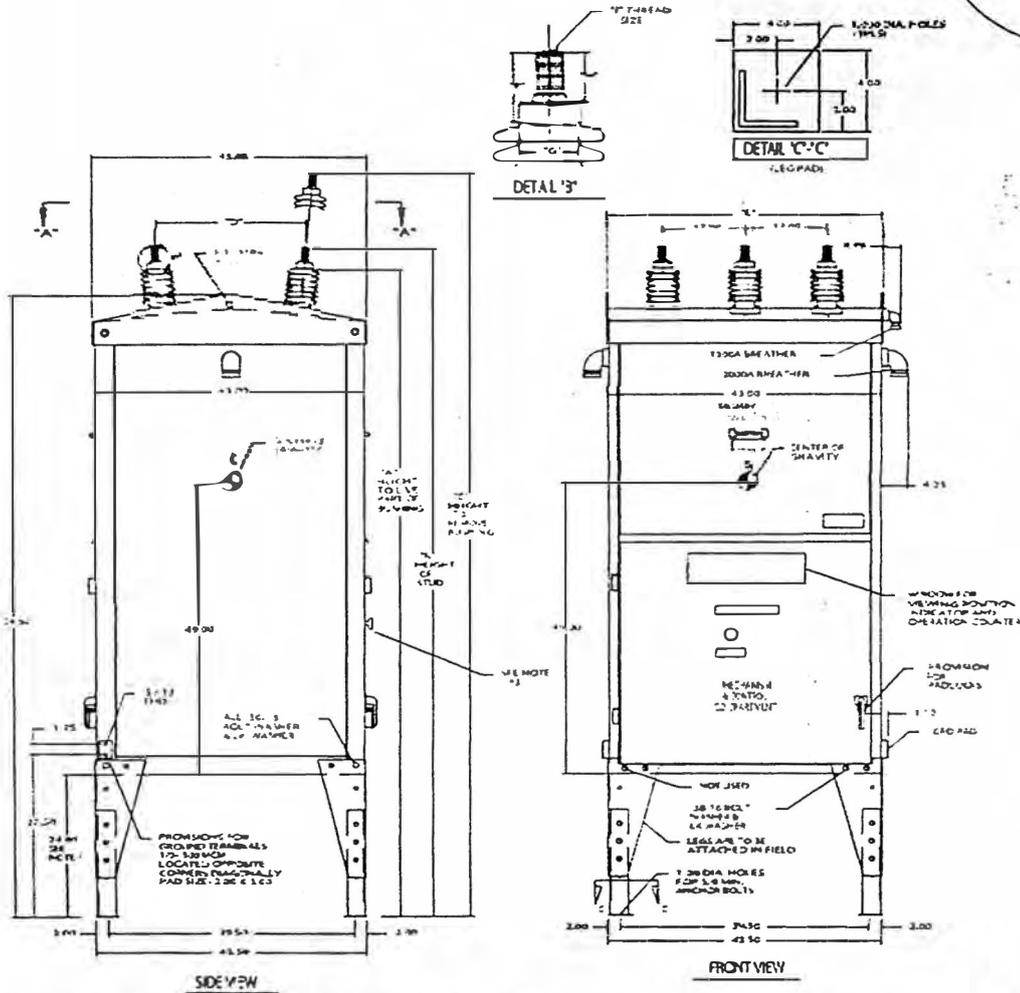
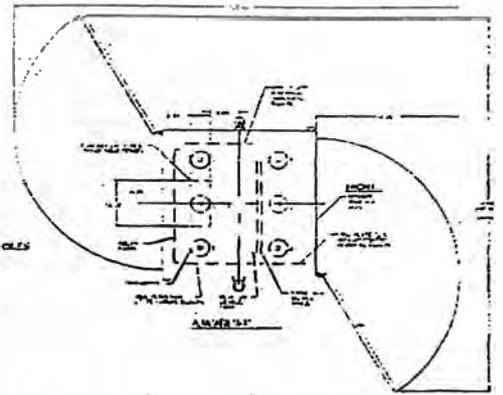
(2) With 120V capacitor trip device, nominal output

(3) With SCL-351 recloser control, 24VDC trip

(4) Approximate spring charge time, 3 seconds

(5) Trip circuits fused at 35A, except for capacitor trip - use 10A

Recloser Ratings and Dimensions 15 kV



3. Vacuum Recloser Performance Characteristics Table

Recloser Type	Nominal System Voltage kV rms	Rated Maximum Voltage kV rms	Rated Impulse Withstand Voltage, kV Crest	Insulation Level		Current Ratings (Amps)		Shipping Wt. in lbs.
				1 min. Dry	10 sec. Wet	Continuous 60Hz	Symmetrical Interrupting at Rated Maximum Volts	
Three Phase 15.5 kV								
PVDR-15.5-2	14.4	15.5	110	50	45	200	2000	2000
PVDR-15.5-6	14.4	15.5	110	50	45	400	6000	2000
PVDR-15.5-12	14.4	15.5	110	50	45	560	12000	2000
PVDR-15.5-12	14.4	15.5	110	50	45	800	12000	2000
PVDR-15.5-12	14.4	15.5	110	50	45	1120	12000	2000
PVDR-15.5-16	14.4	15.5	110	50	45	560	16000	2000
PVDR-15.5-16	14.4	15.5	110	50	45	800	16000	2000
PVDR-15.5-16	14.4	15.5	110	50	45	1120	16000	2000
Three Phase 27.0 kV								
PVDR-27.0-10	24.9	27.0	125	60	50	400	10000	2500
PVDR-27.0-10	24.9	27.0	125	60	50	560	10000	2500
PVDR-27.0-10	24.9	27.0	125	60	50	1120	10000	2500
PVDR-27.0-16	24.9	27.0	125	60	50	560	16000	2500
PVDR-27.0-16	24.9	27.0	125	60	50	1120	16000	2500

**Power/Vac Three Phase
Vacuum Circuit Recloser
Technical Data**

Recloser Type	PVDR	PVDR
Rated Maximum Voltage	15.5kV	27.0kV
Nominal Voltage	15.5kV	27.0kV
Frequency	60Hz	60Hz
Low Frequency Withstand		
60Hz dry for 1 minute	50kV	60kV
60Hz wet for 10 seconds	45kV	50kV
Fullwave Withstand - B.I.L.	110kV	125kV
Continuous Current Rating @ 60Hz	200A thru 1120A	200A thru 1120A
Standard Duty Cycle	0 + 0 sec + CO + 5 sec + CO	0 + 0 sec + CO + 5 sec + CO
Interrupting Time	5 cycles (3 cycles optional)	5 cycles
Closing Time	4.5 cycles	4.5 cycles
Rated Short Circuit (RMS)	2kA thru 16kA	2kA thru 16kA
Close and Latch Rating		
RMS Asymmetrical	3kA thru 26kA	25.6kA
Peak 5kA thru	43kA	42.5kA
3 Second Short Time Current Rating (RMS)	2kA thru 16kA	16.0 kA
Reclosing Time	5 or 3 seconds	5 or 3 seconds
Permissible Tripping Delay	2 seconds	2 seconds
Capacitance Current Switching		
General Purpose Duty		
Line Charging Current	2A	2A
Isolated Cable Charging Current	250A	250A
Isolated Capacitor Bank Rating	250A	250A
Transient Recovery Voltage Peak	29kV	50.5kV
Time to Crest of Transient Recovery Voltage	36 microseconds	52 microseconds
Number of Operations		
Load Current Switching	2500 Before Servicing	2500 Before Servicing
Full Fault Unit Operations	18 Before Servicing	18 Before Servicing
Control Voltage	DC: 48V, 125V, 250V AC: 120V, 240V (60Hz)	DC: 48V, 125V, 250V AC: 120V, 240V (60Hz)



GE Power Switching & Controls

General Electric Company
1 Oak Hill Center, Suite 301
Westmont, IL 60559

DEA191-R03-11/02

BIBLIOGRAFÍA

1. Cooper Power Systems, Electrical Distribution-System Protection, Third Edition 1990
2. Jacinto Viqueira Landa. Redes Eléctricas Segunda parte. Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. 1987
3. Carey J.Cook and David A.Myers. The use of cooling-factor curves for coordinating fuses and reclosers.
4. ANSI C37.42.1996 American National Standard Specifications for High Voltage Expulsion Type Distribution Class Fuses, Cutouts, Fuse Disconnecting Switches and Fuse Link.
5. DRIWISA (Fabricante). Fusibles limitadores de corriente de alta tensión y alta capacidad interruptiva. Driescher y Wittjohann 2000.