

**ELEMENTOS
FUSIBLES
POSITROL®**

MANUAL DE
COORDINACIÓN

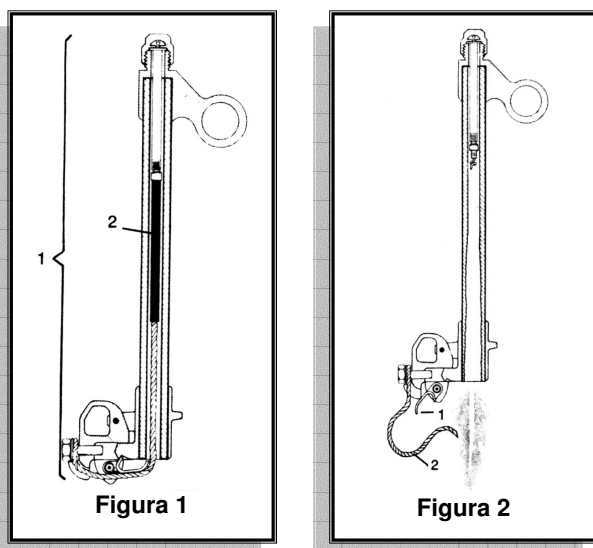
**FAMMIE
FAMI S.A.**

CAPITULO 1	PAGINA
Fundamentos de la interrupción de la corriente alterna aplicables a seccionadores autodesconectores y elementos fusibles a expulsión para media tensión.....	1
CAPITULO 2	
Protección de transformadores.....	3
CAPITULO 3	
Protección de bancos de capacitores.....	9
CAPITULO 4	
Coordinación entre Elementos Fusibles Positrol.....	18
Tablas de coordinación entre elementos fusibles positrol.....	20
CAPITULO 5	
Coordinación con dispositivos de reenganche automático.....	22
CAPITULO 6	
Coordinación con descargadores de sobretensión.....	27
CAPITULO 7	
Selección del Seccionador Autodesconector adecuado.....	28

Fundamentos de la interrupción de la corriente alterna aplicables a seccionadores autodesconectadores y elementos fusibles a expulsión para media tensión.

Los mayores problemas que un fabricante debe enfrentar durante el diseño de seccionadores auto-desconectadores y sus respectivos elementos fusibles son, precisamente, los originados por las grandes magnitudes de corriente y las altas tensiones de recuperación que dichos elementos deberían manejar.

La concepción técnica de un Seccionador Autodesconectador y el Elemento Fusible conforman una unidad funcional.



Para una mejor comprensión, nos referiremos particularmente a los dos subconjuntos destinados a la extinción del arco: el tubo portafusible (1) del seccionador y el tubo fusible del elemento fusible (2); el primero, destinado a interrumpir fallas de alta magnitud de corriente y el segundo, a controlar las fallas pequeñas y la tensión de recuperación. (Figura 1)

Ambos se hallan recubiertos interiormente por una fibra muy especial que, movilizada por las altas temperaturas del arco eléctrico, tiene la propiedad de generar un gran volumen de gases de desionización.

Dicha fibra, es producida por unos pocos fabricantes en el mundo (2) y la razón íntima de su funcionamiento tan eficaz forma parte de bien guardados secretos tecnológicos. Podemos, sin embargo, suponer que produce gases no conductivos, compuestos por moléculas inestables que, por su alta velocidad molecular (a gran temperatura) se descomponen en los átomos que las integran, los que a su vez emiten iones positivos, que combinados con los electrones producidos por el arco forman átomos neutros.

Como ya se dijo, estos procesos de recombinación pueden aumentarse enormemente mezclando en forma violenta gases ionizados con gases no ionizados, lo que de hecho ocurre. Además, la sustancia es hábil para combinarse químicamente con los vapores metálicos generados por la fusión, produciendo moléculas no conductoras.

En otro orden de cosas, es fácil comprender que una falla de baja magnitud de corriente producirá un arco mas frío que el generado por una falla de mayor magnitud. Es por ello que el tubo del elemento fusible Positrol® cumple la función de despejar las fallas de baja magnitud de corriente (<1000 A), mediante la movilización de la fibra extintora que lo cubre interiormente, la que será excitada en razón de su proximidad con el arco eléctrico.

Cabe destacar que estas fallas menores son las mas frecuentes y por ello adquiere gran relevancia la actuación eficaz de un buen tubo fusible.

Por otra parte, dicho tubo deberá tener la longitud adecuada a efectos de impedir, en las fallas menores, el re-encendido del arco provocado por la tensión de recuperación. Este fenómeno es mejor controlado por el tubo portafusible cuando actúa ante fallas mayores, ya que estas provocan un violento desfogue (Figura 2) con el consecuente alejamiento de ánodo y cátodo (Figura 2). Se comprende que para que esta mecánica se produzca adecuadamente, el diseño debe ser preciso, robusto y armónico; solo en ese caso Seccionador Autodesconectador y Elemento Fusible podrán ser calificados dentro del

rango prescrito por las Normas ANSI C37.41 y C37.42
cumpliendo los estándares de calidad internacional



Figura 3

Protección de transformadores.

Consideramos oportuno hacer una breve descripción de los componentes que contienen las tablas publicadas en este Capítulo y de los fenómenos que han sido tenidos en cuenta para diseñarlas.

1. Resistencia de un fusible a los picos de corriente

Es la capacidad de un elemento fusible para resistir, sin fundirse ni dañarse, las sobrecorrientes de duración considerable.

Podrá observarse que en las Tablas se contemplan tres situaciones diferentes, a las que estarán sometidos los fusibles:

1.A. Sobrecargas continuas: El valor que aparece en la columna "A" cuantifica la capacidad de un fusible para resistir las sobrecargas de larga duración que acontecen durante el servicio normal según los horarios, los días y épocas del año; y se expresan en % de la potencia del transformador.

Esto significa que un fusible instalado y en servicio soporta sobrecargas continuas equivalentes al x % de la potencia del trafo.

Por ejemplo, en la Tabla correspondiente a la velocidad "STD" (curva TCC-123-6) se podrá observar que, en un transformador trifásico de 16 KVA el fusible de 1 A indicado soportará: $0,7 \times 1,8 = 1,3$ A.

1.B. Sobrecargas por recierre: Son las que debe soportar un fusible cuando, estando en servicio, aparece un recierre producido por un reconectador (recloser) que responde a una falla transitoria.

Esta sobrecorriente es la combinación de una abrupta corriente de magnetización (inrush) con los picos de corriente resultantes de las cargas conectadas a la línea (arranque de motores, iluminación pública, etc.) y su valor puede alcanzar hasta seis veces el de la corriente que circulaba por el fusible antes de la apertura.

1.C. Sobrecargas por energización: Son las que debe soportar el fusible cuando se energiza la línea en la que se encuentra instalado, luego de un tiempo desenergizado de, por lo menos, 30 minutos.

En tal situación el elemento fusible ya se ha enfriado y tendrá que resistir los efectos de la irrupción abrupta de corriente de magnetización del trafo en carga y la subsiguiente sobrecorriente transitoria asociada con las características de los consumos abastecidos por la red de baja (secundario del transformador).

Según estadísticas recogidas en Empresas de Distribución de Energía Eléctrica, la magnitud en términos de corriente, que deberá tolerar el fusible instalado en el lado del primario oscila en los siguientes parámetros:

- ✓ 6 veces la corriente nominal durante 1 segundo.
- ✓ 3 veces la corriente nominal durante 10 segundos.
- ✓ 2 veces la corriente nominal durante 15 minutos.

2. Índice de protección de un transformador

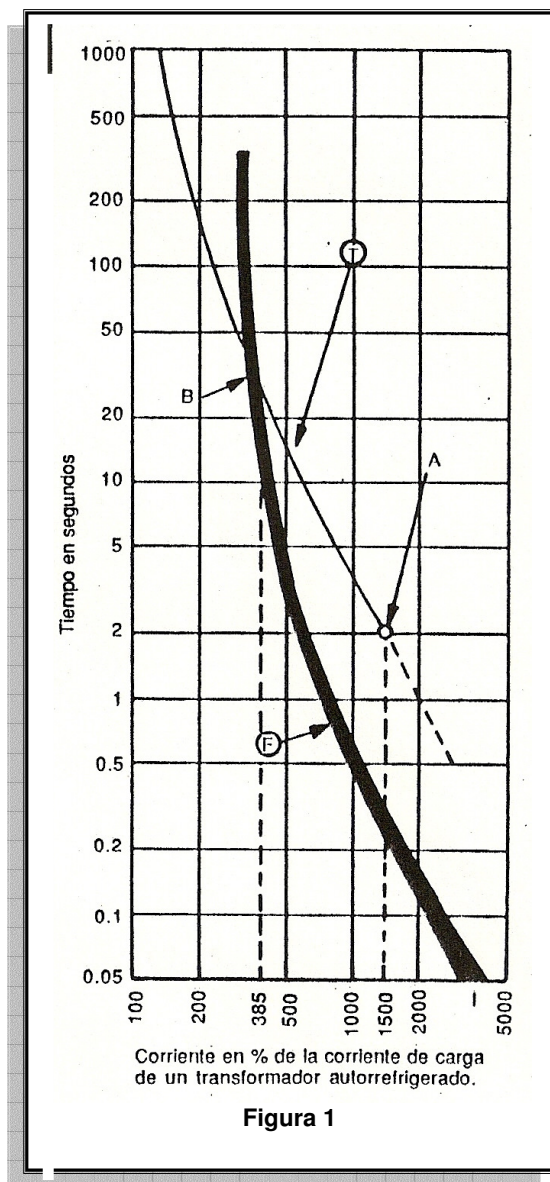
En adelante llamado IPT. Para que se comprenda este concepto detallaremos cuáles son las condiciones que se deben respetar cuando nos proponemos elegir el calibre de un elemento fusible cuyo objetivo es el de proteger a un transformador

Por un lado conocemos el comportamiento de un fusible (curva tiempo/ corriente), por el otro conocemos también los límites de un transformador (curva de carga) suministrados por su fabricante.

En la figura 1 hemos graficado la curva "T" de carga de un transformador y la curva "F" de un elemento fusible.

Ahora bien, las condiciones a respetar son las siguientes:

2.A. La curva de tiempo total del fusible debe pasar por debajo y a la izquierda del punto "A" que fija la norma ANSI como límite máximo de prestación de la maquina.



2.B. El punto "B" de intersección de ambas curvas, proyectado en el eje de las abscisas "I" debe darnos el valor más bajo posible y nos indica el IPT mediante una cifra.

Estas cifras son las que aparecen en la columna IPT de las Tablas de Selección.

Por ejemplo, en los estados Unidos, los fabricantes de transformadores utilizan la norma ANSI, que fija en 1500% el punto límite de resistencia de la máquina a efectos de las corrientes mencionadas.

Esto quiere decir que, situado en el eje "I" 1500% y elevando una perpendicular hasta la curva "T" del trafo, encontraremos el punto "A" que es el límite mencionado.

A partir del punto "A" así obtenido, hacia la izquierda y por debajo deben pasar todas las curvas de los fusibles que podremos elegir. Entendido esto, obsérvese que la curva "F" del fusible (situada a la izquierda y por debajo del punto "A" corta a la curva de la máquina en el punto "B". Si proyectamos el punto "B" sobre el eje "I" obtendremos el IPT expresado numéricamente.

En nuestro ejemplo la cifra es 385. Si elegimos un elemento fusible de calibre mayor y realizamos igual procedimiento obtendremos un IPT también mayor, brindando una menor protección al transformador. De esta forma tendrán un espectro cuantificado de que tanto protegen distintos calibres aun mismo trafo.

Cuando no existe índice en algún casillero IPT de las Tablas significa que el calibre elegido no brinda protección (trafo mono 16 KVA – Fusible 6T- conexión triángulo / estrella). En nuestro país no está normalizado el punto límite de sobrecarga del transformador tal como lo fija la norma ANSI (en 1500%), por lo tanto la limitación la informa el fabricante y es conocida como corriente de reconexión o "Inrush", siendo las capacidades mas frecuentemente utilizadas de 6 a 12 veces la nominal (600% al 1200%).

Así pues, quien pretenda calcular gráficamente deberá solicitar al fabricante del trafo su característica Inrush a efectos de establecer el punto A.

Por este motivo, nosotros hemos modificado las Tablas de Selección originales estadounidenses adecuándolas a nuestros usos y costumbre, según las potencias nominales utilizadas en nuestro país y fijando el punto limite comentado en el promedio de 100% de su capacidad nominal.

No obstante, el usuario podrá elegir de menor a mayor calibre, según las condiciones particulares de cada caso. Se elegirá un fusible de menor calibre cuando la máquina trabaje a un porcentaje de carga menor al 100%; para lo cual el usuario podrá valerse de las Curvas Tiempo/ Corriente que suministramos a nuestros clientes, aplicándoles los Factores de Corrección por Precarga (ver Gráficos

1, 2, 3, 4 y 5) y por Temperatura Ambiente (ver Gráficos 6, 7 y 8).

Se elegirá un fusible de mayor calibre cuando el transformador esté continuamente sobrecargado.

De este modo elevaremos el IPT, mejorando la respuesta del elemento fusible frente a los efectos de las corrientes de recierre y/o energización de líneas; pero téngase en cuenta que al elevar el IPT no sólo se aumenta la prestación de los fusibles sino que también se disminuye la protección del trafo.

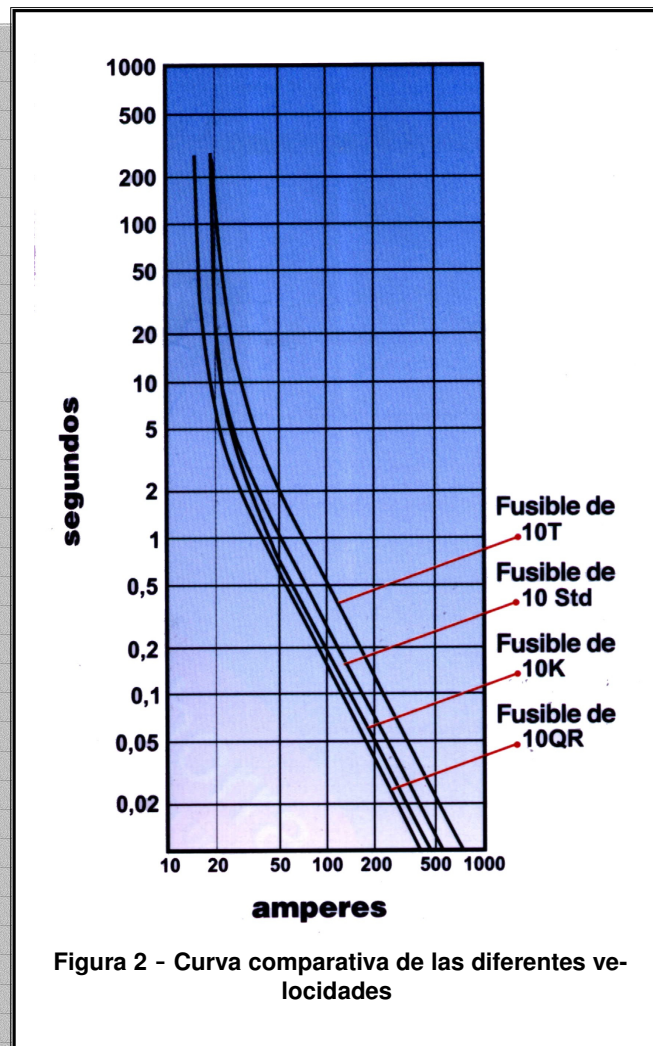
Entonces habrá que ser muy cuidadosos en este sentido.

3. Límites de prestación de un fusible

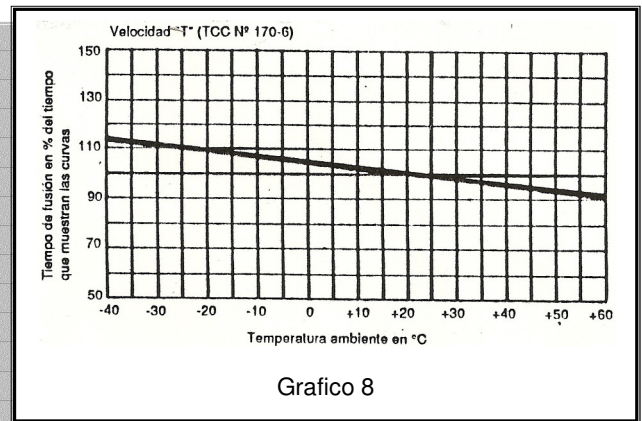
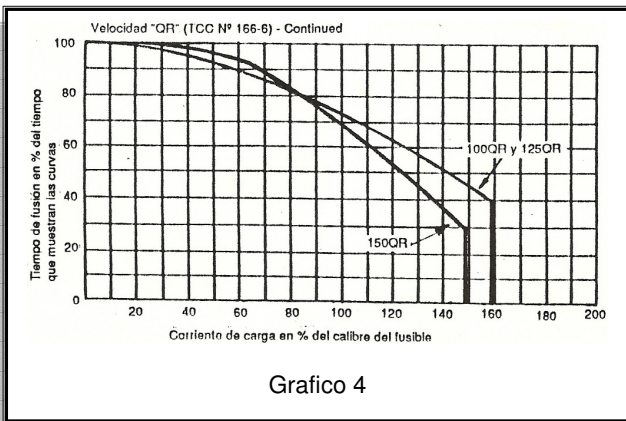
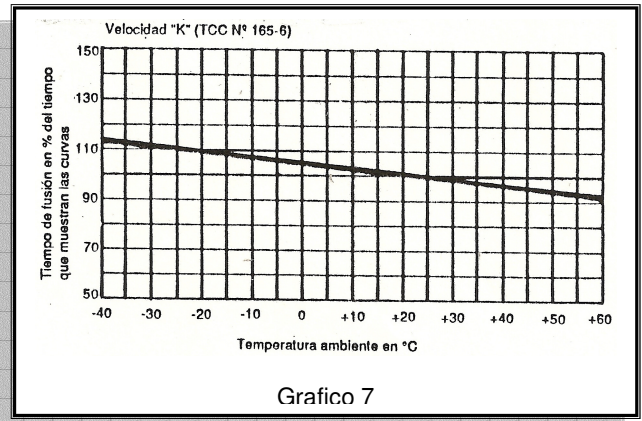
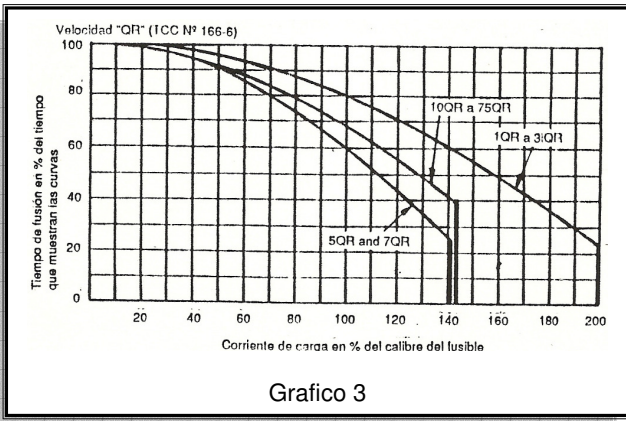
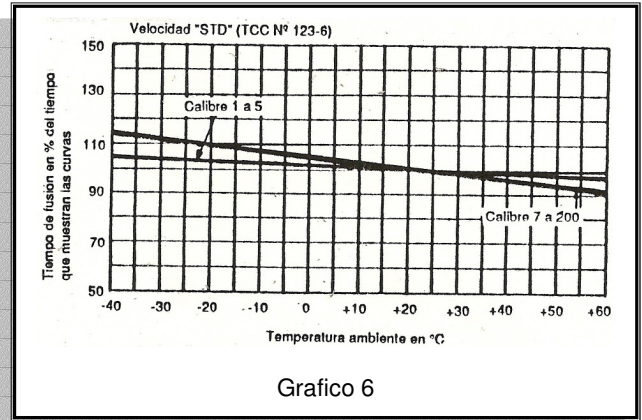
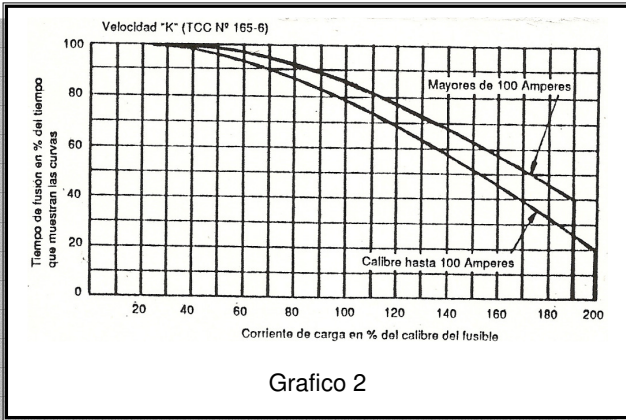
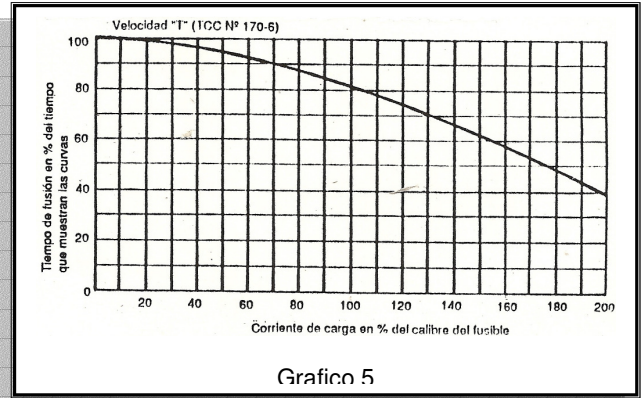
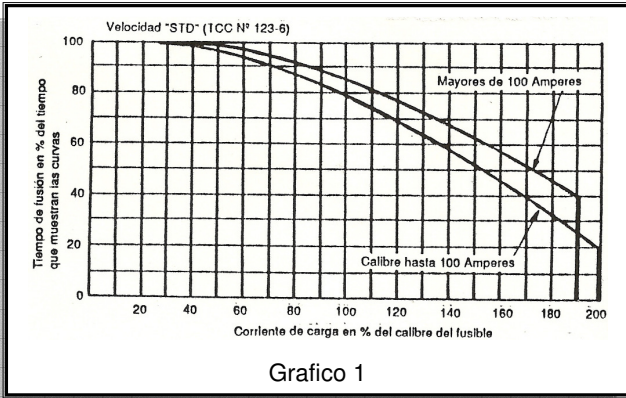
A fin de limitar el rango de elección de un elemento fusible destinado a la protección de un transformador consideramos conveniente publicar, en este mismo Capítulo los Cuadros 1 a 4 que enuncian la capacidad de los fusibles para resistir sobrecargas permanentes y de emergencia de 8 horas.

Es aconsejable tener presente los valores límites de la capacidad de un fusible, a fin de obtener un resultado confiable durante la vida útil del mismo y una protección eficaz y libre de actuaciones innecesarias (sneak – out).

Los elementos fusibles deben soportar que se los sobrecargue por el término de 8 horas (al nivel indicado en los Cuadros 1 a 4 –emergencia 8 horas), pero tan sólo



Cuadros 1 a 4 –emergencia 8 horas), pero tan sólo 10 veces a lo largo de su vida útil.



Velocidad "STD" (TCC 123-6)

Amperes	Capacidad de sobrecarga	
	Continua	Emergencia (8 hs)
1	1.3	1.3
2	2.6	2.6
3	3.9	3.9
5	6.5	6.5
7	10	11
10	14	16
15	20	22
20	27	30
25	33	37
30	39	43
40	47	53
50	57	65
65	80	95
80	99	110
100	115	130
125	190	200
150	225	240
200	280	320

Velocidad "QR" (TCC 166-6)

Amperes	Capacidad de sobrecarga	
	Continua	Emergencia (8 hs)
1 QR	1.3	1.3
2 QR	2.6	2.6
3 QR	3.9	3.9
5 QR	5	5
7 QR	7	7
10 QR	10	11
15 QR	15	17
20 QR	20	23
25 QR	28	31
30 QR	32	36
40 QR	41	46
50 QR	52	59
60 QR	66	76
75 QR	80	90
100 QR	105	120
125 QR	125	125
150 QR	150	150

Velocidad "T" (TCC 170-6)

Amperes	Capacidad de sobrecarga	
	Continua	Emergencia (8 hs)
6T	7.8	8.8
8T	10	12
10T	13	15
12T	16	18
15T	22	25
20T	27	31
25T	36	41
30T	42	49
40T	52	59
50T	63	72
65T	88	100
80T	105	115
100T	120	135
140T	210	225
200T	295	320

Velocidad "K" (TCC 165-6)

Amperes	Capacidad de sobrecarga	
	Continua	Emergencia (8 hs)
6K	9.6	11
8K	13	14
10K	15	17
12K	20	22
15K	23	26
20K	31	35
25K	37	42
30K	42	48
40K	51	58
50K	66	75
65K	84	100
80K	105	120
100K	115	130
140K	210	225
200K	300	320

Tabla de selección de elementos fusibles Positrol para protección de transformadores

Velocidad del fusible		Velocidad "STD" Curva TCC -123-6			Velocidad "K" Curva TCC - 165-6			Velocidad "T" Curva TCC -170-6			Velocidad "QR" Curva TCC - 166-6							
Potencia nominal del trazo	Cte. nomin. de trazo de 13,2 KV	Resist. del fusible a picos de cte. en % de la pot. del trazo			Resist. del fusible a picos de cte. en % de la pot. del trazo			Resist. del fusible a picos de cte. en % de la pot. del trazo			Resist. del fusible a picos de cte. en % de la pot. del trazo							
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C					
Mono fásico	Tri-fásico	IPT índice de protección del trazo			IPT índice de protección del trazo			IPT índice de protección del trazo			IPT índice de protección del trazo							
		Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ	Δ-λ					
		Calibre del fusible			Calibre del fusible			Calibre del fusible			Calibre del fusible							
		Calibre del fusible			Calibre del fusible			Calibre del fusible			Calibre del fusible							
5	16	180	185	100	410	1							180	185	100	400	410	1QR
10	-	185	155	100	400	2							185	155	100	400	405	2QR
16	-	185	175	100	395	3	445	445	195	750	850	6K	365	425	250	1050	400	3QR
25	1.09	222	186	120	480	2							222	186	120	480	486	2QR
40	1.75	207	196	112	442	3	509	498	218	840	-	6K	207	196	112	442	448	3QR
63	2.76	220	190	119	470	5	327	232	142	517	446	6K	262	303	178	607	702	6T
100	4.38	190	213	112	347	7	274	179	123	408	420	8K	162	157	112	336	375	6T
160	7	188	216	99	315	10	202	141	98	319	324	10K	141	136	94	258	286	8T
200	8.75	218	241	123	375	15	252	212	128	414	431	15K	168	196	117	341	375	12T
250	10.9	228	252	132	402	20	264	222	132	432	450	20K	186	204	126	342	366	15T
315	13.8	180	200	105	318	20	209	175	104	342	356	20K	147	161	100	270	290	15T
500	21.9	170	180	95	295	30	180	160	105	335	350	30K	150	165	105	270	300	25T
630	27.6	190	226	131	398	40	220	244	143	434	470	50K	172	208	119	363	422	40T
800	35	150	178	103	315	50	174	192	113	343	371	50K	136	164	94	286	333	40T
1000	43.8	175	170	105	325	65	185	180	110	355	375	65K	135	155	95	290	335	50T

Protección de bancos de capacitores.

La función del fusible del banco de capacitores es tanto proteger al sistema, como así darle una protección al banco mismo. Además, debe soportar la corriente de carga permanente y la de conexión durante la energización (Inrush).

Banco de Capacitores

Por lo general los bancos están compuestos por varias unidades de capacitores (de ahora en más UC) conectadas en paralelo en cada fase. A su vez estas unidades selladas están formadas por una serie de paquetes elementales (PE) conectados en serie – paralelo como muestra la figura 1.

La configuración externa tanto puede ser estrella con neutro a tierra, estrella sin neutro a tierra o triángulo.

La causa más común de la falla en una UC es la avería de un PE. A partir de allí ese grupo de paquetes en paralelo queda cortocircuitado, aumentando la tensión en cada uno del resto de los grupos en serie con el fallado, como así también la corriente en la UC.

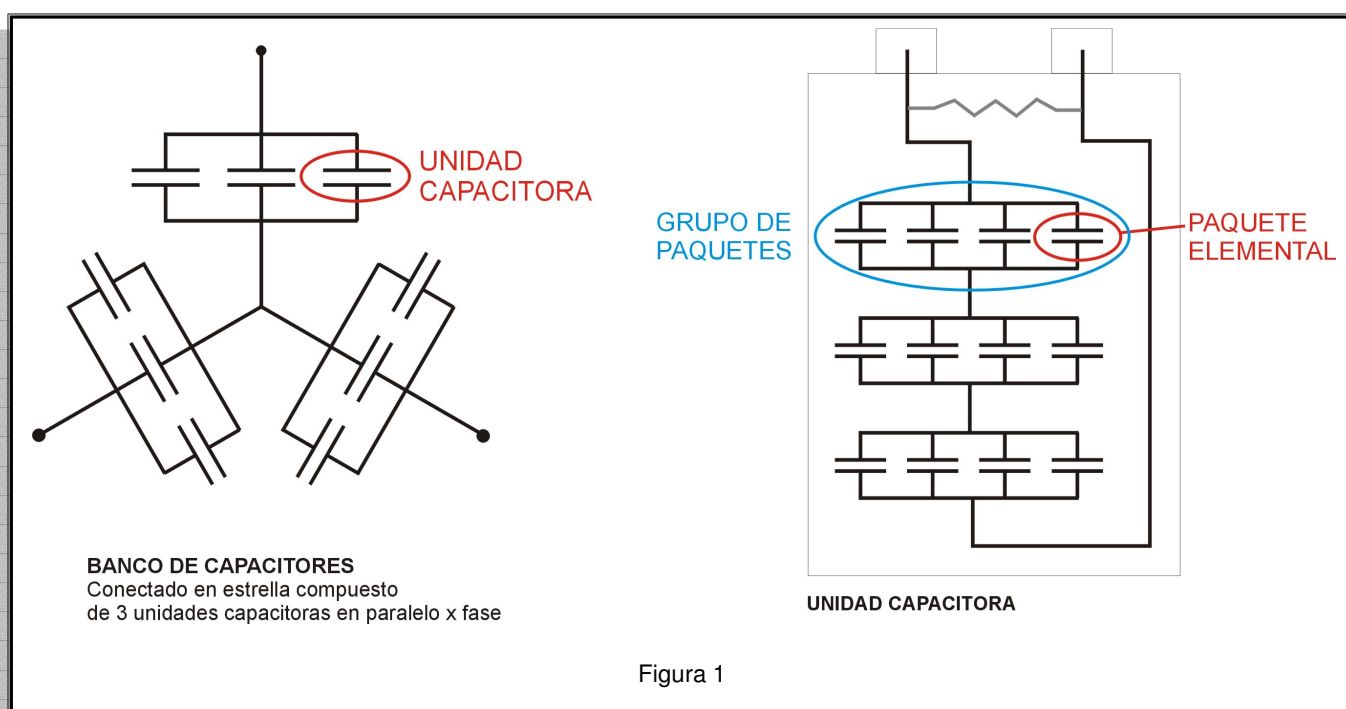
El incremento de tensión provocará seguramente la falla en otro grupo, causando un nuevo salto en el valor de tensión sobre cada uno de los grupos remanentes (sin falla) y un nuevo salto de corriente en la UC, repitiéndose el proceso hasta involucrar a todos los grupos en serie de esa UC, la que provocará una falla en el banco que depende de la conexión:

- Si es estrella con neutro a tierra: una falla fase a tierra.
- Si es triángulo: una falla bifásica
- Si es estrella sin neutro: la corriente en las fases sanas se incrementa en $3 I_n$.

Hecho que provocará un incremento de presión sobre estas fases de $1,73 U_f$, valor que al cabo de un pequeño instante es inadmisibles para los capacitores terminando en una falla entre fases.

También es probable que antes de extenderse totalmente la falla explote la caja de la UC debido a las sobrepresiones internas.

Por lo tanto, la protección óptima consiste en desenergi-



zar la fase fallada lo antes posible evitando así que se propague sobre los demás paquetes y sobre las demás fases (en el caso de conexión estrella).

El valor inicial de la corriente de falla en la UC debido a la avería de un PE depende del número de grupos en serie que contenga la UC. En 13,2 kV se utilizan 4, 5 ó 6 grupos en serie.

A mayor cantidad de grupos en serie, mayor será el incremento de la corriente de la UC ante una falla en un PE.

A su vez, el incremento de la corriente de fase del banco dependerá del número de UC conectadas en paralelo por fase. A mayor número, menor será el incremento.

Por ejemplo, el cuadro 1 nos muestra el incremento tanto de la corriente de la UC como el de fase para distintas cantidades de grupos en serie en cortocircuito y para bancos de distinta cantidad de grupos en serie.

Como se puede observar en el cuadro, la corriente de falla en la primera etapa (cuando solo involucra un PE), es una pequeña sobrecarga que va aumentando a medida que se van cortocircuitando los demás grupos en serie.

De todo esto se infiere que el incremento inicial de la corriente de fase ante una falla, si bien depende de la configuración de las UC y de la cantidad de estas por fase, es una moderada sobrecarga del orden del 10% al 20% de la corriente de fase del banco. Debido a lo cual el fusible debe tener una relación de fusión baja, de manera de producir un rápido despeje de la falla antes de que esta se propague afectando a la totalidad de los grupos en serie de la UC con peligro de explosión.

Exigencias al fusible

Las condiciones a cumplir son:

1. Soportar sin daño alguno la corriente de magnetización Inicial (Inrush) debido a la energización del banco.

La capacidad I² x t del elemento fusible para soportar picos de corriente de breve duración disminuye al aumentar la secuencia de los mismos, dependiendo del material utilizado y de su construcción.

Respecto de la Plata, cabe señalar que su capacidad para soportar picos de corriente a la frecuencia del Inrush es el 45% de la capacidad para 50 hz.; en cambio, la del Níquel Cromo o estaño es del 30%. A pesar de esto el valor de I² x t del Inrush está muy por debajo de la capacidad del fusible debido a la limitación de la impedancia de la línea.

Para calcular el valor I² x t del Inrush en líneas aéreas de distribución se puede usar la siguiente ecuación:

$$I^2.t = \frac{K E^2 (C3)^{1/2}}{L^{1/2}}$$

Siendo:

K = 3,7

E: valor pico de tensión de fase.

C: capacidad permanente del circuito oscilatorio.

L: Inductancia equivalente del circuito oscilatorio.

2. Resistir la corriente de carga

La corriente que debe soportar el fusible en forma perma-

	5 Grupos de paquetes en serie		5 Grupos de paquetes en serie		6 Grupos de paquetes en serie	
	Corriente de UC fallada	Corriente de fase fallada*	Corriente de UC fallada	Corriente de fase fallada*	Corriente de UC fallada	Corriente de fase fallada*
1	1.33	1.17	1.25	1.13	1.2	1.1
2	2.0	1.5	1.67	1.33	1.5	1.25
3	4.0	2.5	2.5	1.75	2.0	1.5
4	lfn	lfn	5.0	3.0	3.0	2.0
5	-	-	lfn	6.0	3.5	-
6	-	-	-	-	lfn	lfn

(*) en tanto por uno

Cuadro 1. Corriente de Falla en la UC y de fase durante la evolución de la falla involucrando diferentes números de Grupos en serie para un banco trifásico de 120 KVAR, 13.8 kV con 2 UC por fase, conectado en estrella con neutro a tierra.

nente es la nominal del capacitor, más un % debido a la tolerancia en la tensión, más un % debido a la presencia de armónicas, lo que hace un total de 1,77 In para las conexiones estrella sin neutro o triángulo.

3. Rapidez ante la falla

Para limitar la duración y propagación de la falla el fusible debe tener una baja relación entre la corriente de actuación mínima y la corriente de carga del banco.

Esto se debe al pequeño incremento (en la primera etapa de la falla) de la corriente de fase.

Debe actuar con rapidez y ante pequeñas sobrecargas.

4. Evitar la explosión de la unidad capacitadora

Como ya se mencionó existe la probabilidad de que ante una falla se dañe la caja contenedora del capacitor. Los fabricantes suministran curvas $t = f(I)$ de tiempos máximos de actuación sin daño a la caja.

Al comparar esta curva con la de tiempo total del fusible surge que se intersectan en un valor alto de corriente y pueden también intersectarse en un valor bajo dependiendo de la conexión, configuración y tipo de capacitor (papel, papel-film, film).

Analicemos por separado cada punto:

Para evitar la rotura en baja corriente, en el pasado, para bancos conectados en estrella sin neutro a tierra se recomendaba ajustar el fusible para que actuara a 3 In.

Pero estudios recientes indican que aún es este caso se pueden producir roturas en bajas corrientes. Por lo tanto hay que evaluar las curvas para cada capacitor como indica la fig. 2.

Téngase en cuenta que la curva de rotura del capacitor se refiere a la corriente de la UC, mientras que la curva de tiempo total corresponde a la corriente de fase.

La condición que se debe cumplir para que no haya rotura es que $T1 > T2$.

Siendo:

T1: tiempo de rotura para la corriente de falla en la UC (I_{uc}) para cada uno de los grupos en serie involucrados.

T2: Tiempo total de actuación del fusible ante la corriente de fase (I_f).

Figura 2

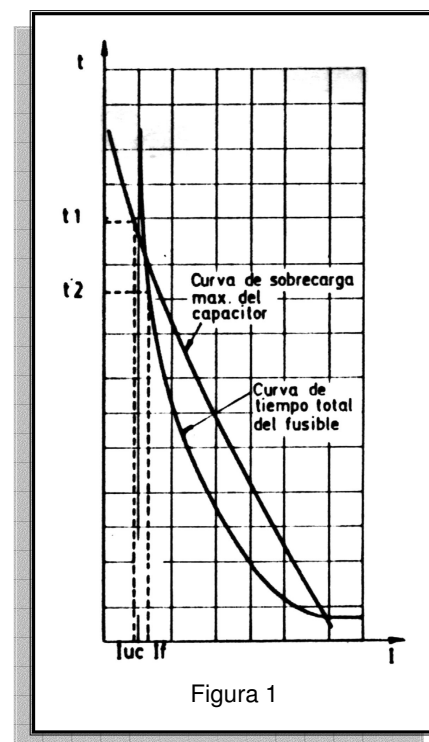


Figura 1

La rotura por corrientes elevadas se puede producir solamente en estrella con neutro a tierra o en triángulo, ya que en estrella sin neutro, cuando la totalidad de los grupos en serie se cortocircuitan, la corriente se limita a 3 veces la nominal.

Para evitar las roturas ante corrientes elevadas se debe cumplir que la corriente correspondiente al punto de intersección de las curvas en la zona de altas corrientes (es decir, la máxima corriente que puede interrumpir el fusible sin que explote la carcasa del capacitor) sea mayor que el nivel de cortocircuito que haya en el lugar. Si esta condición no se cumple se puede optar por las siguientes alternativas:

- a) Usar UC más grandes o construidas de otro material, tratando de elevar la corriente máxima de protección.
- b) Utilizar fusibles para cada UC
- c) Usar fusibles limitadores de corriente en serie con seccionadores fusibles (puesto que los limitadores difícilmente brinden por sí mismos protección en la zona de bajas corrientes).

En este caso hay que asegurarse que el nivel de cortocircuito sea suficiente como para que el fusible limitador actúe en el primer semiciclo, caso contrario no es efectivo.

5. Capacidad para resistir las corrientes transitorias desmagnetizantes

Si bien el fusible debe elegirse del menor calibre posible, para limitar los efectos de la falla en un paquete elemental, este puede actuar innecesariamente ante corrientes desmagnetizantes que se presentan en los siguientes casos:

- a) Cuando se energiza un banco de capacitores cercano.
- b) Cuando hay una perturbación cercana en el sistema, tal como una falla.

Estudiando cada caso por separado

a) En este caso los capacitores del banco conectado se descargan a través de sus fusibles sobre el banco que se esta energizando.

Mientras que la Inrush dependía de la impedancia de la línea entre la fuente y el banco, la outrush del banco ya energizado depende de la impedancia entre los dos bancos de capacitores. Es decir, depende de la capacidad equivalente entre los dos bancos y la de los propios capacitores y del valor instantáneo de la tensión en el momento que se conecta el banco. Si se conoce la capacidad del I^2t para ondas de altas frecuencia, como así también la capacidad equivalente del circuito y la tensión máxima de fase, se puede obtener la inductancia equivalente mínima entre los dos bancos para evitar la operación del fusible ante la outrush mediante la sig. expresión.

$$L = \frac{13,2 \times E^4 \times C^3}{(I^2 \times t)^2}$$

Para un determinado conductor, conociendo la inductancia por kilómetro se puede calcular la distancia mínima entre bancos de capacitores para evitar la operación del fusible. Mientras que se respete esa distancia mínima la corriente desmagnetizante debido a la energización de otro banco no es problema para el fusible elegido.

b) Perturbación: cuando ocurre una falla en el sistema cerca del banco, este se descarga a través de sus fusibles sobre la falla.

El $I^2 \times t$ de la corriente desmagnetizante del banco depende: de la impedancia equivalente del circuito entre el banco y la falla, del tipo de falla, y del valor instantáneo de la tensión en el momento en el que ocurre la falla.

La distancia mínima requerida entre banco y falla se puede calcular con la misma fórmula, pero usando tensión de línea y teniendo en cuenta que la distancia así calculada es de ida y vuelta a la falla, por lo tanto se debe considerar la mitad.

Dado que es imposible predecir el momento, frecuencia y lugar de una falla se debe aceptar una cierta probabilidad de actuación del fusible debido a la cercanía de la falla, pero esto sucede muy infrecuentemente.

Tablas de selección

A título orientativo, a continuación publicamos las Tablas de Selección de elementos Fusibles Positrol para protección de bancos de Capacitores, de las marcas mas habitualmente utilizadas en los Estados Unidos. Para capacitores de otro origen, el usuario deberá solicitar al fabricante de la marca que utiliza las correspondientes curvas, a efectos de determinar con exactitud el calibre del fusible destinado a protegerlo. Las Tablas que publicamos suministran la corriente máxima de protección para cada caso, respetando todas las consideraciones formuladas precedentemente.

Como usar las Tablas de Selección del presente capítulo

Conexión estrella con neutro a tierra y triángulo:

- 1) Localizar la Tabla de acuerdo a la conexión (Tabla I ó II).
- 2) Entrar a la tabla en la columna correspondiente al fabricante del banco y material utilizado en el mismo.
- 3) Ubicar en esa columna el casillero correspondiente a la potencia y configuración del banco.
- 4) Seleccionar entre las corrientes máximas de falla de ese casillero aquel valor que fuera mayor que el nivel de cortocircuito en el lugar.

- 5) De la columna de selección de los fusibles se obtiene el calibre adecuado al propósito.

Conexión estrella sin neutro a tierra

- 1) Entrar a la Tabla III y, de acuerdo a la potencia del banco elegir entre las diferentes opciones el calibre y velocidad que más convenga a la coordinación con el resto de sistema.
- 2) Para potencias mayores a las tabuladas, consultar a FAMI FAMI SA.

Tabla III – Banco de Capacitores conectado en estrella en 13.2 kV

Potencia del banco KVA Trifásico	Calibre de los Elementos Fusibles Positrol
75	5 STD
	6K
	6T
150	7 STD
	6K
	8T
225	10 STD
	8K
	10T
300	15 STD
	12K
	15T
375	20 STD
	15K
	15T
450	20 STD
	20K
	20T
600	25 STD
	25K
	25T

Tabla I.- Bancos de capacitores conectados en estrella con neutro a tierra en 13,2 Kv.

Datos del banco de capacitores			Corriente máxima de falla							Norma ANSI C55.1.1968	Calibre de los Elementos Fusibles Positrol A		
Potencia Kvar Trifásicos	Configuración		General Electric		Mc Graw Edison	Sangamo		Westinghouse					
	Potencia de la unidad capacitadora KVAR	Número de UC paralelo por fase	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción				
75	25†	1								2300 2400 2400 2400	5N 5 Std. 6K 6T		
			150	25†	2						2300 2400 2400 2350	10N 7 Std. 6K 8T	
50	1	3120 3150 3200 3200				3200 3200 3200 3250	‡ ‡ ‡ ‡	2950 3000 3000 3050	3100 3100 3150 3200	2150 2300 2250 2200	2050 2150 2150 2050	2300 2400 2400 2350	10N 7 Std. 6K 8T
		225	25†	3							2300 2300 2400 2200	10N 10 Std. 8K 12T	
300	25†				4							2300 2200 2400 1950	20N 15 Std. 12K 15T
		50	2	3120 3100 3100 2900		3200 3200 3200 2950	‡ ‡ ‡ ‡	2950 2950 3000 2750	3100 3100 3150 2950	2150 2150 2250 1850	2050 2000 2100 1700	2300 2200 2400 1950	20N 15 Std. 12K 15T
				100		1	4050 4100 4100 3900	4150 4100 4100 4000	4100 4100 4150 4050	5100 5000 5000 5000	5000 5000 5000 5000	3800 3850 3800 3550	3700 3700 3800 3500
375	25†	5									2300 2100 2400 1950	20N 20 Std. 15K 15T	
			450	25†	6							2300 2100 2000 100	20N 20 Std. 20K 20T
50	3	3120 3000 3000 2700				3200 3100 3100 2750	‡ ‡ ‡ ‡	2950 2900 2900 2550	3100 3050 3050 2800	2150 2050 2150 1400	2050 1900 1900 1300	2300 2100 2200 100	20N 20 Std. 20K 20T
		150				1	4750 4750 4700 4550	4750 4750 4700 4600	8100 8000 8100 8100	5100 5100 5100 4900	5300 5200 5200 5100	6500 6500 6500 6500	6000 6000 6000 6000
600	50		4	3000 2750 2950 2300	3050 2800 3100 2350		‡ ‡ ‡ ‡	2850 2600 2800 2100	3000 2800 3000 2500	2000 1600 1950 700	1900 1400 1750 630	2150 1600 2000 100	30N 30 Std. 25K 25T
		100		2	3990 3800 3950 3600	4050 3900 4100 3600	4050 3900 4050 3700	4950 4850 5000 4700	5000 5000 5000 5000	3650 3400 3800 2850	3600 3200 3550 2550	4800 4550 4800 4400	30N 30 Std. 25K 25T
					200	1	5300 5200 5150 5000	5250 5200 5400 5100	8100 7900 8100 8000	5000 4850 5000 4700	5400 5200 5400 5100	6500 6500 6500 6500	6000 6000 6000 6000
750	50	5	2890 2350 2400 440	2930 2450 2650 540			‡ ‡ ‡ ‡	2700® 2100® 2200® —	2900 2500 2550 940	1800 700 740 —	1700 600 670 130	1910 — — —	45N 40 Std. 40K 40T
			900	50	6	2710 1600 1600 440	2750 1700 1750 540	‡ ‡ ‡ ‡	2550® — — —	2800 2000 2050 940	1620 370 — —	1550 250 — 130	1690 — — —
100	3	3780 3300 3300 2300				3820 3300 3400 2250	3900 3500 3600 2750	4850 4450 4450® 3700	5000 4700 4800 4050	3250 770 950® 300	3200 700 900 230	4600 4100 4100® 3250®	50N 50 Std. 50K 40T

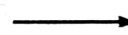


Tabla I.- Bancos de capacitores conectados en estrella con neutro a tierra en 13,2 Kv. (Continuación)

Datos del banco de capacitores			Corriente máxima de falla								Norma ANSI C55.1.1968	Calibre de los Elementos Fusibles Positrol A
Potencia Kvar Trifásicos	Configuración		General Electric		Mc Graw Edison	Sangamo		Westinghouse				
	Potencia de la unidad capacitadora KVAR	Número de UC paralelo por fase	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción			
900	150	2	4500 4150 4200 3450	4500 4150 4150 3500	8000 7800 7900 7600	4800 4350 4350 [⊗] 3600	5000 4550 4600 3800	6500 6500 6500 6500	6000 6000 6000 6000	§ § § §	50N 50 Std. 50K 40T	
	300	1	6200 5900 6000 5400	5750 5500 5500 5100	8000 7800 7900 7600	6000 6000 6000 6200	6000 6000 6000 6000	6500 6500 6500 6500	5200 5200 5200 5200	§ § § §	50N 50 Std. 50K 40T	
1200	100	4	3520 2800 2750 —	3600 2700 2750 440	3700 3100 3100 440	4600 [⊗] 4000 [⊗] 4050 [⊗] —	4900 4200 4350 460	2750 [⊗] — — —	2500 — — —	4350 [⊗] 3600 [⊗] 3600 [⊗] —	75N 65 Std. 65K 65T	
	200	2	5000 4550 4600 2350	5000 4600 4600 2200	8000 7800 7800 6600	4650 [⊗] 4000 [⊗] 4000 [⊗] —	5050 4500 4600 1550	6500 6500 6500 6500	6000 6000 6000 6000	§ § § §	75N 65 Std. 65K 65T	
1350	150	3	4300 3700 3800 520	4250 3700 3700 740	8000 7600 7800 6600	4550 3800 [⊗] 3800 [⊗] —	4800 4050 4150 800	6500 6500 6500 330 [⊗]	6000 6000 6000 340	§ § § §	75N 65 Std. 65K 65T	
1500	100	5	3300 1300 — —	3300 1350 1350 440	3500 2200 2200 440	4450 [⊗] 3050 [⊗] 3100 [⊗] —	4750 3200 3400 460	— — — —	— — — —	4100 [⊗] 2450 [⊗] 2450 [⊗] —	85N 80 Std. 80K 65T	
1800	100	6	2490 —	2450 1350	2900 2200	3950 [⊗] 3100 [⊗]	4200 3400	— —	— —	3500 [⊗] 2450 [⊗]	95N 80K	
	150	4	3650 — 2900 —	3600 800 [⊗] 2850 —	7800 6800 7500 4000	3650 [⊗] — 2600 [⊗] —	4000 860 [⊗] 3000 —	6500 [⊗] — 6500 [⊗] —	6000 — 5300 —	§ § § §	95N 100 Std. 80K 100T	
	200	3	4500 2500 4100 —	4450 2600 4100 —	7800 6800 7500 4000	3900 [⊗] — 3050 [⊗] —	4500 1850 4000 —	6500 6500 6500 6500 [⊗]	6000 6000 6000 6000	§ § § §	95N 100 Std. 80K 100T	
	300	2	5500 3750 5200 —	5100 3600 4750 740	7800 6800 7500 4000	6000 [⊗] 6000 [⊗] 6000 [⊗] —	6000 6000 6000 1900 [⊗]	6500 6500 6500 6500 [⊗]	5200 5200 5200 5200	§ § § §	95N 100 Std. 80K 100T	
2250	150	5	— — —	— — —	7400 5600 4200	— — —	— — —	6500 [⊗] — —	5000 — —	§ § §	100N 125 Std. 140K	
2400	200	4	— — —	— — —	5100 5600 4200	— — —	— — —	6500 [⊗] 6500 [⊗] —	6000 6000 —	§ § §	125N 125 Std. 140K	
2700	150	6	— — —	— — —	5100 5600 4200	— — —	— — —	— — —	— — —	§ § §	125N 125 Std. 140K	
	300	3	— — —	— — —	5100 5600 4200 [⊗]	5400 [⊗] 6000 [⊗] —	5500 [⊗] — —	6500 [⊗] 6500 [⊗] 6500 [⊗]	5200 5200 5200	§ § §	125N 125 Std. 140K	
3000	200	5	— — —	— — —	5100 5600 4200	— — —	— — —	6500 [⊗] 6500 [⊗] —	6000 6000 —	§ § §	125N 125 Std. 140K	
3600	200	6	— — —	— — —	4200 — —	— — —	— — —	— — —	— — —	§ § §	140K	
	300	4	— — —	— — —	— — 4200	— — —	— — —	6500 [⊗] 6500 [⊗] 6500 [⊗]	5200 5200 5200	§ § §	150N 150 Std. 140K	

§ Las Normas ANSI C-55 1/1968 se refieren a UC menores de 150 KVAR

† El fabricante no suministra la Curva de máxima corriente de la UC

‡ Mc Graw-Edison no fabrica UC de 50 KVAR

⊗ En estos casos es posible que el fusible no proteja contra rotura de la caja contenedora de la UC en falla por baja corriente

Tabla II.- Bancos de capacitores conectados en triángulo en 13,2 Kv.

Datos del banco de capacitores			Corriente máxima de falla							Norma ANSI C55.1.1968	Calibre de los Elementos Fusibles Positrol A
Potencia Kvar Trifásicos	Configuración		General Electric		Mc Graw Edison	Sangamo		Westinghouse			
	Potencia de la unidad capacitadora KVAR	Número de UC paralelo por fase	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción		
75	25†	1								2300 2400 2400 2400	5N 5 Std. 6K 6T
150	25†	2								2300 2400 2400 2350	10N 7 Std. 6K 8T
	50	1	3120 3150 3200 3200	3200 3200 3200 3250	‡ ‡ ‡ ‡	2950 3000 3000 3050	3100 3100 3150 3200	2150 2300 2250 2200	2050 2150 2150 2050	2300 2400 2400 2350	10N 7 Std. 6K 8T
225	25†	3								2300 2300 2400 2350	10N 10 Std. 8K 10T
300	25†	4								2300 2200 2400 1950	15N 15 Std. 12K 15T
	50	2	3120 3100 3100 2900	3200 3200 3200 2950	‡ ‡ ‡ ‡	2950 2950 3000 2750	3100 3100 3150 2950	2150 2150 2250 1850	2050 2000 2100 1700	2300 2200 2400 1950	15N 15 Std. 12K 15T
			100	1	4050 4100 4100 3900	4150 4100 4100 4000	2950 2900 3000 2750	5100 5000 5000 5000	5000 5000 5000 5000	3800 3850 3800 3550	3700 3700 3800 3500
375	25†	5								2300 2100 2400 1950	20N 20 Std. 15K 15T
450	25†	6								2300 2100 2200 1400	20N 20 Std. 20K 20T
	50	3	3120 3000 3000 2700	3200 3100 3100 2750	‡ ‡ ‡ ‡	2950 2900 2900 2550	3100 3050 3050 2800	2150 2050 2100 1400	2050 1900 1900 1300	2300 2100 2200 1400	20N 20 Std. 20K 20T
			150	1	4750 4750 4700 4550	4700 4750 4700 4600	5900 5900 6000 5800	5100 5100 5100 4900	5300 5200 5200 5100	6500 6500 6500 6500	6000 6000 6000 6000
600	50	4	3000 2900 2950 2300	3050 3000 3100 2350	‡ ‡ ‡ ‡	2850 2750 2800 2100	3000 2900 3000 2500	2000 1850 1950 700	1900 1700 1750 630	2150 1900 2000 100	30N 25 Std. 25K 25T
			100	2	3990 3900 3950 3600	4050 4000 4100 3600	2850 2750 2850 2300	4950 4900 5000 4700	5000 5000 5000 5000	3650 3650 3800 2850	3600 3400 3550 2550
	200	1	5300 5300 5150 5000	5250 5300 5400 5100	5850 5900 6000 5700	5000 4950 5000 4700	5400 5300 5400 5100	6500 6500 6500 6500	6000 6000 6000 6000	‡ ‡ ‡ ‡	30N 25 Std. 25K 25T
750	50	5	2890 2350 2800 1500	2930 2450 2950 1500	‡ ‡ ‡ ‡	2700 2100 2650 —	2900 2500 2850 1950	1800 700 1550 340	1700 600 1400 275	1910 — 1600 —	45N 40 Std. 30K 30T
900	50	6	2710 1600 2400 440	2750 1700 2650 540	‡ ‡ ‡ ‡	2550 — 2200 —	2800 2000 2550 940	1620 370 740 —	1550 250 670 130	1690 — — —	50N 50 Std. 40K 40T
			100	3	3780 3300 3800 2300	3820 3300 3750 2250	2600 1850 2400 620	4850 4450 4750 3700	5000 4700 5000 4050	3250 770 3000 300	3200 700 2750 230

Tabla II.- Bancos de capacitores conectados en triángulo en 13,2 Kv. (Continuación)

Datos del banco de capacitores			Corriente máxima de falla								Norma ANSI C55.1.1968	Calibre de los Elementos Fusibles Positrol A						
Potencia Kvar Trifásicos	Configuración		General Electric		Mc Graw Edison	Sangamo		Westinghouse										
	Potencia de la unidad capacitadora KVAR	Número de UC paralelo por fase	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción	Paper-Film Construcción	All-Film Construcción									
900	150	2	4500	4500	5800	4800	5000	6500	6000	§	50N							
			4150	4150	5650	4350⊕	4550	6500	6000	§	50 Std.							
			4500	4450	5800	4700	4950	6500	6000	§	40K							
			3450	3500	5300	3600	3800	6500	6000	§	40T							
	300	1	6200	5750	5800	6000	6000	6500	5200	§	50N							
			5900	5500	5650	6000	6000	6500	5200	§	50 Std.							
6200	5800	5800	6000	6000	6000	6000	6500	5200	§	40K								
											5400	5100	5300	6200	6000	6500	5200	§
1200	100	4	3650	3690	2450	4750	5000	3000	2900	4450	65N							
			2800	2700	940	4000	1175	—	—	3600	65 Std.							
			3300	3400	1900	4450	4800	950	900	4150⊕	50K							
			—	440	—	—	460	—	—	—	—	65T						
	200	2	5100	5100	5800	4700	5100	6500	6000	§	65N							
			4550	4600	5400	4000⊕	4500	6500	6000	§	65 Std.							
4950	5000	5700	4450	4950	6500	6000	§	50K										
2350	2200	4050	—	1550	6500	6000	§	65T										
1350	150	3	4300	4250	5700	4550⊕	4800	6500	6000	§	75N							
			3700	3700	5400	3800⊕	4050	6500	6000	§	65 Std.							
			3800	3700	5500	3800⊕	4150	6500	6000	§	65K							
			520	740	4050	—	800	330⊕	340	§	65T							
	3300	2700	1800	4450	4750	4200	—	—	—	4100⊕	85N							
												2800	2700	940	4000	4200	—	—
2750	2750	1050	4050	4350	—	—	—	—	3600⊕	65K								
—	440	—	—	460	—	—	—	—	—	65T								
1800	100	6	2490	2450	—	3950	4200	—	—	3500⊕	95N							
			1300	1350	—	3050	3200	—	—	2450⊕	80 Std.							
			—	1350	—	3100	3400	—	—	2550⊕	80K							
			2350	—	—	—	—	—	—	—	—	80T						
	150	4	3650	3600	5400	3650⊕	4000	6500⊕	6000	§	95N							
			2850	2800	5000	2600⊕	2900	6500	5200	§	80 Std.							
			2900	2850	5200	2600⊕	3000	6500⊕	5300	§	80K							
			—	350	1700	—	—	—	200	§	80T							
	200	3	4500	4450	5400	3900⊕	4500	6500⊕	6000	§	95N							
			4000	4000	5000	3050⊕	3800	6500	6000	§	80 Std.							
			4050	4100	5200	3050⊕	4000	6500	6000	§	80K							
			450	880	1700	—	750	6500⊕	6000	§	80T							
5500	5100	5400	6000⊕	6000	6000	6500	5200	§	95N									
										5000	4700	5000	6000	6000	6500	5200	§	80 Std.
										5200	4750	5200	6000	6000	6500	5200	§	80K
										1650	1500	1700	6200⊕	6000	6500	5200	§	80T
2250	150	5	—	—	5000	—	—	6500⊕	5000	§	100N							
2400	200	4	3880	3850	5000	—	3700	6500⊕	6000	§	100N							
			—	—	—	—	—	6500⊕	6000	§	125 Std.							
2700	300	3	—	—	—	5400⊕	5500⊕	6500⊕	5200	§	125N							
			—	—	—	6000⊕	—	6500⊕	5200	§	125 Std.							
			—	—	—	—	—	6500⊕	5200	§	140K							
3000	200	5	—	—	—	—	—	6500⊕	6000	§	125N							
			—	—	—	—	—	6500⊕	6000	§	125 Std.							
3600	300	4	—	—	—	—	—	6500⊕	5200	§	150N							
			—	—	—	—	—	6500⊕	5200	§	150 Std.							
			—	—	—	—	—	6500⊕	5200	§	140K							

§ Las Normas ANSI C-55 1/1968 se refieren a UC menores de 150 KVAR

† El fabricante no suministra la Curva de máxima corriente de la UC

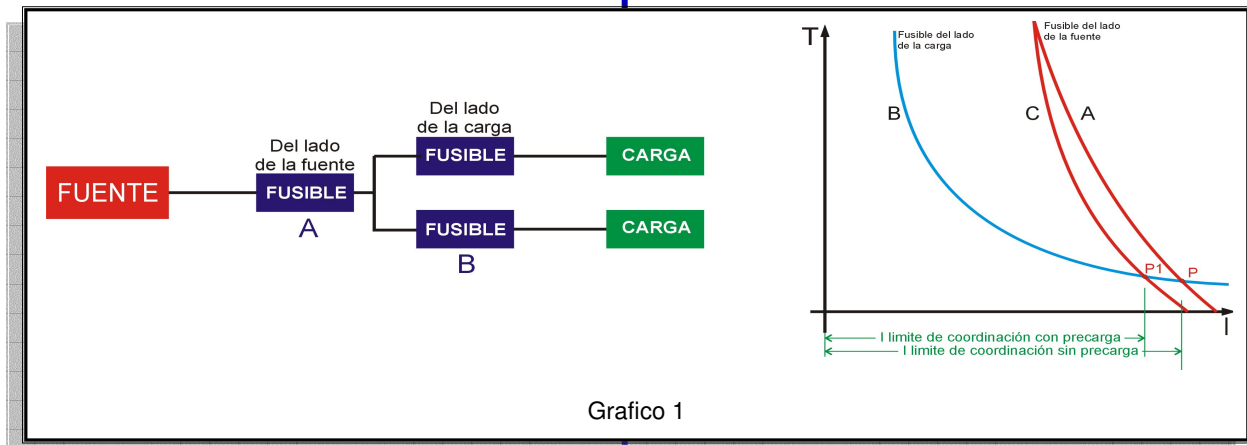
‡ Mc Graw-Edison no fabrica UC de 50 KVAR

⊕ En estos casos es posible que el fusible no proteja contra rotura de la caja contenedora de la UC en falla por baja corriente

Coordinación entre Elementos Fusibles Positrol.

Para realizar un correcto escalonamiento entre elementos fusibles se debe determinar hasta que valor máximo de corriente de fallas actuarán en forma selectiva. Dicho valor se obtiene de la inter-

acción de las curvas de tiempo de fusión de los fusibles precargados como para fusibles sin carga, facilitando la tarea del proyectista al liberarlo del trabajo de las curvas.



sección de la curva de tiempo mínimo de fusión del fusible del lado de la fuente con la curva de tiempo total de despeje del fusible del lado de la carga y toma el nombre de "corriente límite de coordinación".

En el Grafico 1, el tiempo mínimo de fusión del fusible del lado de la fuente se halla representado por la curva "A" y el tiempo total de despeje de falla del fusible del lado de la carga por la curva "B". El punto "P" de intersección de ambas curvas nos indica la corriente límite de coordinación. En la práctica, cada uno de estos fusibles tendrá su grado de precarga, por lo tanto sus curvas deberán ser corregidas según los Factores de Corrección por Precarga publicado en el Capítulo II (gráficos 1, 2, 3 y 4).

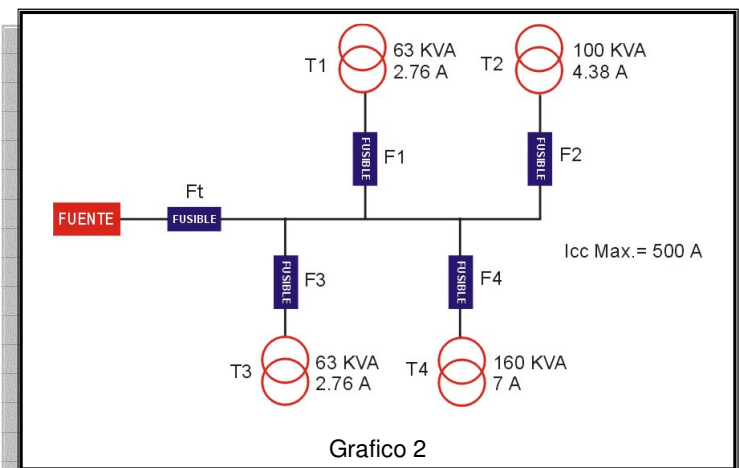
La condición de mayor exigencia sería aquella en la que el fusible del lado de la fuente se halle a plena carga, mientras el fusible del lado de la carga se halla sin carga. En este caso obtendríamos la menor corriente de coordinación. Introduciendo los Factores de Corrección por Precarga en la curva "A" del fusible lado de la fuente, obtendremos la curva corregida "C" y un nuevo punto de intersección "P1". Las Tablas de Coordinación entre Elementos Fusibles Positrol que se publican en este Capítulo indican las corrientes límite de coordinación, tanto para

Ejemplo de aplicación

En el Sistema representado en el grafico 2, determinar el calibre de los elementos fusibles Positrol que se indican: $F_1 = 6K / F_2 = 8K / F_3 = 6K / F_4 = 10K$

De la Tabla de Selección de Elementos Fusibles Positrol para Protección de Transformadores publicada en el Capítulo II, se obtiene:

el elemento fusible del Seccionador Autodesconector F_1 de la red troncal debe tener un calibre tal que:



1) Soporte la corriente total del Sistema, es decir, la sumatoria de las cargas alimentadas, afectada por el Factor de Simultaneidad. En nuestro caso, suponiendo un factor de simultaneidad igual a 1, se calcula

$$I_{ft} \geq K (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

$$I_{ft} \geq 1 (2,76 + 4,38 + 2,76 + 7,00)$$

$$I_{ft} \geq 16,9 \text{ A}$$

Siendo:

I_{ft} : Calibre del fusible del seccionador F_t

K: Factor de simultaneidad

I_1 a I_4 : Corriente de carga de cada uno de los transformadores.

2) Ante cualquier falla en uno de los transformadores debe actuar primero el fusible del seccionador que lo protege, por lo tanto debe elegirse el calibre de F_t de manera que coordine con el mayor de los fusibles de los transformadores (F_4) y para una corriente límite de coordinación mayor que el nivel de cortocircuito en el lugar.

De la Tabla de Coordinación entre Elementos Fusibles Positrol Nro. 4 se elige el fusible para el seccionador F_t : 20 K que, en coordinación con F_4 : 10K tiene una corriente límite de coordinación de 560 A; cumpliéndose así las dos condiciones mencionadas.

$$20 > 16,9 \quad \text{y} \quad 560 > 500$$

Resumiendo, para que exista una coordinación es necesario que: para todo el rango de coordinación el tiempo total del fusible F_4 sea menor que el tiempo mínimo de fusión del fusible F_t de la red troncal.

Si esta condición no se cumpliera, la falla en uno de los transformadores haría actuar al fusible F_t , sacando de servicio innecesariamente al resto de los transformadores sin falla.

Las tablas de Coordinación entre Elementos Fusibles Positrol publicadas en este capítulo aseguran el cumplimiento de esta condición, siempre que el nivel de cortocircuito del lugar sea menor que el valor de corriente límite de coordinación en ellas especificado.



TABLAS DE COORDINACIÓN ENTRE ELEMENTOS FUSIBLES POSITROL

Tabla 1 – Velocidad STD – Fusible del lado de la fuente sin precarga

Corriente Límite de Coordinación en Amperes												
Calibre lado fuente / Calibre Lado carga	5	7	10	15	20	25	30	40	50	65	80	100
1	130	260	400	650	830	980	1250	1700	2100	2600	3300	4250
2	110	245	400	650	830	980	1250	1700	2100	2600	3300	4250
3	80	230	390	650	830	980	1250	1700	2100	2600	3300	4250
5		170	380	650	830	980	1250	1700	2100	2600	3300	4250
7			280	590	790	960	1200	1700	2100	2600	3300	4250
10				470	100	900	1150	1650	2050	2550	3300	4250
15					400	680	1000	1550	2000	2500	3300	4250
20						370	840	1450	1900	2400	3150	4200
25							550	1300	1800	2300	3100	4200
30								1000	1600	2200	3000	4000
40									1000	1800	2750	3800
50										1050	2300	3600
65											1550	3200
80												2200
100												

Tabla 2 – Velocidad STD – Fusible del lado de la fuente con precarga

Corriente Límite de Coordinación en Amperes												
Calibre lado fuente / Calibre Lado carga	5	7	10	15	20	25	30	40	50	65	80	100
1	110	220	350	560	720	870	1080	1480	1850	2250	2900	3800
2	87	210	350	560	720	870	1080	1480	1850	2250	2900	3800
3	52	190	340	560	720	870	1080	1480	1850	2250	2900	3800
5		95	320	560	720	870	1080	1480	1850	2250	2900	3800
7			180	490	680	830	1050	1480	1850	2250	2900	3800
10				330	570	760	1000	1400	1800	2200	2900	3800
15						490	820	1300	1750	2150	2850	3800
20							570	1200	1650	2050	2700	3650
25								100	1500	1950	2650	3600
30									1250	1800	2500	3500
40										1250	2250	3300
50											1650	3000
65												2450
80												
100												

Tabla 3 – Velocidad K – Fusible del lado de fuente sin precarga

Corriente Límite de Coordinación en Amperes													
Calibre lado fuente / Calibre Lado carga	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	65	80	100
1	140	225	320	435	570	760	980	1250	1650	2200	2650	3400	4300
2	120	205	305	430	570	760	980	1250	1650	2200	2650	3400	4300
3	100	195	300	420	560	760	980	1250	1650	2200	2650	3400	4300
5		105	270	410	550	760	980	1250	1650	2200	2650	3400	4300
6		95	270	410	550	760	980	1250	1650	2200	2650	3400	4300
8			140	350	510	730	940	1200	1600	2200	2650	3400	4300
10				250	450	690	920	1200	1600	2200	2650	3400	4300
12					280	600	850	1150	1550	2150	2650	3400	4300
15						425	750	1050	1500	2100	2500	3300	4200
20							480	880	1400	2000	2450	3200	4100
25								600	1250	1900	2400	3100	4100
30									900	1700	2250	3000	4000
40										1150	1900	2900	3800
50											1200	2400	3600
65												1750	3100
80													2300
100													

Tabla 4 – Velocidad K – Fusible del lado de la fuente con precarga

Corriente Límite de Coordinación en Amperes													
Calibre lado fuente / Calibre Lado carga	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	65	80	100
1	125	200	270	375	500	660	830	1100	1450	1850	2350	2900	3800
2	105	185	255	365	490	650	830	1100	1450	1850	2350	2900	3800
3	75	165	245	355	490	650	830	1100	1450	1850	2350	2900	3800
5			190	340	475	650	830	1100	1450	1850	2350	2900	3800
6			190	340	475	650	830	1100	1450	1850	2350	2900	3800
8				260	430	600	800	1050		1800	2300	2900	3800
10					350	560	760	1020	1400	1800	2300	2900	3800
12						450	680	970	1350	1750	2300	2900	3800
15							530	900	1300	1700	2200	2800	3700
20								680	1150	1600	2150	2700	3700
25									950	1450	2050	2650	3600
30										1200	1850	2500	3500
40											1400	2250	3300
50												1700	2900
65													2400
80													
100													

↑ [volver al índice](#)

Coordinación con dispositivos de reenganche automático

El presente es un estudio destinado al cálculo del calibre de elementos fusibles Positrol para media tensión, en función de los tiempos de respuesta de los reconectadores automáticos (recloser), a efectos de coordinar un sistema de Distribución Eléctrica convencional.

El método es válido para equipos reconectadores de variada procedencia y distintas características; se ofrecen fórmulas de cálculo y ejemplos.

Con respecto a los elementos fusibles cabe señalar que nos hemos basado en el tipo de baja tolerancia y alta precisión en las respuestas, tal como el Positrol fabricado en la Argentina por FAMI FAMI S.A. bajo licencia exclusiva de S&C Electric Company de EEUU, que no se degrada, ofreciendo características funcionales invariables garantizadas.

Para llevar a cabo este cálculo, es necesario contar con las curvas tiempo / corriente publicada, a saber: Tiempo mínimo de fusión (MMT) y Tiempo total de despeje (TCT), las que podrán solicitar a nuestro Departamento Técnico sin cargo.

Consideraciones preliminares

Comenzaremos por considerar el elemento fusible colocado en el lado de la carga del dispositivo de reenganche (aguas abajo) y destinado a resistir, sin fundirse, una o dos operaciones rápidas de este y fundirse antes de la apertura definitiva.

Supongamos un estado de carga del 50%. Para el máximo valor de intensidad de falla para el que se requiere aplicación, el tiempo mínimo de fusión del elemento fusible debe igualar o exceder el tiempo total de interrupción de la operación rápida del automático, multiplicado por el factor de corrección apropiado (ver tabla 1), teniendo en cuenta la tolerancia de error en la velocidad de actuación.

Para la intensidad inferior de disparo del dispositivo de reenganche, o para la intensidad mínima de la gama en que se desea coordinar, el tiempo total de interrupción del elemento fusible no debe exceder el tiempo total de interrupción de la operación retardada del automático, teniendo en cuenta la tolerancia del error en la velocidad de actuación del mismo.

Como segunda opción consideraremos el elemento fusible Positrol colocado en el lado de alimentación del dispositivo de reenganche (aguas arriba), destinándolo a resistir todas las operaciones del mismo hasta su bloqueo, sin fundirse.

Se supone un estado de carga del 50%.

Para el valor máximo de intensidad en el que se desea coordinar, el tiempo mínimo del fusible debe igualar o exceder el tiempo total de interrupción de la operación retardada del automático, multiplicado por el factor de corrección (ver Tabla 2), teniendo en cuenta el error, por tolerancia, en la operación de éste.

Aplicación de los factores de precalentamiento

Cuando un seccionador fusible de distribución se coordina con un dispositivo de reenganche, el elemento fusible puede que tenga que resistir una cuantas operaciones sucesivas, sujeto a calentamientos y enfriamientos sin fundirse. Para obtener una coordinación segura y precisa es necesario considerar lo siguiente:

- a) tolerancia de error en la operación (ver el Manual del Recloser utilizado)
- b) ajustes ya sea en las curvas del fusible o del equipo automático debidas a carga inicial (para fusibles ver diagramas B y B1)
- c) ajustes ya sea en las curvas del fusible o del equipo automático para tener en cuenta el calentamiento y enfriamiento del fusible en distintas fases de la operación del dispositivo de reenganche (ver Diagrama A).

Para un valor seleccionado de intensidad de cortocircuito, el precalentamiento del fusible, es directamente proporcional al tiempo en que permanecen cerrados los contactos del equipo automático. Por lo tanto, en el método que se describe, el ajuste (c) se hará en las curvas de este último por medio de la aplicación de un factor "C" que tiene en cuenta el tiempo de enfriamiento, a multiplicar por el tiempo total de interrupción. El factor "C" se determina en el Diagrama A.

FACTOR DE CORRECCIÓN A APLICAR		
Tiempo de apertura [seg.]	Secuencia de operación	
	1 rápida, 3 retardadas	2 rápidas, 2 retardadas
0.5	1.06	1.60
1		1.50
1.5		1.40
2		1.30
6		1.10

Tabla Nro. 1

FACTOR DE CORRECCION A APLICAR			
Tiempo de apertura [seg.]	Secuencia de operación		
	4 retardadas	1 rápida, 3 retardadas	2 rápidas, 2 retardadas
0.5	4.25	3.30	2.30
1	2.80	2.50	2.10
1.5	2.30	2.20	1.95
2	2.05	1.95	1.85
6	1.25	1.20	1.15

Tabla Nro. 2

Aplicación

Al comparar las curvas tiempo / corriente cuando el automático debe operar antes de que el fusible se funda úsese las curvas de máximo tiempo de interrupción del automático y las de tiempo mínimo de fusión del fusible. Cuando el fusible debe fundirse antes de que el automático opere definitivamente úsese las curvas de tiempo total de interrupción del fusible y las de tiempo mínimo de interrupción del equipo automático.

Formulas básicas

A) Fusible antes del reconectador (aguas arriba). Se trata de que resista, sin fundirse, una o varias operaciones del automático. La intensidad máxima para este tipo de aplicación se determina mediante:

- La capacidad interruptiva máxima del dispositivo de reenganche, o bien
- La intersección de la curva de tiempo mínimo de fusión del fusible con la curva de tiempo total de interrupción del automático.

Esta última debe incluir un ajuste de tiempo que se hace como sigue:

Modo de obtener las curvas equivalentes del automático de reenganche

T_m= Tiempo mínimo de fusión del fusible, o bien tiempo correspondiente a la intensidad seleccionada en la curva equivalente de tiempo de interrupción del equipo automático.

T_p= Reducción del tiempo de fusión del fusible debido a carga inicial anterior a la falla en tanto por uno del tiempo de fusión.

T_{R1}, T_{R2}, T_{R3},...T_{Rn}= Tiempos totales máximos de interrupción con intensidad (I) de la primera, segunda, tercera, etc, operaciones del automático de reenganche.

C1, C2, C3,...Cn= Factores del diagrama "A" para los periodos primero, segundo, tercero, etc de apertura de contactos del dispositivo de reenganche.

- Una operación del dispositivo de reenganche

$$(A-1) \quad T_m = \frac{T_{R1}}{1 - T_p}$$

- Dos operaciones

$$(A-2) \quad T_m = \frac{T_{R1} C + T_{R2}}{1 - T_p C}$$

- Tres operaciones

$$(A-3) \quad T_m = \frac{T_{R1} C_1 C_2 + T_{R2} C_2 + T_{R3}}{1 - T_p C_1 C_2}$$

Cuando los periodos de apertura son iguales, la formula queda:

$$T_m = \frac{T_{R1} C^2 + T_{R2} C + T_{R3}}{1 - T_p C^2}$$

4. Cuatro operaciones

$$(A-4) \quad T_m = \frac{T_{R1} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 + T_{R2} \cdot C_2 \cdot C_3 + T_{R3} \cdot C_3 + T_{R4}}{1 - T_p \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}$$

Cuando los periodos de apertura son iguales, la formula queda:

$$T_m = \frac{T_{R1} \cdot C^3 + T_{R2} \cdot C^2 + T_{R3} \cdot C + T_{R4}}{1 - T_p \cdot C^3}$$

B) Fusible en el lado de carga del dispositivo (aguas abajo), dispuesto para interrumpir antes de que el dispositivo de reenganche se bloquee en posición "abierto". La intensidad mínima de falla para la que se obtendrá este tipo de aplicación está determinada por:

- a) La intensidad mínima de disparo del rele, o del automático.
- b) La intersección de la curva de tiempo total de interrupción del fusible con la equivalente del automático incluyendo esta ultima las correcciones de las que se habla en los demás casos. En la ultima operación de reenganche debe considerarse solamente el tiempo de respuesta del relé en el caso de que el dispositivo de reenganche sea una combinación de interruptor y relé.

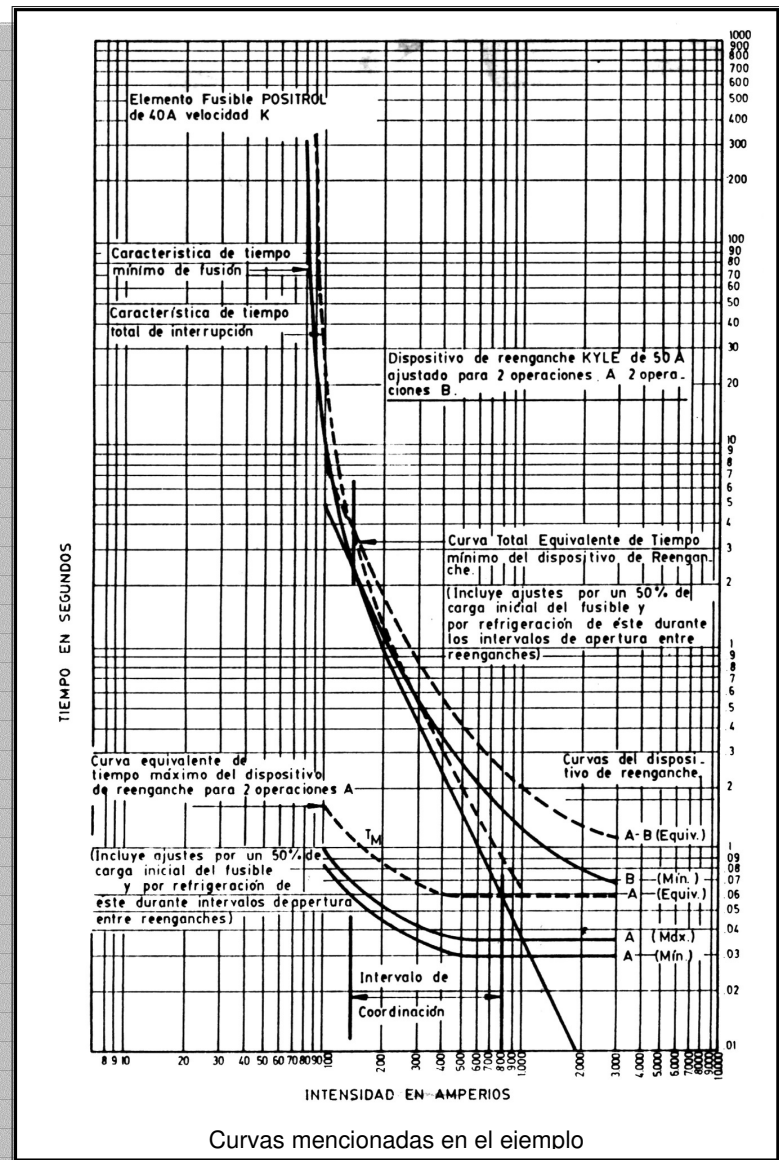
Las curvas equivalentes del dispositivo de reenganche se obtienen como sigue:

Tc= Tiempo total de interrupción del fusible, o bien correspondiente a un punto en la curva perteneciente al automático para intensidad (I) seleccionada.

Tp= Reducción en tanto por uno del tiempo de fusión del fusible debido a carga inicial preexistente.

TR1, TR2, TR3,....TRn= Tiempos mínimos de interrupción de las primeras, segundas, terceras... operaciones del automático exceptuando la ultima en la que si éste es del tipo rele-interruptor, solo se incluye el tiempo de actuación del relé.

C1, C2, C3,....Cn= Factores según Diagrama A de refrigeración en los intervalos de apertura, primera, segunda, tercera, del automático.



Curvas mencionadas en el ejemplo

1- Una operación del automático

$$(B-1) \quad T_c = \frac{T_{R1}}{1 - T_p}$$

2- Dos operaciones

$$(B-2) \quad T_c = \frac{T_{R1} + T_{R2}}{(1 - T_p) \cdot C}$$

3- Tres operaciones

$$(B-3) \quad T_c = \frac{T_{R1} \cdot C_1 \cdot C_2 + T_{R2} \cdot C_2 + T_{R3}}{(1 - T_p) \cdot C_1 \cdot C_2}$$

Cuando los periodos de apertura son iguales, la formula queda:

$$T_c = \frac{T_{R1} \cdot C^2 + T_{R2} \cdot C + T_{R3}}{(1 - T_p) \cdot C^2}$$

4- Cuatro operaciones

$$T_C = \frac{T_{R1} C_1 C_2 C_3 + T_{R2} C_2 C_3 + T_{R3} C_3 + T_{R4}}{(1 - T_p C_1 C_2 C_3)}$$

Cuando los periodos son iguales, la formula queda :

$$T_C = \frac{T_{R1} C^3 + T_{R2} C^2 + T_{R3} C + T_{R4}}{(1 - T_p C^3)}$$

Ejemplo 1

Dispositivo de reenganche ajustado para dos operaciones rápidas (A) y dos retardadas (B).

El fusible está en el lado de la carga y debe fundirse si la falla transitoria no ha desaparecido después de la segunda operación rápida.

Datos del equipo: Fabricante: Kyle - Tipo: "R" - Características: 50 Amp – 8,32 kV

Ajuste: 2 A, 2 B operaciones - Periodo de apertura: 2 seg

Datos del fusible: Marca: Positrol - Tipo: "K" - Calibre: 40 Amp - Carga inicial: 50%

1) Determinar la intensidad máxima para la que se obtendrá la aplicación requerida, mediante el procedimiento que se detalla a continuación:

- a) Dibujar la curva de máximo tiempo de operación tipo (A) del dispositivo de reenganche en papel logarítmico.
- b) Usando la formula A-2 determinar el tiempo equivalente de operación del automático para operaciones tipo (A) con varios valores de intensidad de falla.

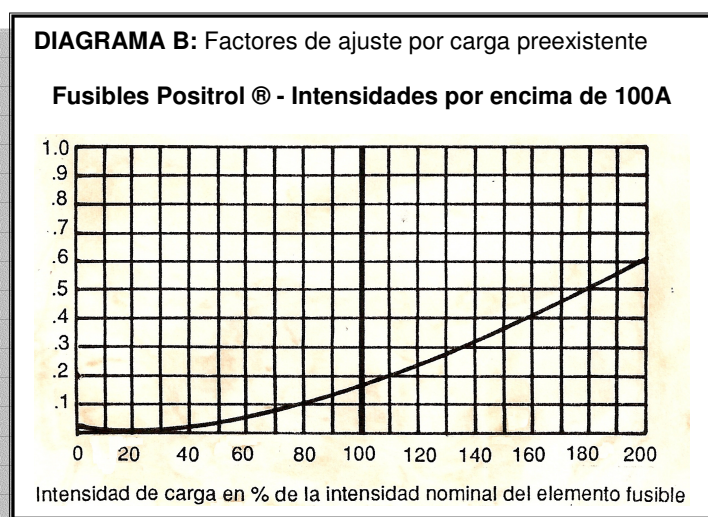
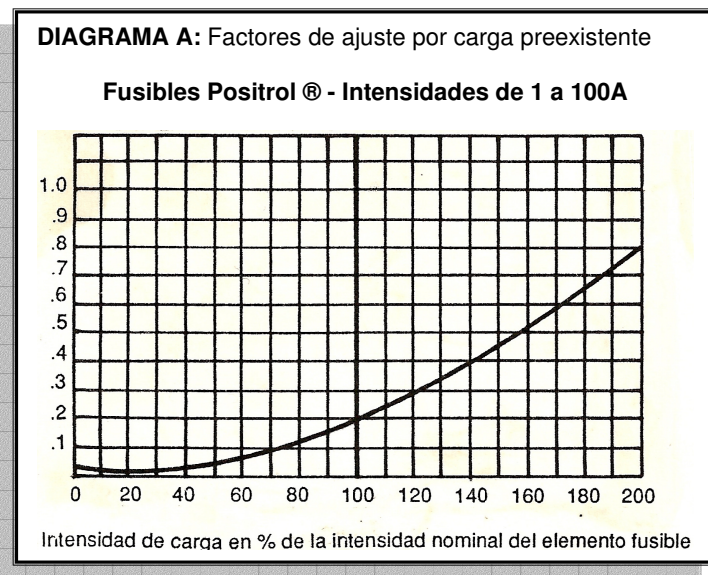
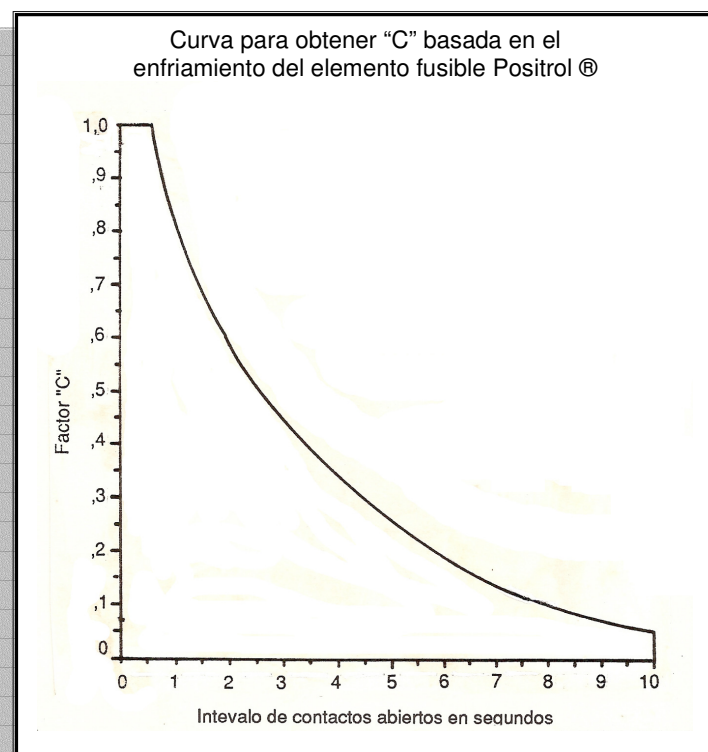
$$(A-2) T_m = \frac{T_{R1} C + T_{R2}}{1 - T_p C}$$

Como $T_{R1}=T_{R2}$, la formula se convierte en:

$$T_m = \frac{T_{R1} (C+1)}{1 - T_p C}$$

Resultado: Ver cuadro Nro. 1

- c) Dibujar la curva equivalente de operación tipo (A) del dispositivo en la hoja de curvas mencionada en (a).



d) Dibujar la curva de tiempo mínimo de fusión del elemento fusible Positrol de 40K (según curva TCC 165-6). La intersección de ambas curvas fija la intensidad máxima para la que se obtiene la aplicación requerida (800 A).

2) Para determinar el valor mínimo de intensidad para el que habrá aplicación se procede de la siguiente forma:

a) Dibujar las curvas A (de operación rápida) y B (de operación lenta) del tiempo mínimo del dispositivo de reenganche en la hoja de curvas.

b) Usando la formula B-4 determinar el tiempo reenganche para dos operaciones (A) y otras dos (B), con varios valores de intensidad.

$$(B-4) T_c = \frac{T_{R1} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 + T_{R2} \cdot C_2 \cdot C_3 + T_{R3} \cdot C_3 + T_{R4}}{1 - T_p \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}$$

Como $T_{R1} = T_{R2}$; $T_{R3} = T_{R4}$ y $C_1 = C_2 = C_3$, la formula se simplifica:

$$T_c = \frac{T_{R1} (C^3 + C^2) + T_{R3} (C+1)3}{1 - T_p \cdot C^3}$$

Resultado: ver cuadro Nro.2

c) Dibujar la curva A-B equivalente en la hoja por medio de los puntos determinados por I y Tc.

d) Dibujar la curva tiempo total de interrupción-intensidad del fusible de 40K (TCC 165-6-2)

El valor mínimo de 135 A para el que se obtiene la aplicación se determina por intersección de la curva equivalente del dispositivo de reenganche (c) y la del fusible (d).

Intensidad	Curva A max.	Factor Diag. A	Factor Diag. B	(*1)	(*2)	Curva A Equivalente
I Amps	T _{R1} [seg]	C	T _p	T _{R1} (C+1) [seg]	1-T _p C	T _m [seg]
100	0,1	0,55	0,06	0,155	0,967	0,160
200	0,054	0,55	0,06	0,0853	0,967	0,088
400	0,039	0,55	0,06	0,0605	0,967	0,0625
1000	0,037	0,55	0,06	0,0574	0,967	0,0595

Cuadro Nro. 1

Intensidad	Curva A min.	Curva B min.	Factor Diag.		(*1)	(*2)	Curva A Equivalente
			A	B			
I Amps	T _{R1} [seg]	T _{R3}	T _p	C	T _{R1} (C ³ +C ²)+ T _{R3} ³ (C+1) [seg]	1-T _p C ³	T _c [seg]
150	0,55	1,95	0,06	0,55	3,05	0,99	3,08
200	0,045	1,10	0,06	0,55	1,80	0,99	1,82
400	0,032	0,35	0,06	0,55	0,56	0,99	0,57
800	0,030	0,155	0,06	0,55	0,252	0,99	0,255

Cuadro Nro, 2

Coordinación con descargadores de sobretensión

Un fusible debe soportar las corrientes transitorias durante e inmediatamente después de una descarga por sobretensión. Las magnitudes de las corrientes transitorias que circularán a través del fusible están determinadas, parcialmente, por la ubicación relativa del fusible respecto del descargador. Si el fusible estuviera ubicado del lado de la subestación, respecto de descargador, las corrientes más significativas serían: la de la descarga atmosférica y la subsiguiente aportada por la línea.

En cambio, si el fusible estuviese del lado de la carga, respecto del descargador, solo estaría sometido a posibles corrientes de magnetización en caso de proteger a un transformador (inrush), o a corrientes de desmagnetización (outrush) en caso de proteger a un banco de capacitores. Obviamente, es preferible colocar un fusible del lado de la carga respecto del descargador de sobretensión. En aquellas instalaciones donde es necesario colocar un fusible del lado de la subestación, la capacidad del fusible para soportar descargas se debe coordinar con la descarga del descargador.

La Tabla que publicamos en el presente capítulo, indica las corrientes máximas de descarga, expresamente en valores de cresta, que el elemento fusible Positrol podrá soportar sin fusionarse ni deteriorarse. Los valores consignados toman en cuenta la corriente subsiguiente aportada por la línea, el efecto de la corriente de plena carga del transformador y la de magnetización del mismo. Una investigación muy aceptada en USA, realizada por Mc Echaron y Mc Morris, muestra cuáles son los valores más comunes de descargas en descargadores de distribución:

- ✓ El 50% de las descargas supera los 1200 A.
- ✓ El 20% supera los 3000 A.
- ✓ El 5% supera los 9000 A
- ✓ El 1% los 21000 A.


Por aplicación de la Tabla de la Estadística anteriormente señalada, podemos inferir que la probabilidad de que un fusible de 15 A, por ejemplo, funda por una descarga es menor al 1%, en fusibles ubicados del lado de la subestación respecto del descargador. Habiendo establecido la capacidad de un fusible para soportar descargas y conociendo la probabilidad de que una de ellas lo funda, es necesario entonces, escoger entre un alto nivel de supervivencia del fusible y la necesidad de brindar una protección adecuada al transformador o al banco de capacitores, la cual solo puede ser cubierta mediante un fusible elegido cuidadosamente.

El consenso es que, en la mayor parte de los casos se prefiere elegir la protección óptima del transformador o del banco de capacitores. Sin embargo, la elección final quedará librada a las prácticas establecidas para un sistema específico. Deben tenerse consideraciones especiales al programar la protección de transformadores ubicados en líneas rurales de gran longitud, donde se producen con frecuencia corrientes de impulso de larga duración y bajo valor. Las altas tensiones en el descargador asociadas a estos impulsos de corriente, llevan al flujo magnético en el núcleo del transformador al nivel de saturación, generando a su vez una corriente anormalmente alta hacia el transformador.

Tabla de corrientes de impulso máximas admisibles (basadas en onda de 8/20 microsegundos)

Calibre del fusible (A)	Corriente máxima admisible (KAc)
6	7.0
8	10.0
10	13.5
12	17.5
15	22.0
20	29.5
25	36.5
30	46.0
40	60.0
50	78.0 *
65	95.0 *
80	120.0 *
100	155.0 *

(*) La corriente excede la capacidad de los descargadores de distribución

 [volver al índice](#)

Selección del Seccionador Autodesconectador adecuado

En los capítulos precedentes hemos delineado las Condiciones de Utilización, los Métodos de Selección y Tablas de Aplicación de los Elementos Fusibles Positrol; pero obviamente los mismos deben ser instalados en Seccionadores Autodesconectadores adecuados a la tensión, corriente de línea y capacidad de corte necesarias.

A continuación publicamos la Tabla de Selección de Seccionadores Autodesconectadores comercializados por FAMI S.A., que posibilitará la elección apropiada.

Tabla de Selección de Seccionadores Autodesconectadores tipo XS

Tensión nominal ↓	CAPACIDAD DE CORTE kA rms Asimétricos (kA rms Simétricos)			
		100 A		200 A
Corriente nominal →				
Nivel básico de aislación (kV BIL) →	95	125	170	125
Modelo →	89031	89032	89053	89072
13,2 kV	16 (10,6)	12 (8)		10 (7,1)
13,2/25 kV		12 (8)		10 (7,1)
33 kV			12 (8)	
13,2/25 kV (*)		2 (1.4)		

(*) Modelo 89031/3e

 [volver al índice](#)