



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Instalaciones Eléctricas

Protección contra sobrecorrientes

Contenido

1.	Seccionamiento, comando y protección	4
2.	Magnitudes eléctricas características de los dispositivos de maniobra y protección.	6
3.	Principales dispositivos de seccionamiento y comando	7
3.1.	Seccionador	7
3.2.	Seccionador bajo carga (interruptor-seccionador)	7
3.3.	Contactador.....	8
4.	Dispositivos de protección contra sobrecorrientes	9
4.1.	Dispositivos fusibles	9
4.1.1.	Generalidades	9
4.1.2.	Operación	10
4.1.3.	Características	12
4.1.4.	Principales características de los dispositivos fusibles.....	18
4.2.	Interruptor Automático.....	21
4.2.1.	Generalidades	21
4.2.2.	Operación	23
4.2.3.	Características	26
4.2.4.	Principales características de los interruptores automáticos	34
5.	Selección de la protección contra sobrecorrientes.....	37
5.1.	Principio de la protección contra sobrecorrientes.....	37
5.2.	Método práctico de selección de dispositivos de protección contra sobrecorrientes según norma IEC.....	37
5.2.1.	Protección contra sobrecargas.....	37
5.2.2.	Protección contra cortocircuitos.....	38
6.	Coordinación de protecciones	39
6.1.	Selectividad	39
6.2.	Back-up.....	43
7.	Principales condiciones a cumplir en la instalación	43
7.1.	Seccionamiento	43
7.2.	Comando	44
7.3.	Protección	44

7.4. Ubicación de los dispositivos de protección contra sobrecargas	44
7.5. Ubicación de los dispositivos de protección contra cortocircuitos.....	45
8. Bibliografía	45

1. Seccionamiento, comando y protección

Los dispositivos de maniobra y protección de una instalación eléctrica tienen las siguientes funciones básicas:

- Seccionamiento: aislamiento seguro de una parte de la instalación.
- Comando: comando funcional o comando de emergencia.
- Protección eléctrica: protección contra corrientes de sobrecarga, corrientes de cortocircuitos y falla de aislamiento.

Seccionamiento

El objetivo del Seccionamiento es aislar eléctricamente el circuito o receptor, o una parte de la instalación, del resto del sistema energizado, de forma que se puedan realizar trabajos en la parte aislada en forma segura.

Un dispositivo de Seccionamiento debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Todos los polos del circuito, incluido el neutro (excepto cuando el neutro es el conductor PEN en el sistema TNC) debe poder ser abierto.
- Debe estar provisto con un medio de bloqueo una vez abierto (por ejemplo con un candado), de forma de evitar un cierre accidental no autorizado.
- Debe cumplir con normas nacionales o internacionales reconocidas (IEC 60947-3), en lo que concierne a distancia entre contactos, capacidad de resistencia a sobretensiones, etc.
- Se debe poder verificar que los contactos del dispositivo de seccionamiento están realmente abiertos. La verificación puede ser:
 - Visual: cuando el dispositivo está diseñado para que los contactos puedan ser vistos.
 - Mecánica: por medio de un indicador sólidamente soldado con el eje de operación del dispositivo. En este caso la construcción del dispositivo debe ser tal, que en la eventualidad de que los contactos queden soldados juntos en la posición cerrado, el indicador no puede indicar que el dispositivo está abierto.
- Corrientes de fuga: con el dispositivo abierto, las corrientes de fuga entre los contactos abiertos de cada fase no debe ser superior a 0.5 mA para un dispositivo nuevo y 6 mA al final de su vida útil.
- Capacidad de resistir sobretensiones entre contactos abiertos: el dispositivo de seccionamiento, cuando está abierto debe resistir una onda impulsiva de 1.2/50 ms con un valor de cresta según la tabla siguiente:

Tensión nominal de la instalación Un (V)	Tensión de cresta que debe resistir (kVcr)
230/400	5
400/690	8
1000	10

Tabla 1: Valores de tensión de cresta que el dispositivo debe resistir ante una onda impulsiva de 1.2/50ms

Comando

El objetivo de los dispositivos de Comando es permitir al personal de operación modificar en forma segura el flujo de carga de una instalación, en cualquier momento y en cualquier nivel, según los requerimientos de explotación de la instalación.

La función de comando incluye:

- Comando funcional: se refiere a todas las operaciones de maniobra en condiciones normales de servicio para desconectar o conectar la alimentación de una parte de la instalación, o un receptor, etc.

La maniobra puede ser:

- Manual: con una palanca de operación.
- Eléctrica: por medio de un pulsador local o remoto.

- Comando de emergencia: el comando de emergencia esta previsto para desconectar la alimentación de un circuito que pueda volverse peligroso (riesgo de incendio o de choque eléctrico). Los dispositivos de comando de emergencia deben ser fácilmente identificables, y deben ser instalados en lugares de rápido acceso y próximos a donde el peligro pueda ocurrir o pueda ser visto. Una simple acción debe resultar en una desconexión segura de todos los circuitos activos.
- Desconexión para mantenimiento: esta operación asegura la parada de una máquina y hace imposible su reconexión inadvertida durante la ejecución de os trabajos de mantenimiento.

En general esto se realiza en el mismo dispositivo de comando funcional, con el uso de un bloqueo con candado y llave y un cartel indicador.

Protección eléctrica

El objetivo de la Protección eléctrica es evitar o limitar las consecuencias destructivas o peligrosas de las sobrecorrientes debido a sobrecargas, cortocircuitos, y fallas de aislamiento, y separar el circuito defectuoso del resto de la instalación.

Se hace una distinción entre la protección de:

- Los elementos que constituyen la instalación eléctrica: cables, canalizaciones, dispositivos etc.
- Las personas.
- Los receptores alimentados por la instalación.

En este capítulo nos ocuparemos de la protección de los elementos de la instalación (circuitos) contra las sobrecorrientes debido a sobrecargas y a cortocircuitos. La protección eléctrica en estos casos es provista por medio de dispositivos fusibles o interruptores automáticos, instalados en los tableros de distribución de donde se alimentan los circuitos.

2. Magnitudes eléctricas características de los dispositivos de maniobra y protección.

La Tensión Nominal (Un) de un dispositivo de maniobra o de protección es el valor eficaz de tensión para el cual el dispositivo es diseñado, y al cual son referidos otros valores nominales.

La norma internacional IEC define para los dispositivos de baja tensión:

- Tensión nominal (Ue): es el valor de tensión eficaz (V_{rms}) al cual se refieren la capacidad de interrupción y de cierre nominales, así como las categorías de utilización en cortocircuito; para circuitos polifásicos es la tensión entre fases.
- Tensión nominal de aislamiento (Ui): es el valor de tensión eficaz (V_{rms}) al cual son referidos los ensayos dieléctricos y las distancias de aislamiento. El máximo valor de tensión nominal no debe superar la tensión nominal de aislamiento ($Ue \leq Ui$).
- Tensión nominal de impulso ($Uimp$): es el valor de tensión de cresta (kV_{cresta}) de la onda de impulso de tensión, de forma y polaridad determinada, que es capaz de resistir el equipo sin falla, bajo condiciones específicas de ensayo. La forma de onda es la simulación de un impulso atmosférico (1,2/50 ms).

La Corriente Nominal (In) es el valor eficaz de la corriente de régimen continuo que el dispositivo debe ser capaz de conducir indefinidamente, sin que la elevación de temperatura de sus diferentes partes exceda los valores especificados, en las condiciones previstas por la norma correspondiente.

La norma internacional IEC define para los dispositivos de baja tensión:

- Corriente térmica nominal (I_{th}): es el valor de corriente (valor eficaz en CA o valor en régimen permanente en CC) que el dispositivo puede conducir en un régimen de 8 horas, sin que la elevación de temperatura de sus diferentes partes exceda límites especificados.
- Corriente ininterrumpida nominal (I_n): es el valor de corriente, definido por el fabricante, que el interruptor puede conducir en régimen ininterrumpido. En el caso de los interruptores regulables, corresponde a la máxima corriente de regulación posible.

Para un dispositivo de protección definimos:

- Corriente convencional de actuación o de fusión en el caso de dispositivos fusibles (I_2 o I_f): es el valor especificado de corriente que provoca la actuación del dispositivo en un tiempo inferior a un tiempo determinado, denominado tiempo convencional.
- Corriente convencional de no actuación o de no fusión en el caso de dispositivos fusibles (I_2 o I_{nf}): es el valor especificado de corriente que el dispositivo puede conducir sin actuación durante un tiempo determinado, denominado tiempo convencional.

El tiempo convencional (t_v) varía de acuerdo a la corriente nominal del dispositivo fusible.

La corriente de cortocircuito presumida es la máxima corriente que puede circular en el circuito en el caso de un cortocircuito de impedancia despreciable.

- Capacidad de interrupción: es el valor de corriente de interrupción presumida que un dispositivo es capaz de interrumpir a la tensión nominal y en las condiciones prescritas de funcionamiento sin sufrir ningún daño.
- Capacidad de cierre: es el valor de cresta máximo de la corriente de cierre presumida que el dispositivo es capaz de cerrar a la tensión nominal y en las condiciones prescritas de funcionamiento sin sufrir ningún daño.

Cuando las condiciones prescriptas incluyen un cortocircuito en los terminales de salida del dispositivo, hablamos de la Capacidad de interrupción en cortocircuito y de la Capacidad de cierre en cortocircuito.

3. Principales dispositivos de seccionamiento y comando

3.1. Seccionador

Es un dispositivo de operación manual, de dos posiciones cerrado-abierto, no está diseñado para cerrar o abrir corrientes y por lo tanto no se dan valores nominales para estas funciones. Sin embargo, deben ser capaces de resistir el pasaje de corrientes de cortocircuito y se asigna un tiempo nominal (en general 1 segundo) que deben ser capaces de resistir un determinado valor de corriente de cortocircuito.

Estos dispositivos al operar sin carga, deben ser instalados con un dispositivo de comando y protección aguas arriba que permita:

- Desconectar la alimentación previamente a la operación del dispositivo de seccionamiento.
- Proteger el dispositivo de seccionamiento y el circuito aguas abajo correspondiente, frente a sobrecargas y cortocircuitos.

Los Seccionadores que cumplen con la norma internacional IEC 60947-3 proveen la función de Seccionamiento como fue definida en el punto 1.1.

3.2. Seccionador bajo carga (interruptor-seccionador)



Figura 1: Seccionadores bajo carga TIPO 1 (izquierda) y TIPO 2 (derecha)

Es un dispositivo en general operado manualmente (aunque puede disponer de disparo eléctrico) y tiene dos posiciones cerrado-abierto. Está diseñado para cerrar o abrir circuitos en carga en condiciones normales de servicio (sin falla) y por lo tanto se le asignan corrientes nominales de cierre y apertura para las condiciones normales de servicio.

Los Seccionadores bajo carga que cumplen con la norma IEC 60947-3 cumplen la función de seccionamiento definida en el punto 1. Pueden cumplir también la función de comando aunque disponen de una endurancia mecánica y eléctrica menor a la de un contactor. La endurancia mecánica son los ciclos de maniobra sin carga, y la endurancia eléctrica son los ciclos de maniobra en carga.

La norma internacional IEC 60947-3 define para dispositivos de maniobra de baja tensión en corriente alterna, tres categorías de utilización según el tipo de cargas a maniobrar:

Categoría de utilización	Aplicación típica
AC-20	Conexión y desconexión sin carga
AC-21	Maniobra de cargas resistivas, incluyendo sobrecargas moderadas
AC-22	Maniobra cargas resistivas e inductivas mezcladas, incluyendo sobrecargas moderadas
AC-23	Maniobra de cargas tipo motor o otras cargas altamente inductivas

Tabla 2: Categoría de utilización según aplicación típica

La categoría AC-23 referida en la tabla anterior no se aplica al equipamiento utilizado usualmente para el arranque y parada de motores, sino que incluye maniobras ocasionales de motores individuales.

Estos dispositivos están diseñados para una determinada corriente de cierre en falla, garantizando un cierre seguro frente a los esfuerzos electrodinámicos de una corriente de cortocircuito. Al igual que para los Seccionadores deben ser instalados con un dispositivo de protección aguas arriba que los proteja frente a sobrecargas y cortocircuitos.

A modo de ejemplo: un Seccionador bajo carga de 100 A, categoría AC23 debe poder:

- Cerrar una corriente de $10I_n$ (1000 A) con un factor de potencia de 0.35 en retraso (carga altamente inductiva).
- Abrir una corriente de $8I_n$ (800 A) con un factor de potencia de 0.35 en retraso
- Resistir una corriente de cortocircuito $\geq 12I_n$ durante 1 segundo.

3.3. Contactor

Es un dispositivo operado por un solenoide, donde generalmente para mantenerlo cerrado se requiere de una pequeña corriente a través de la bobina.

Los Contactores son diseñados para una gran cantidad de durabilidad mecánica y eléctrica, y pueden ser controlados en forma local o remota por pulsadores, selectoras, contactos de relés, PLC, etc. Por lo tanto son ampliamente utilizados para maniobrar cargas que requieren una alta frecuencia de ciclos de maniobra (como ser motores), o circuitos que requieren ser comandados a distancia o en forma automática.

Estos dispositivos se estudian con mayor profundidad en el **Capítulo 7** de “Comando y Protección de Motores”.

4. Dispositivos de protección contra sobrecorrientes

4.1. Dispositivos fusibles

4.1.1. Generalidades

Es la protección más antigua en las instalaciones eléctricas, y su operación consiste en la fusión del elemento fusible cuando la corriente excede determinado valor durante determinado tiempo.

El elemento fusible consiste en un conductor de sección muy pequeña, que debido a su alta resistencia, sufre un calentamiento superior al conductor del circuito protegido debido al pasaje de la corriente. Para una relación determinada entre la sección del elemento fusible y la del conductor protegido, ocurrirá la fusión del elemento fusible cuando el conductor alcance su temperatura máxima admisible.

El elemento fusible es un hilo o una lámina generalmente de cobre, plata o estaño, colocada en el interior del cuerpo del dispositivo generalmente de porcelana u otro material aislante herméticamente cerrado. La mayoría de los fusibles contienen en su interior, envolviendo el elemento fusible, material granulado extintor del arco (en general es arena de cuarzo).

Esquema de composición de un fusible:

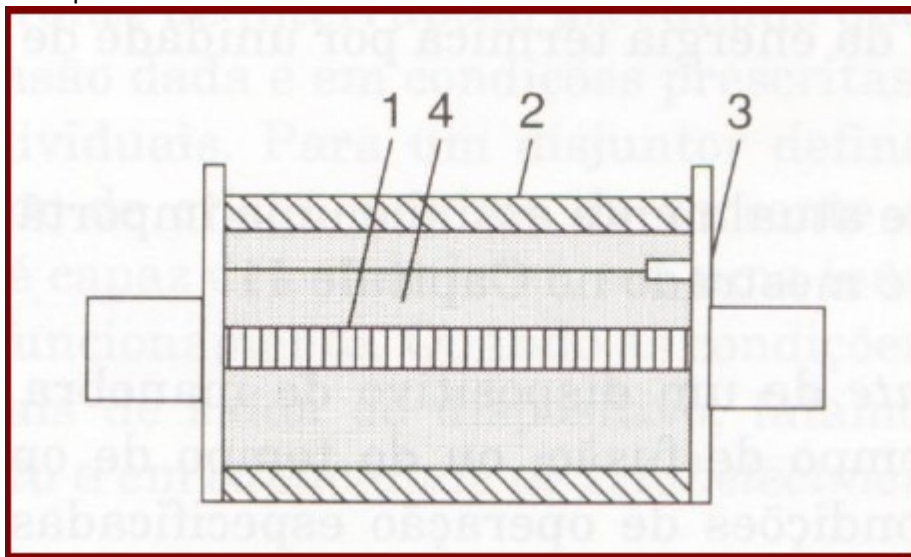


Figura 2: Esquema de composición de un fusible

- 1 - Elemento fusible.
- 2 - Cuerpo generalmente de porcelana.
- 3 - Indicador.
- 4 - Medio extintor generalmente arena de cuarzo.

Algunos fusibles poseen un elemento indicador compuesto generalmente por un hilo de acero ligado en paralelo con el elemento fusible, el cual libera un resorte luego de su operación, actuando este sobre un botón indicador en el frente del fusible.

La norma internacional IEC que regulan la fabricación de los fusibles es la IEC 60269, y consta de las siguientes partes:

Parte	Descripción
IEC 60269-1	“Reglas generales para fusibles de baja tensión”
IEC 60269-2	“Fusibles de baja tensión de alta capacidad de ruptura para uso industrial”
IEC 60269-3	“Fusibles de baja tensión para instalaciones domésticas y análogas”

Tabla 3: Partes de la Norma IEC 60269

4.1.2. Operación

En la figura siguiente se representa en forma simplificada el elemento fusible en serie con el conductor. Debido al pasaje de una corriente, el elemento fusible alcanza una temperatura mayor que la del conductor (θ_1), siendo la temperatura máxima en el punto medio (θ_2):

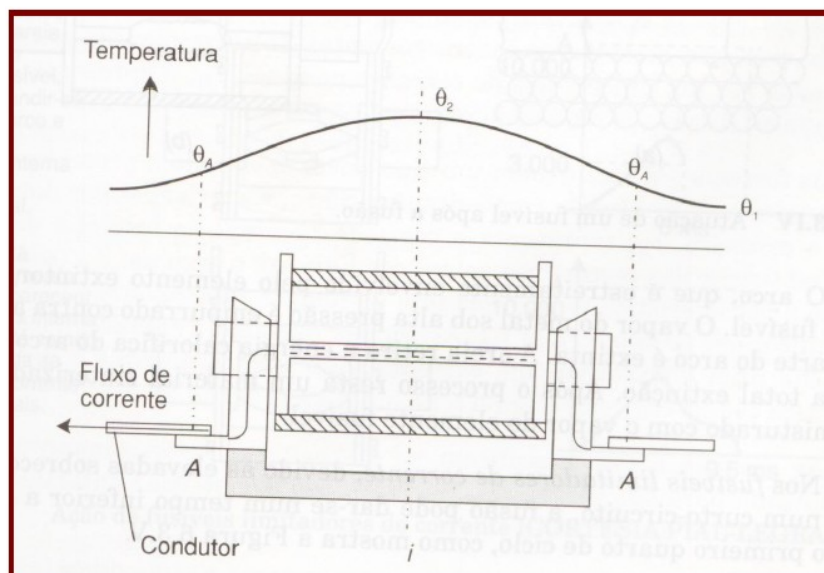


Figura 3: Forma simplificada del elemento fusible

La temperatura en los puntos de conexión al conductor (θ_A) no debe superar un valor determinado para no perjudicar la vida útil del aislamiento del cable, este valor es limitado por la norma.

Se define como *Corriente Nominal del Fusible* a la corriente que puede recorrer el dispositivo fusible en forma permanente sin que ese valor límite sea superado.

En la figura siguiente se representa el proceso de interrupción de un fusible:

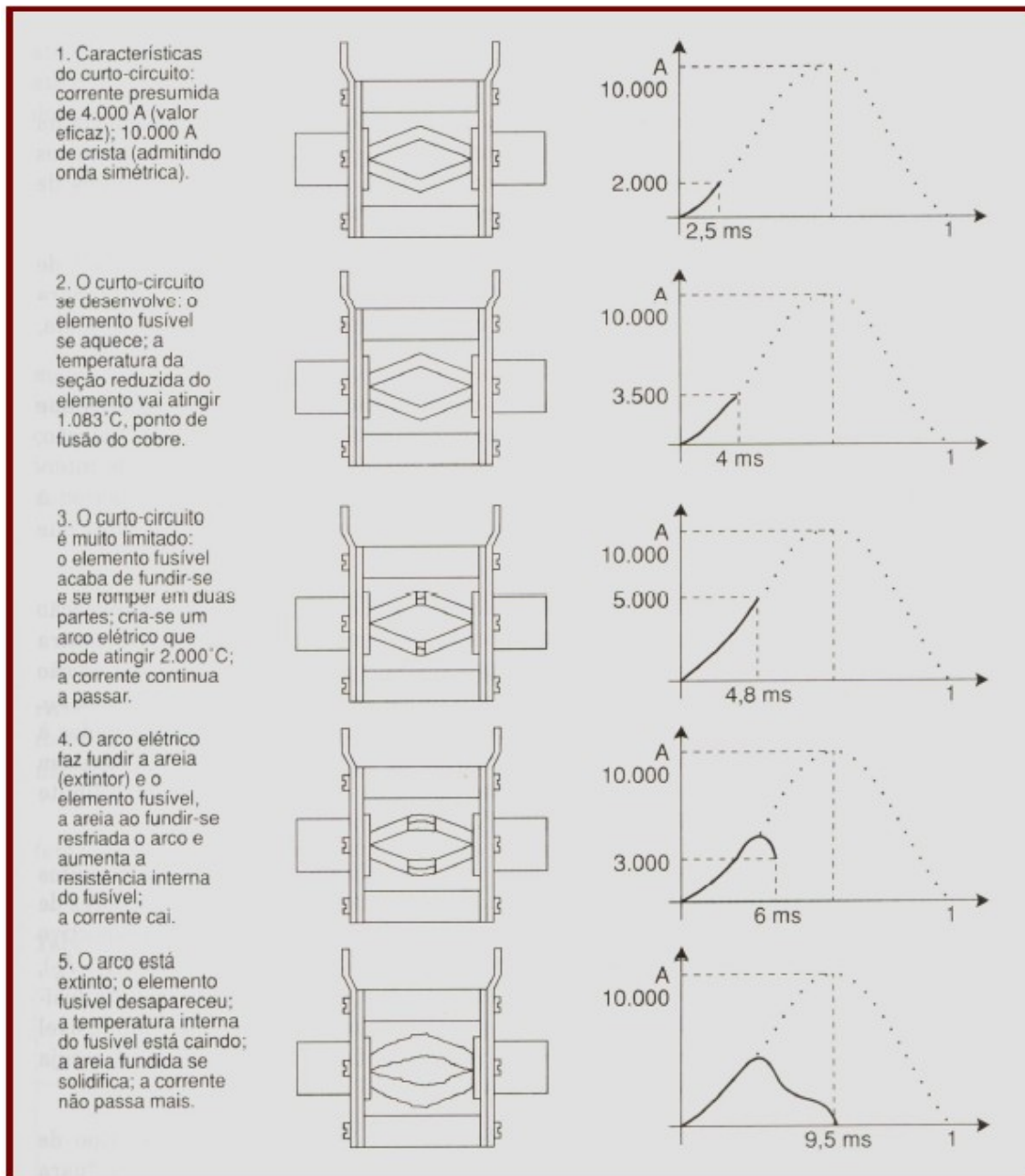


Figura 4: Proceso de interrupción de un fusible

Luego de la fusión el elemento fusible, la corriente continua circulando por un tiempo a través del arco mantenida por la fuente y por la inductancia del circuito. El arco vaporiza el elemento fusible y el metal vaporizado a alta presión es empujado contra la arena donde se produce finalmente la extinción del arco.

4.1.3. Características

Clasificación

Los dispositivos fusibles son clasificados inicialmente de acuerdo con la faja de interrupción y a la categoría de utilización, y para ello se utilizan dos letras:

- 1° letra – “g” o “a” que indica la faja de interrupción
- 2° letra – “G” o “M” que indica la categoría de utilización

Los tipo “g” son aquellos capaces de interrumpir todas las corrientes comprendida entre un valor prefijado de alrededor 1,6 a 2 veces la corriente nominal y su capacidad nominal de apertura. Se dice que operan en toda la faja de corriente.

Los tipo “a” son aquellos capaces de interrumpir las corrientes comprendidas entre un valor prefijado de alrededor 4 veces la corriente nominal y su capacidad nominal de apertura. Se dice que operan en una faja parcial.

Los tipo “G” son de uso general y los tipo “M” son para la protección de motores.

Para la protección contra sobrecorrientes de circuitos de baja tensión se utilizan esencialmente dos tipos de características de dispositivos fusibles:

gG : Son de aplicación general, utilizados en la protección de circuitos contra corrientes de sobrecarga y contra corrientes de cortocircuito.

aM: Son destinados a la protección de motores contra corrientes de cortocircuito, no son adecuado para la protección contra cortocircuitos ya que comienzan a operar para un valor de corriente de alrededor de 4 veces la nominal.

Los fusibles son clasificados además según su utilización en:

- Para uso por personas calificadas (uso industrial) – IEC 60269-2.
- Para uso por personas no calificadas (uso doméstico) – IEC 60269-3.

Los primeros son de uso industrial, lo que la norma considera que la operación y reposición será realizada por personal calificado.

Pueden ser gG o aM con corrientes nominales hasta 1250 A y una capacidad de apertura no inferior a 50 kA ($V_{nom} \leq 660$ Vac) y 25 kA ($V_{nom} \leq 750$ Vdc), y los más comúnmente usados son de los siguientes tipos:

- Con contactos cilíndricos denominados cartuchos de uso industrial.
- Con contactos tipo faja denominados tipo NH.

Los segundos son de uso doméstico, y la norma considera que la operación y reposición puede ser realizada por personal no calificada. Son del tipo gG con corrientes nominales de hasta 100 A, y con una capacidad de apertura ≥ 6 kA ($V_{nom} \leq 240$ Vac) y 20 kA (240 Vac $< V_{nom} \leq 500$ Vac), y los más comúnmente utilizados son de los siguientes tipos:

- Cartucho cilíndrico para uso doméstico.
- Tipo Diazed.

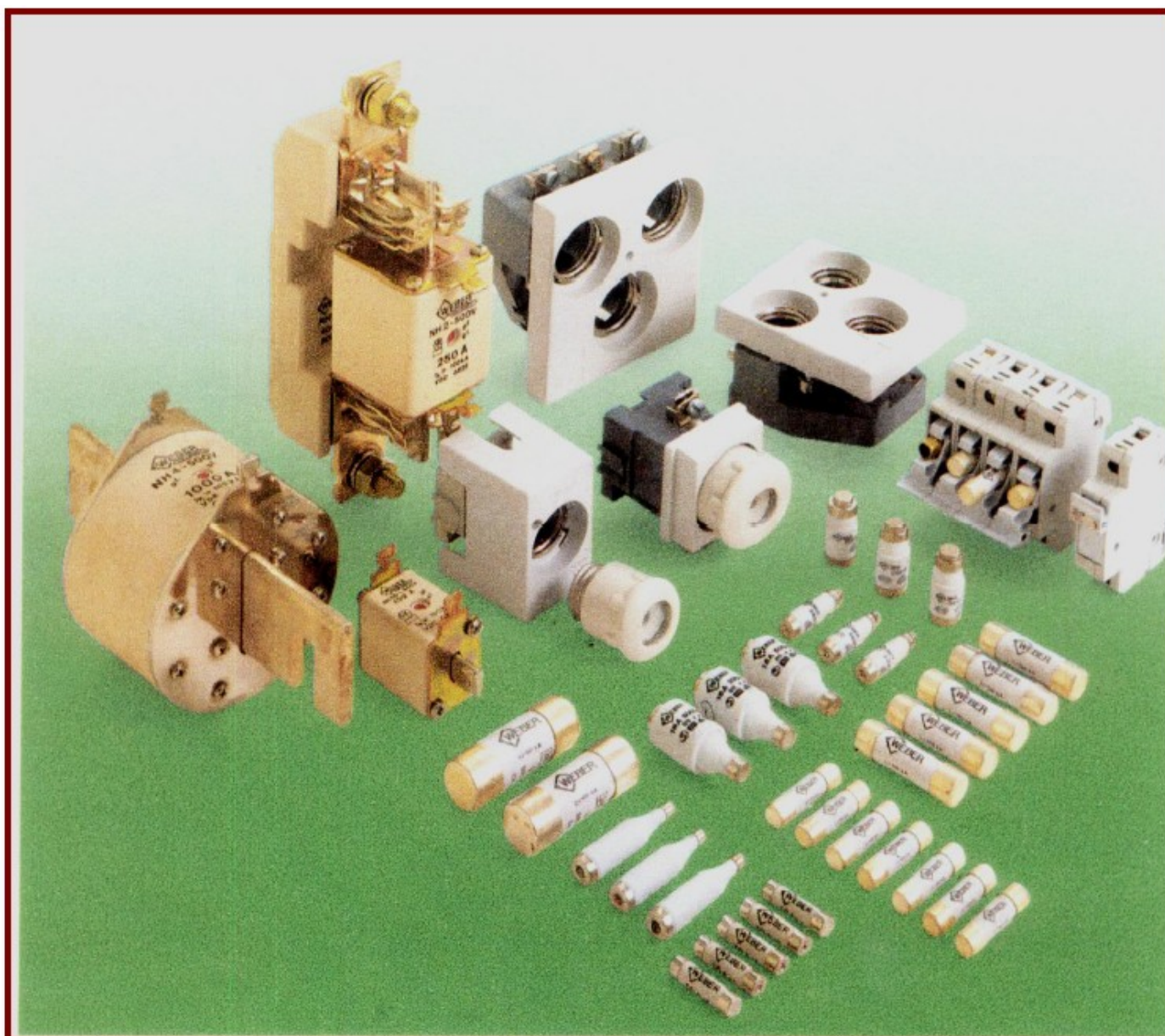


Figura 5: Diferentes tipos de fusible

Característica tiempo-corriente

La *característica tiempo-corriente* de un dispositivo fusible da el tiempo virtual de fusión o de interrupción, en función de la corriente presumida simétrica bajo condiciones específicas de operación. La faja comprendida entre la característica de tiempo mínimo de fusión y la de tiempo máximo de interrupción de corriente se denomina *zona de fusión tiempo-corriente*.

En la figura siguiente se representa la zona tiempo-corriente de un dispositivo fusible:

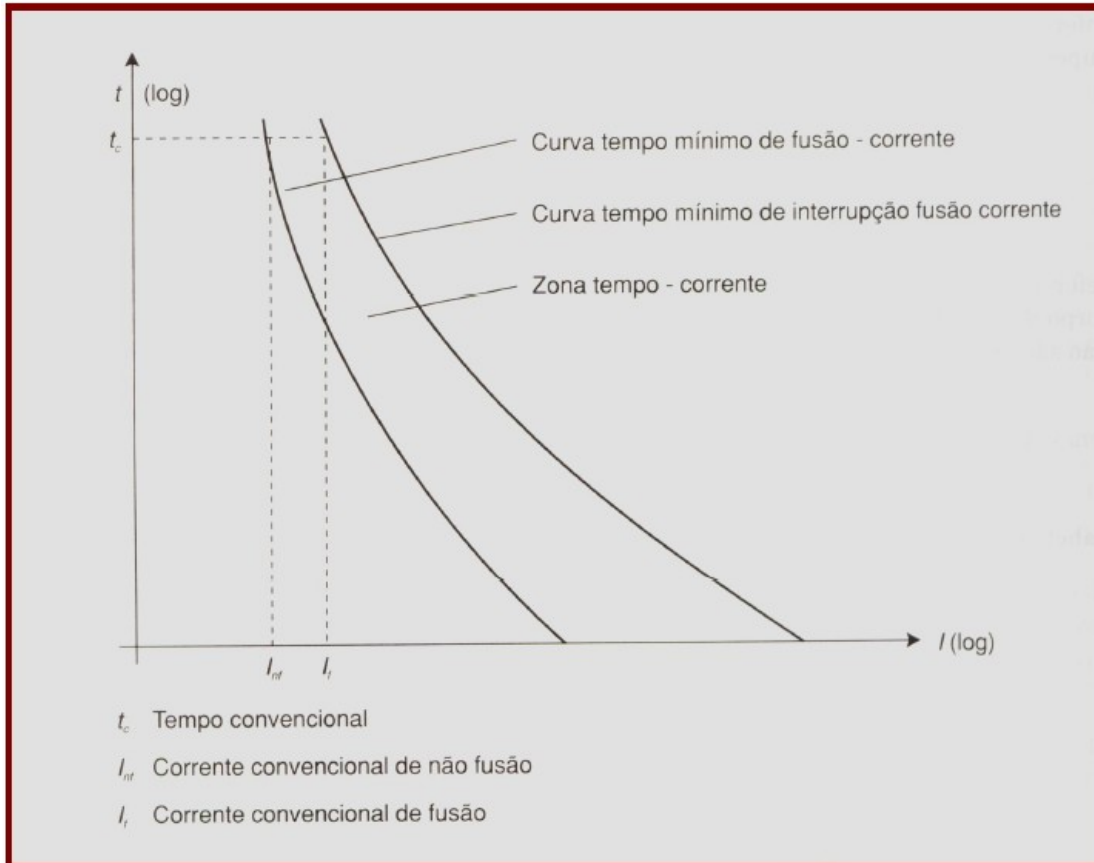


Figura 6: Zona tiempo-corriente de un dispositivo fusible

En la tabla siguiente se indican las corrientes convencionales de no fusión y de fusión para dispositivos fusibles tipo gG de baja tensión, y los tiempos convencionales según la norma IEC 60269:

Corriente nominal I_n (A)	Corriente convencional de no fusión I_{nf}	Corriente convencional de fusión I_f	Tiempo convencional t_c (h)
$I_n \leq 4$ A	$1.5 I_n$	$2.1 I_n$	1
4 A < $I_n \leq 16$ A	$1.5 I_n$	$1.9 I_n$	1
16 A < $I_n \leq 63$ A	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	1
63 A < $I_n \leq 160$ A	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	2
160 A < $I_n \leq 400$ A	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	3
$400 < I_n$	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	4

Tabla 4: Partes de la Norma IEC 60269

Como se puede observar los dispositivos fusibles tipo gG tienen una corriente convencional de fusión de 1.6 a 2.1 I_n , por lo que tienen una pobre performance en la protección contra sobrecargas pequeñas, y resulta necesario en este caso instalar cables de mayor capacidad de conducción de corriente para evitar las consecuencias de posibles sobrecargas pequeñas durante un largo tiempo (por ejemplo sobrecargas de hasta un 60% durante 1 hora en el peor caso).

En el caso de los fusibles tipo aM la corriente convencional de fusión es de 3 a 4 I_n , por lo que son fusible que sólo protegen frente a cortocircuitos.

En las figuras siguientes se representan las características tiempo-corriente que dan los fabricantes para las diferentes corrientes nominales de dispositivos fusibles:

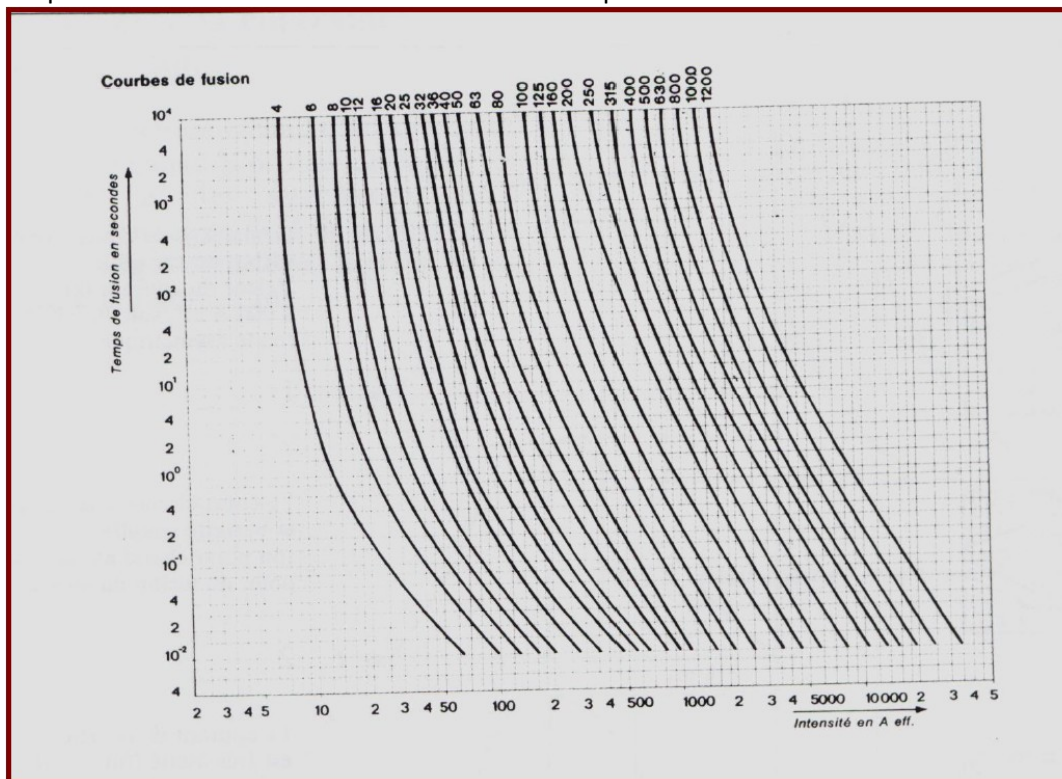


Figura 7: Dispositivos fusibles tipo gG

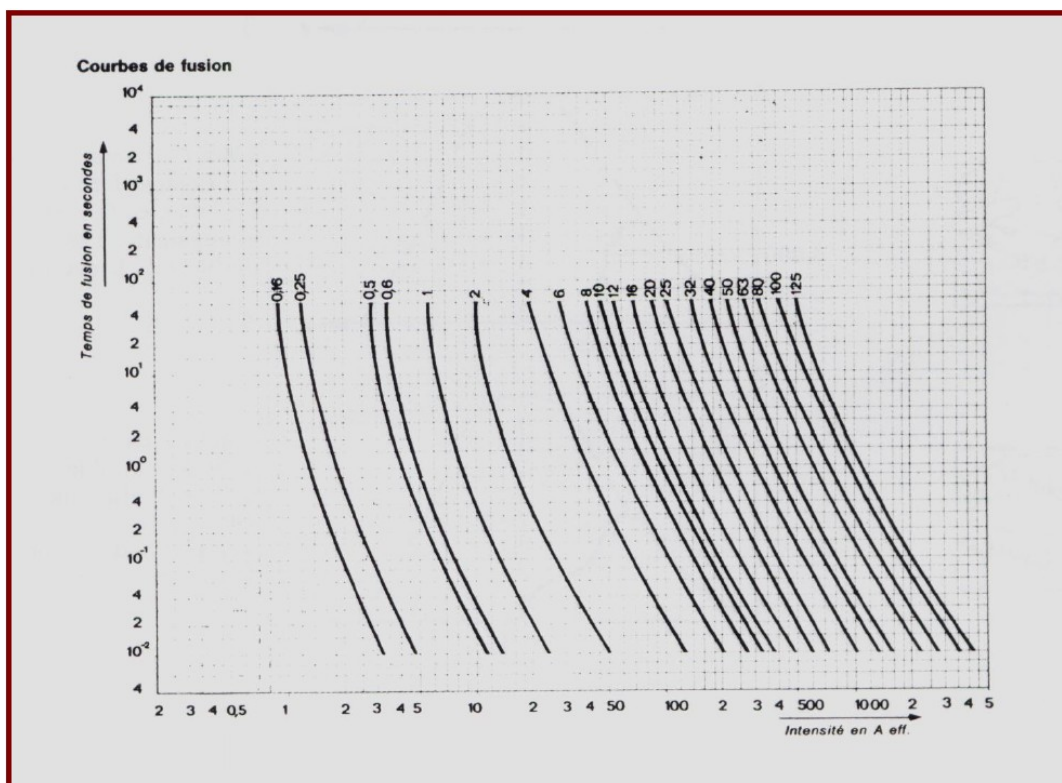


Figura 8: Dispositivos fusibles tipo aM

Limitación de Corriente

Los dispositivos fusibles debido a su rápida interrupción para corrientes elevadas de cortocircuito, presentan la característica de limitar la corriente interrumpiendo antes del primer pico de la corriente, por lo cual la corriente de cortocircuito nunca alcanza el valor de cresta presumido.

En la figura siguiente se representa la curva típica de limitación de corriente de un fusible:

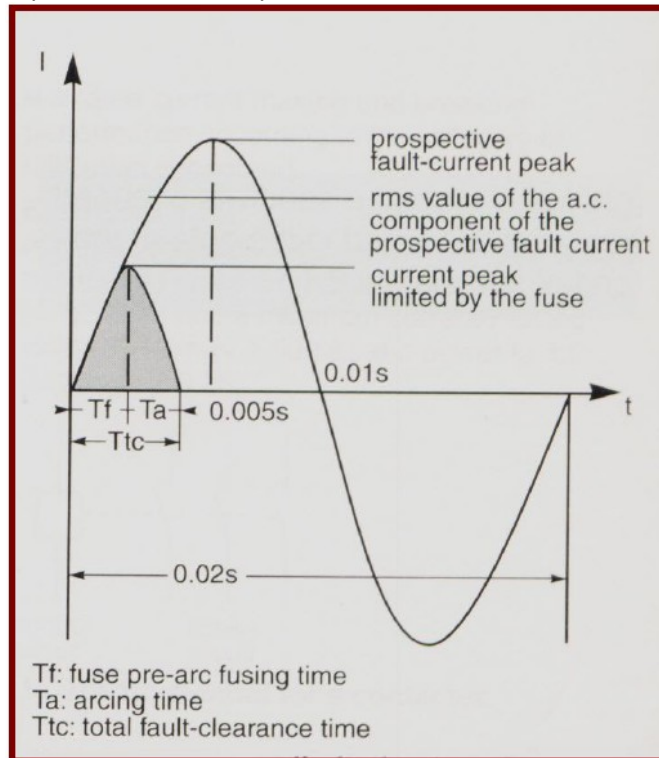


Figura 9: Curva típica de limitación de corriente de un fusible

Esta limitación de corriente reduce significativamente los esfuerzos térmicos y electrodinámicos, disminuyendo de esta forma los peligros y daños para las corrientes de cortocircuito elevadas.

La capacidad de apertura de los dispositivos de protección, tanto para los fusibles como para los interruptores automáticos, está dada en valor eficaz de la componente de alterna de la corriente de cortocircuito presumida y no de la corriente limitada.

En la figura siguiente se representan las curvas de limitación de la corriente de cresta que dan los fabricantes. Estas curvas se dan para valores nominales especificados de tensión, frecuencia y factor de potencia del cortocircuito (X/R):

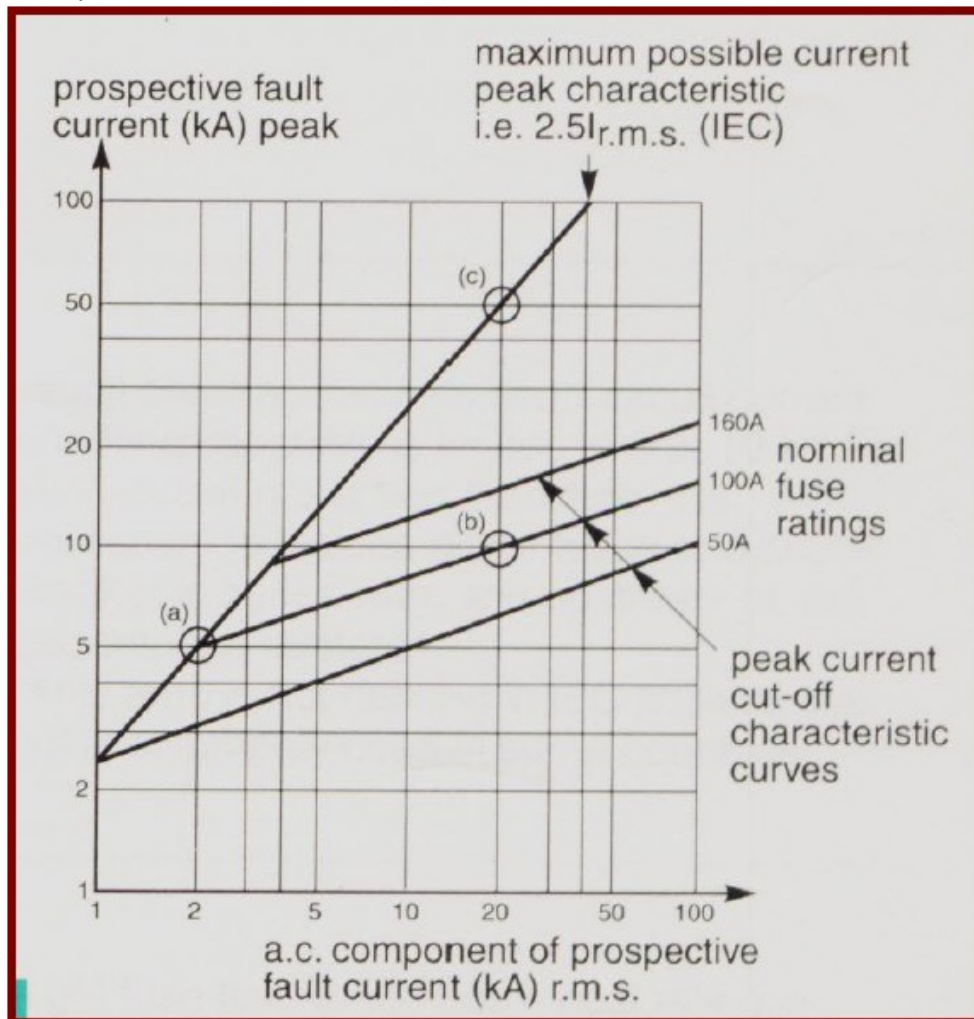


Figura 10: Curvas de limitación de corriente de cresta

Recordemos que la corriente de cortocircuito inicialmente contiene una componente de continua, y que la magnitud y la duración de dicha componente depende de la relación X/R del circuito cortocircuitado.

Cerca del transformador de potencia la relación entre la corriente de cresta y el valor eficaz (I_{cresta}/I_{rms}) de la componente de alterna inmediatamente al instante del cortocircuito puede llegar a ser cómo máximo igual a 2.5, que es el que se indica en la figura anterior. En los niveles más bajos de la instalación, la reactancia X será menor que la resistencia R y para los circuitos terminales la relación (I_{cresta}/I_{rms}) @ 1.4 que corresponde a un factor de potencia de 0.95.

Como se puede observar en el gráfico, el efecto de limitación de la corriente de cresta ocurre sólo cuando la corriente de cortocircuito presumida supera un cierto nivel. Como ejemplo, en el gráfico de arriba un fusible de corriente nominal 100 A comienza a limitar la corriente de cresta para una corriente de cortocircuito presumida de 2 kArms (a), para una corriente de cortocircuito presunta de 20 kArms limita la corriente de cresta a 10 kAcresta, sin un fusible limitador la máxima corriente de cresta presumida sería 50 kAcresta.

4.1.4. Principales características de los dispositivos fusibles

- Son de operación simple.
- Son de bajo costo.
- No poseen capacidad de efectuar maniobras.
- Son unipolares, en consecuencia pueden causar daños a las cargas.
- Su característica tiempo-corriente no es ajustable, sólo se puede cambiar la corriente nominal del fusible o el tipo de fusible.
- No son de operación repetitiva, deben ser reemplazados luego de su actuación, pudiendo ser utilizado en ese caso un fusible inadecuado.
- Constituyen esencialmente una protección contra cortocircuitos, son más rápidos que los interruptores automáticos para corrientes de cortocircuito y lentos para corrientes de sobrecarga.

A continuación se presentan copias de las curvas características de un fabricante y de un tipo de fusible:

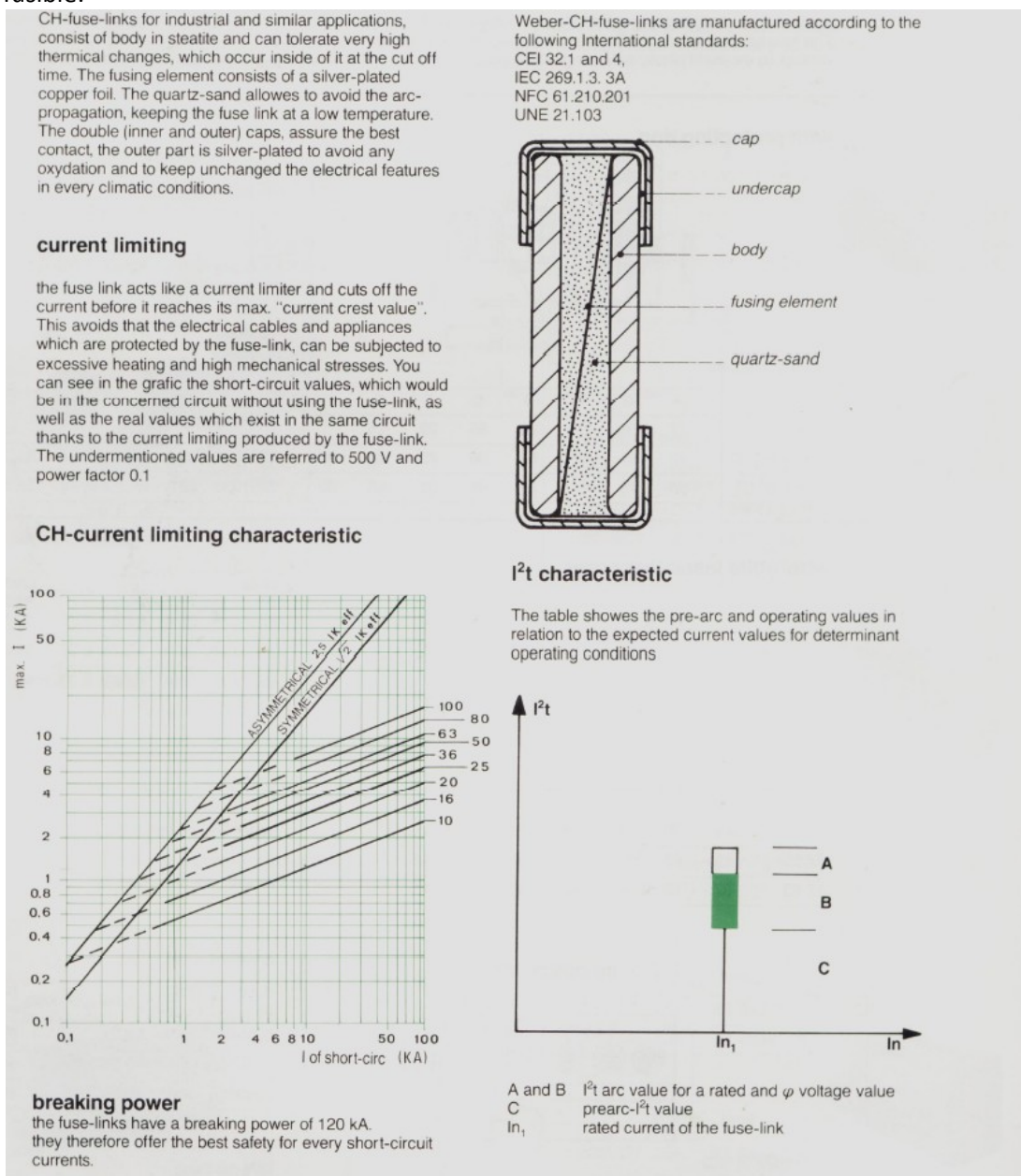


Figura 11: Curvas características de un fabricante y de un tipo de fusible



CH-fuse-links 500 V AC

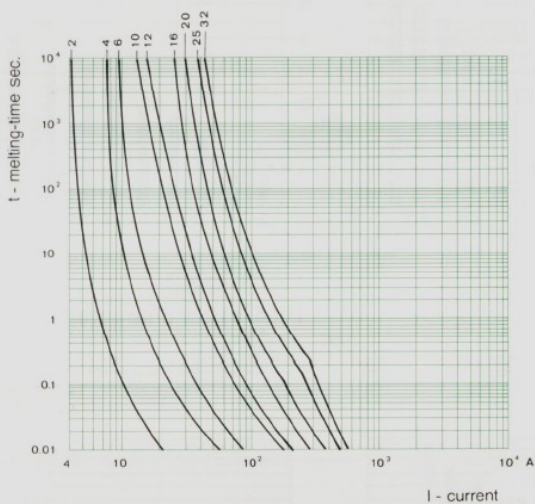
melting characteristic

CH-fuse-links have been planned to meet the whole market requirements and assure the limits which are allowed by the standards relevant to the operating classes: **g** and **aM**.
g-fuse-links for general applications, able to cut off under

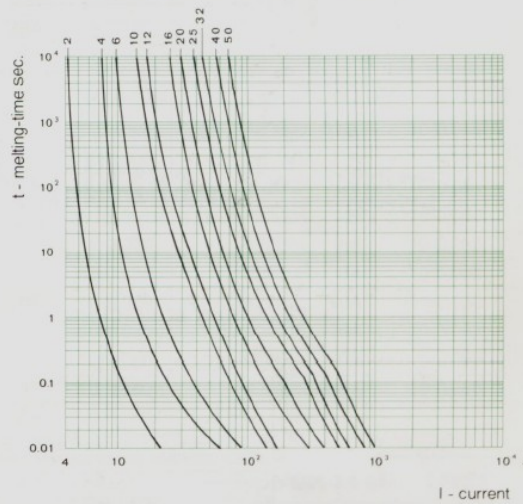
specific conditions, all the currents included between the min. current which produces the melting (I_f) and that corresponding to its own rated cut-off power (I_n).
aM-fuse-links for combined applications, usually called for "motors starting".

time-current characteristics

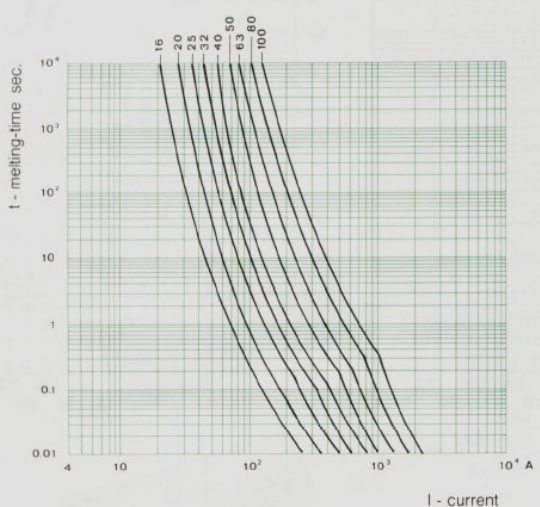
fuse-links type CH 10 gl 10,3x38



fuse-links type CH 14 gl 14x51



fuse-links type CH 22 gl 22x58



fuse-links type CH aM

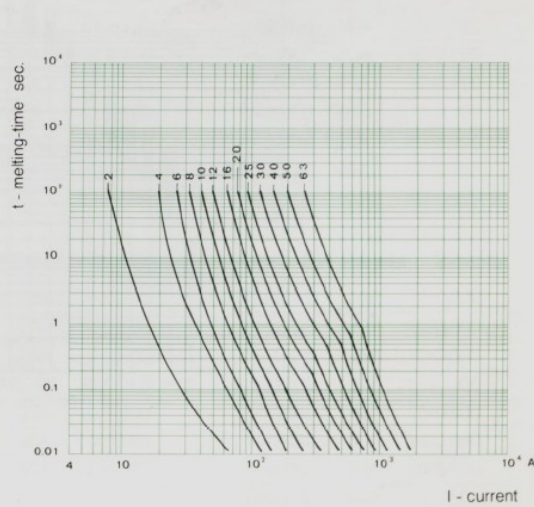
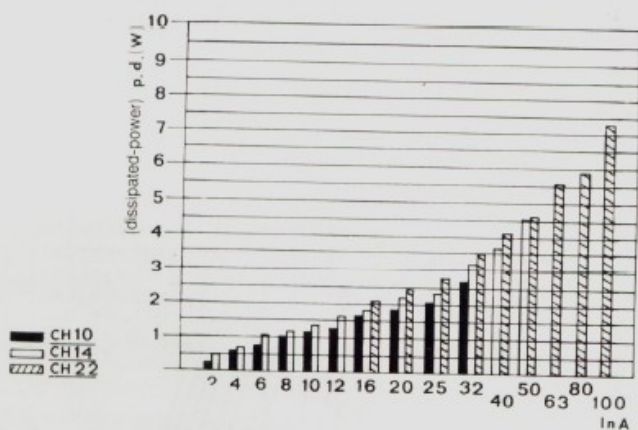


Figura 12: Curvas características de un fabricante y de un tipo de fusible

CH-fuse-links 500 V AC

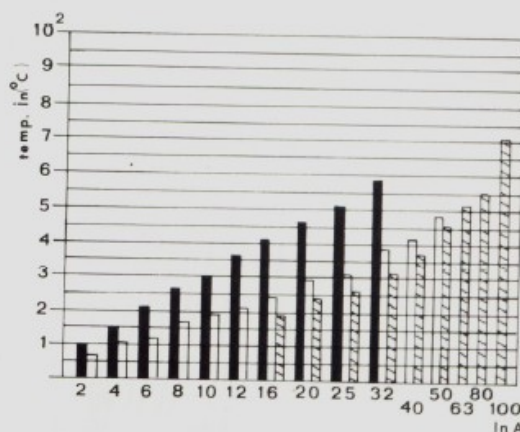
dissipated power

table of the dissipated powers referred to the three sizes of CH-fuse-links for each current value, compared with the values allowed by the referred to g-class standards.

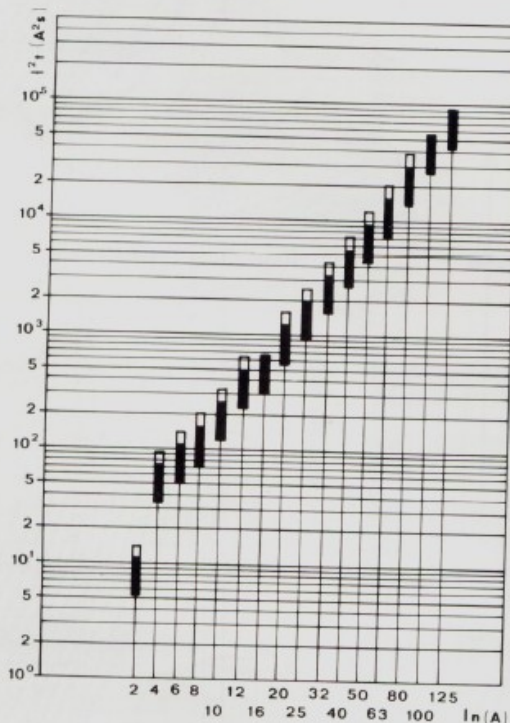


overtemperature

the undermentioned temperatures have been measured in °C on the metal parts. The low powers dissipated by the fuse-link allow a considerable energy saving. The low temperature reduces eventual damages by an excessive heating, keeping the contacts unchanged.



I²t (A²s) g^l characteristic



I²t(A²s) aM characteristic

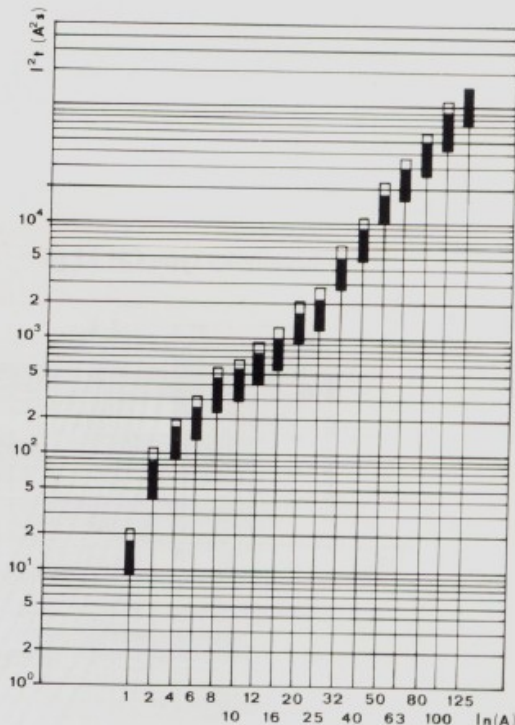


Figura 13: Curvas características de un fabricante y de un tipo de fusible

4.2. Interruptor Automático

4.2.1. Generalidades

El Interruptor automático es un dispositivo de maniobra capaz de establecer, conducir y cortar corrientes bajo condiciones normales de funcionamiento y también establecer, conducir por un determinado tiempo y cortar corrientes bajo condiciones anormales, por ejemplo cortocircuito.

Este dispositivo es el único capaz de satisfacer simultáneamente todas las funciones básicas necesarias en una instalación eléctrica (Seccionamiento, Protección eléctrica y Comando). Además por medio de unidades auxiliares puede proveer otras funciones adicionales, como ser: indicación de estado y de disparo con contactos auxiliares, disparo por subtenensión equipado con bobina de mínima tensión, comando remoto con bobinas de cierre y apertura, protección contra fallas de aislamiento equipado con relé de corriente diferencial, medida, etc.

Las normas IEC que regulan la fabricación de los interruptores son las siguientes:

Norma IEC	Descripción
IEC 60898	<i>“Interruptores para instalaciones domésticas y análogos”</i>
IEC 60947-2	<i>“Interruptores para instalaciones industriales”</i>

Tabla 5: Normas IEC que regulan la fabricación de interruptores

En la figura siguiente se representa una vista de un interruptor automático del tipo de riel, donde se distinguen las principales partes que componen los mismos:

- Contacto fijo y contacto móvil.
- Cámara de extinción del arco.
- Maneta de operación manual ligada con mecanismo de maniobra.
- Mecanismo de disparo.
- Bimetálico para la protección contra corrientes de sobrecargas
- Bobina electromagnética para la protección contra corrientes de cortocircuitos.
- Bornes de conexión.
- Caja de protección (envolvente aislante).

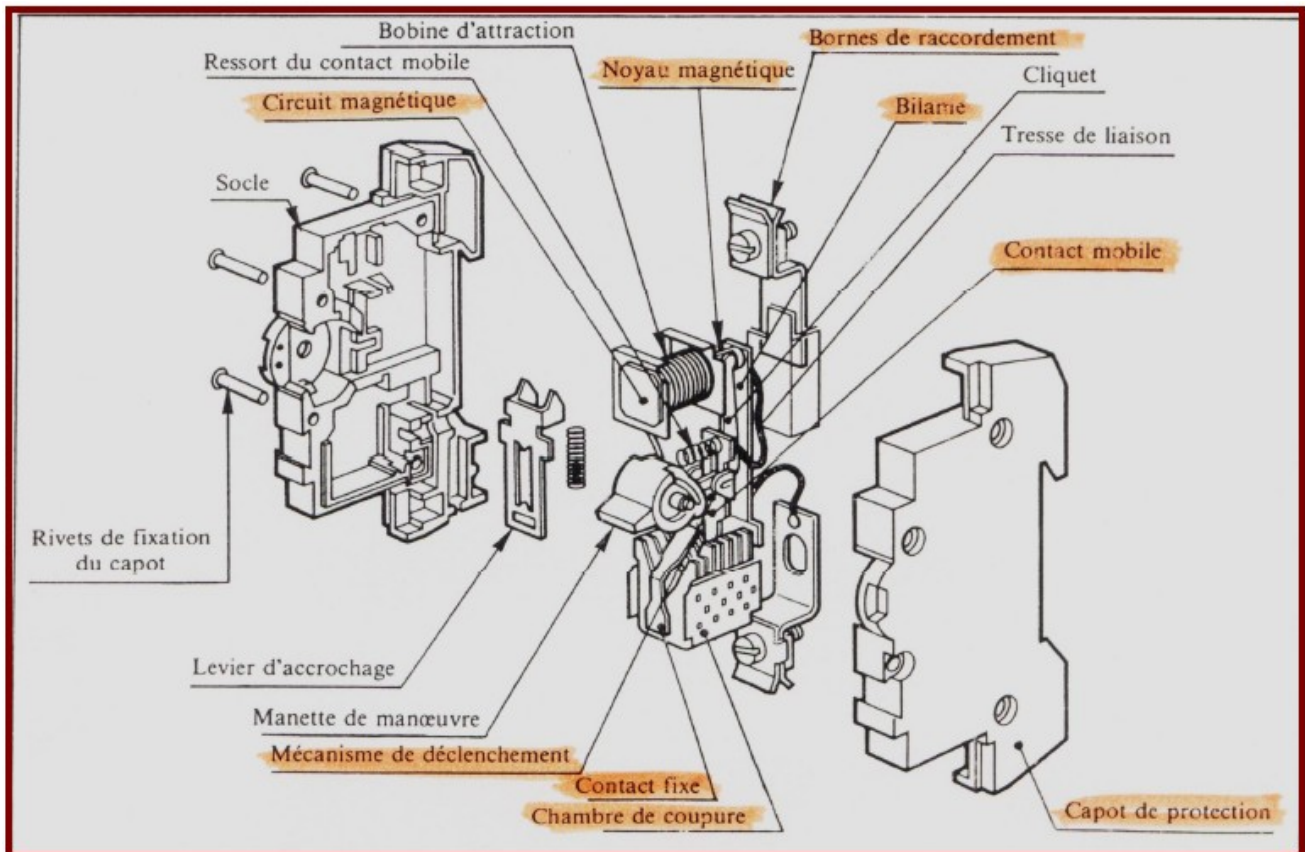


Figura 14: Vista de un interruptor automático del tipo de riel

Se fabrican básicamente los siguientes tipos de interruptores automáticos de baja tensión:

- Compactos aislados en aire :
 - Denominados como *Interruptores automáticos de riel*, con corrientes nominales ≤ 125 A, utilizados en circuitos terminales y de distribución secundaria.

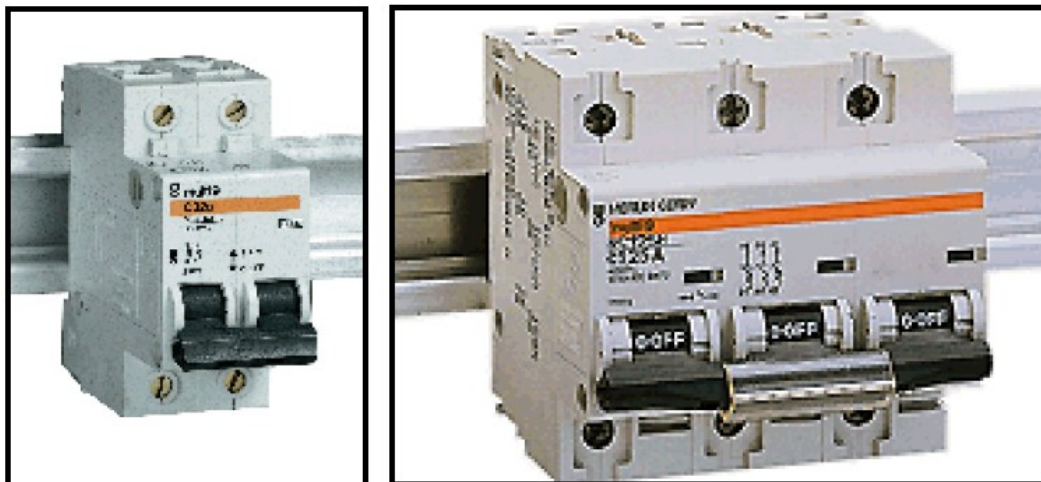


Figura 15: Interruptores automáticos de riel – 2P (izquierda) y 3P (derecha)

- Denominados *Interruptores automáticos de caja moldeada*, con corrientes nominales ≤ 3200 A, utilizados en distribución en general o como interruptores generales.

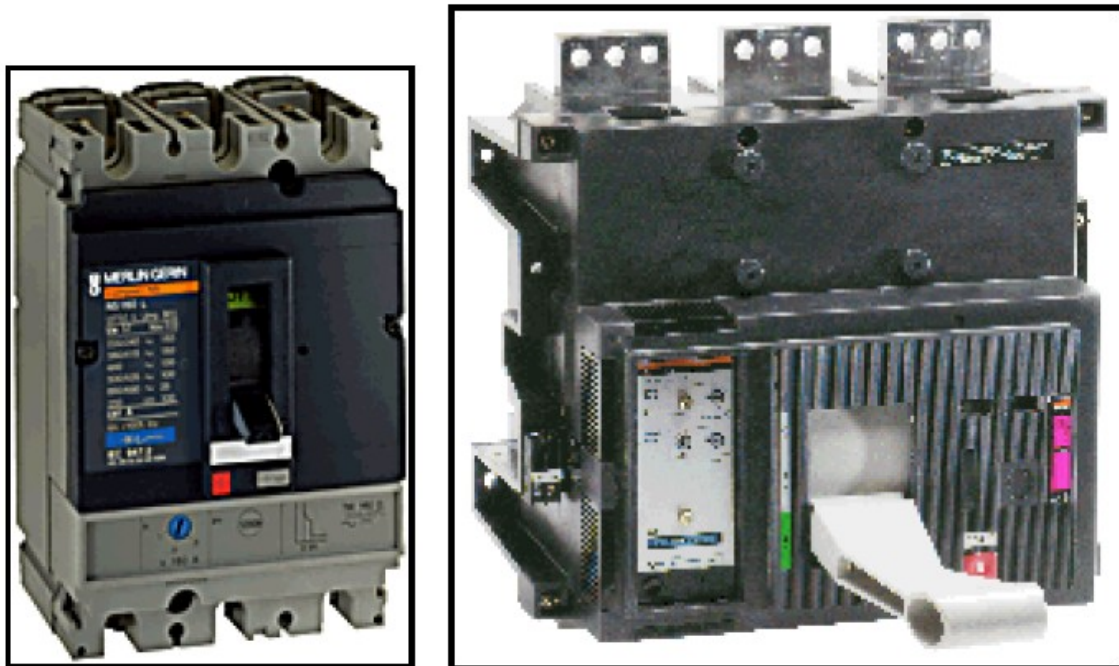


Figura 16: Interruptores automáticos de caja moldeada

- Denominados como *Interruptores automáticos de ejecución abierta*, con corrientes nominales de 800 a 6300 A, utilizados como interruptores generales de los tableros generales de instalaciones importantes.

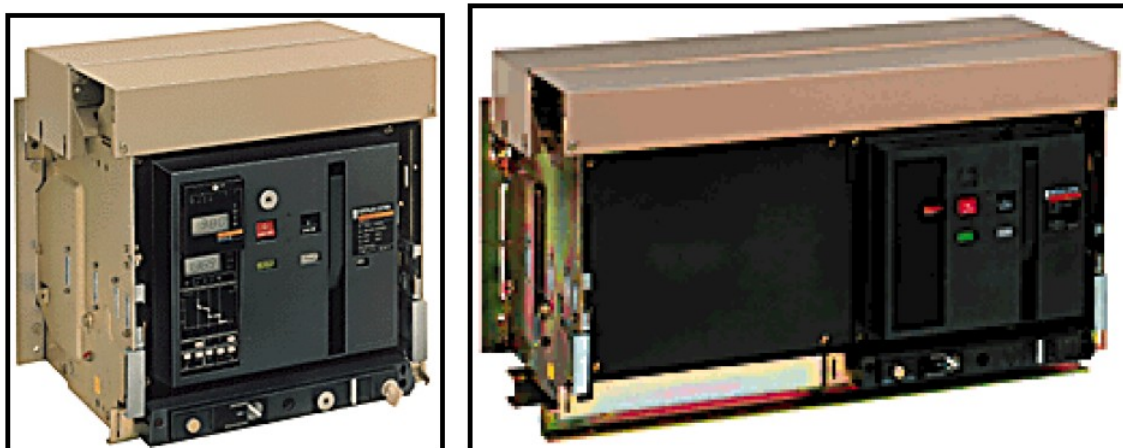


Figura 17: Interruptores automáticos de ejecución abierta

4.2.2. Operación

Los interruptores automáticos con unidades de disparo termomagnéticas poseen:

- Un disparador térmico para la protección contra sobrecorrientes moderadas (sobrecargas).
- Un disparador magnético para la protección contra sobrecorrientes elevadas (cortocircuito).

Para los interruptores automáticos del tipo caja moldeada existen interruptores con unidades de disparo electrónicas, con medida de la corriente a través de transformadores de corriente toroidales en cada fase.

Disparador térmico en unidades de disparo termomagnéticas.

Los disparadores térmicos operan para sobrecorrientes moderadas superiores a la corriente nominal o de regulación del interruptor. Están constituidos por un elemento bimetalico, y funcionan en base al principio del “par termoeléctrico”.

El elemento “bimetálico” contiene dos láminas metálicas con diferente coeficiente de dilatación, unidas por soldadura. La lámina de mayor coeficiente de dilatación provoca la curvatura del bimetálico y el disparo del interruptor a través de un mecanismo apropiado.

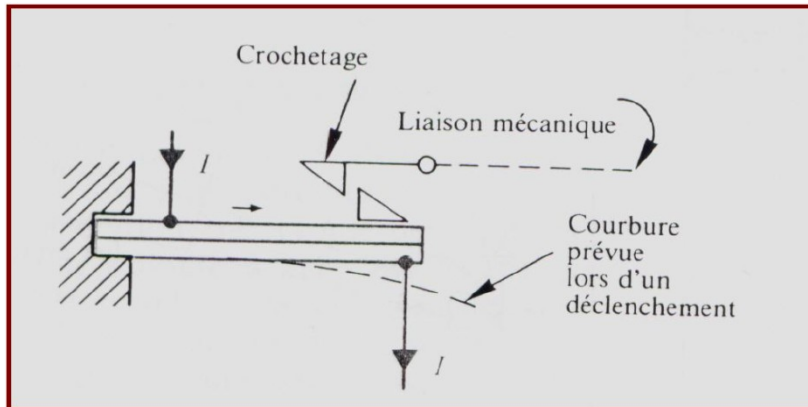


Figura 18: Esquema simplificado del disparador térmico

La regulación de la corriente de disparo térmico en este tipo de interruptores termomagnéticos, es actuando sobre la curvatura de las láminas. Para los interruptores automáticos del tipo caja moldeada las unidades de disparo térmico son reemplazables.

El térmico debe operar a partir de una corriente determinada, referida a una temperatura de calibración, por lo que para temperaturas ambientes superiores a la de calibración, el interruptor podría actuar para corrientes inferiores a la de ajuste.

Existen interruptores con disparadores térmicos con compensación de temperatura, en un rango de variación de temperatura.

La corriente nominal del interruptor automático está definida para una determinada temperatura ambiente, generalmente 30 °C para interruptores de uso doméstico (IEC 60898) y 40 °C para interruptores de uso industrial (IEC 60947-2).

La performance de los interruptores a otra temperatura ambiente depende principalmente de la tecnología de las unidades de disparo, siendo esta una de las grandes ventajas de las unidades de disparo electrónica, las cuales no son afectadas por la variación de temperatura dentro de un rango.

En particular para los interruptores con unidad de disparo termomagnético no compensada, a la corriente de ajuste se le debe aplicar un factor para las diferentes temperaturas de funcionamiento, establecido en tablas.

C60a. C60H: curve C. C60N: curves B and C (reference temperature: 30 °C)

rating (A)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1.05	1.02	1.00	0.98	0.95	0.93	0.90	0.88	0.85
2	2.08	2.04	2.00	1.96	1.92	1.88	1.84	1.80	1.74
3	3.18	3.09	3.00	2.91	2.82	2.70	2.61	2.49	2.37
4	4.24	4.12	4.00	3.88	3.76	3.64	3.52	3.36	3.24
6	6.24	6.12	6.00	5.88	5.76	5.64	5.52	5.40	5.30
10	10.6	10.3	10.0	9.70	9.30	9.00	8.60	8.20	7.80
16	16.8	16.5	16.0	15.5	15.2	14.7	14.2	13.8	13.5
20	21.0	20.6	20.0	19.4	19.0	18.4	17.8	17.4	16.8
25	26.2	25.7	25.0	24.2	23.7	23.0	22.2	21.5	20.7
32	33.5	32.9	32.0	31.4	30.4	29.8	28.4	28.2	27.5
40	42.0	41.2	40.0	38.8	38.0	36.8	35.6	34.4	33.2
50	52.5	51.5	50.0	48.5	47.4	45.5	44.0	42.5	40.5
63	66.2	64.9	63.0	61.1	58.0	56.7	54.2	51.7	49.2

NS250N/H/L (reference temperature: 40 °C)

rating (A)	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
TM160D	160	156	152	147	144
TM200D	200	195	190	185	180
TM250D	250	244	238	231	225

tables H2-38: examples of tables for the determination of derating/uprating factors to apply to CBs with uncompensated thermal tripping units, according to temperature.

Figura 19: Ejemplo de tablas con factores para compensar la corriente de ajuste

Como ejemplo, se puede observar según la tabla anterior un modelo NS250 con una unidad de disparo termomagnética TM160D, que es de una corriente nominal 160 A a 40 °C (temperatura ambiente de referencia), su corriente nominal se reduce a 152 A a 50° C.

Disparador magnético en unidades de disparo termomagnéticas

La figura muestra esquemáticamente el principio de funcionamiento de un disparador magnético, la armadura es tensionada mediante un resorte y por encima de un valor de corriente determinado (corriente de actuación) se vence la tensión del resorte y la armadura es atraída por el núcleo produciendo la apertura del interruptor a través de un mecanismo apropiado.

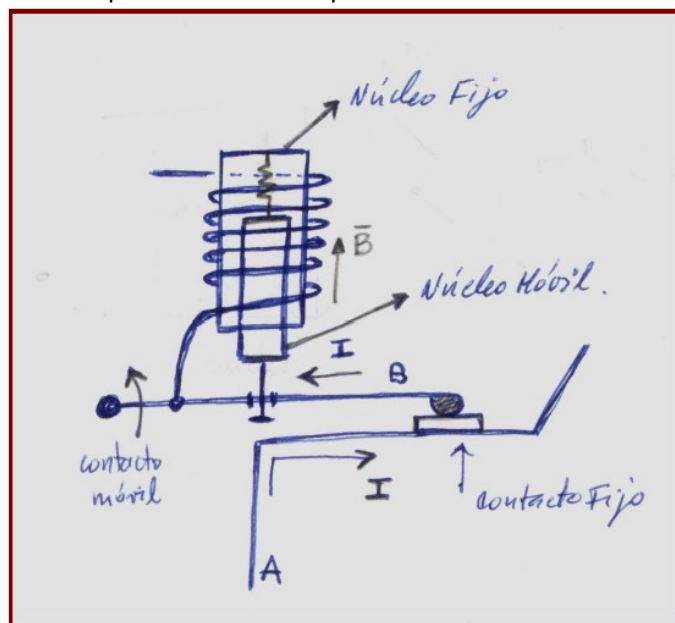


Figura 20: Esquema simplificado del disparador magnético

En el caso que la corriente de disparo magnético sea regulable, en unidades de disparo termomagnéticas el ajuste se realiza por la variación del entrehierro o de la tensión del resorte. El disparo magnético puede ser instantáneo (cuando no existe ninguna temporización intencional) o temporizado.

4.2.3. Características

Características eléctricas

Además de las magnitudes que se indicaron en el Punto 2 para los dispositivos de maniobra y protección (tensión nominal, tensión nominal de aislamiento, tensión nominal de impulso, corriente térmica nominal, corriente ininterrumpida nominal, etc.), para los interruptores automáticos la norma IEC define:

- Capacidad de interrupción de cortocircuito último (I_{cu} para interruptores de uso industrial o I_{cn} para los de uso doméstico): es el valor de corriente de cortocircuito de interrupción asignado por el fabricante a la tensión nominal y en las condiciones de ensayo especificadas, correspondiente a la secuencia de operación **O-t-CO** (Apertura –Tiempo de retardo – Cierre – Apertura). Se expresa como el valor eficaz de la componente de alterna de la corriente de cortocircuito presumida en kArms.
- Capacidad de interrupción de cortocircuito en servicio (I_{cs}): es el valor de corriente de cortocircuito de interrupción asignado por el fabricante para la tensión nominal y en las condiciones de ensayo especificadas, correspondiente a la secuencia de operación **O-t-CO-t-CO**. Se expresa como un porcentaje de I_{cu} , generalmente 25, 50 o 100 %.

La corriente I_{cu} representa la máxima corriente que el Interruptor pueda verse precisado a cortar que es la corriente de cortocircuito presumida. Decimos puede verse precisado a cortar porque en la práctica, la corriente presumida es calculada despreciando una serie de factores (resistencia de contacto de los interruptores, conexiones, desprecio de las resistencias del arco, etc.), por lo que esta corriente es bastante superior a la real.

De todas formas, se define la corriente I_{cs} que representa la corriente que puede cortar el interruptor sin que ello comprometa la continuidad del servicio. Luego de la secuencia de operación O-t-CO-t-CO, tres aperturas consecutivas en cortocircuito, se realizan los ensayos de rigidez dieléctrica, calentamiento a corriente nominal, de relés y mecanismos de disparo, para verificar el normal funcionamiento del interruptor.

Los ensayos son realizados para determinados factores de potencia representativos de la mayoría de los sistemas de potencia.

I_{cu}	$\cos \varphi$
$6\text{kA} < I_{cu} \leq 10\text{kA}$	0.5
$10\text{kA} < I_{cu} \leq 20\text{kA}$	0.3
$20\text{kA} < I_{cu} \leq 50\text{kA}$	0.25
$50\text{kA} < I_{cu}$	0.2

Tabla 6: I_{cu} asociada al factor de potencia ($\cos \varphi$) de un circuito en falta (IEC 947-2)

- Corriente admisible de corta duración (I_{cw}): es el valor de corriente que un dispositivo de maniobra y protección es capaz de conducir en posición cerrada, durante un intervalo de tiempo especificado, en las condiciones prescritas de funcionamiento sin sufrir daños. Para corriente alterna es el valor eficaz de la componente de alterna de la corriente de

cortocircuito presumida, constante durante el tiempo especificado generalmente 1 segundo.

Se definen además dos *Categorías de utilización*, con relación a si el interruptor está diseñado específicamente para obtener selectividad, con un tiempo de retardo intencional en la apertura de corrientes de cortocircuitos.

- *Categoría A*: interruptor automático sin un retardo intencional en la operación del disparo magnético frente a cortocircuitos.
- *Categoría B*: con el objeto de obtener selectividad, es posible disponer de un tiempo de retardo intencional en el disparo, cuando la corriente de cortocircuito es menor a I_{cw} .

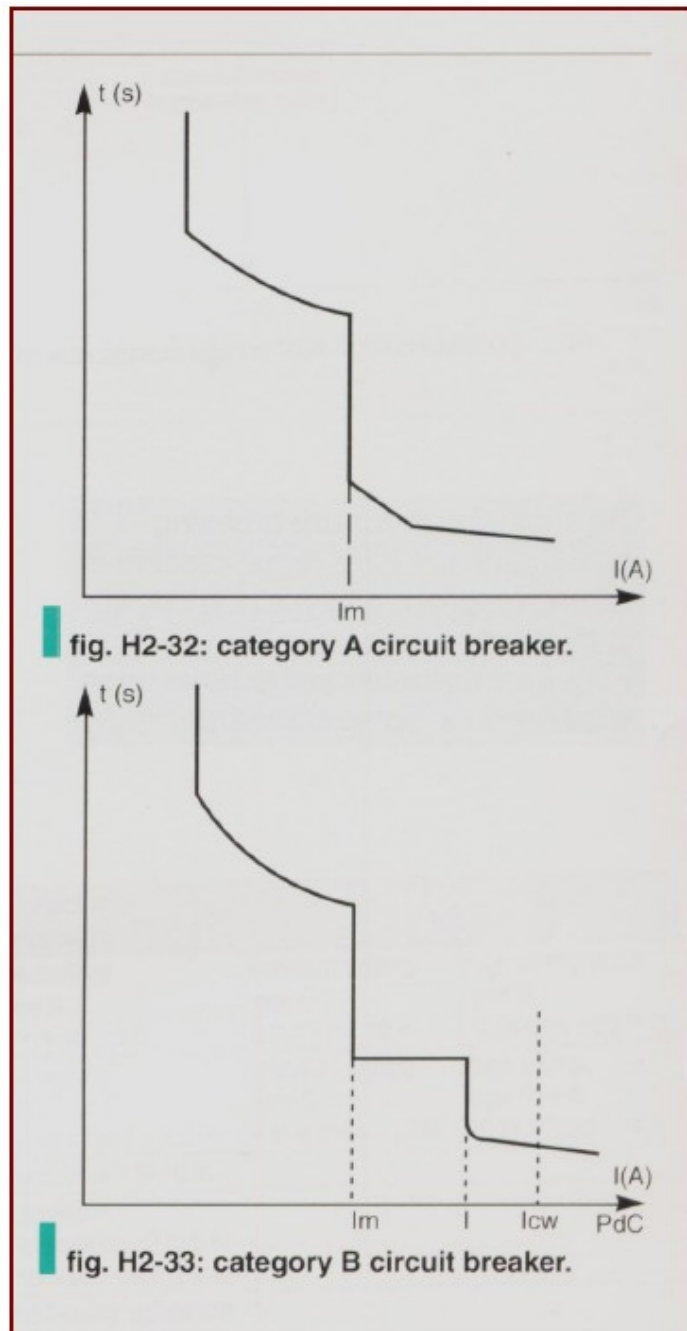


Figura 21: Categorías de utilización

- **Poder de cierre en cortocircuito (I_{cm}):** es el valor instantáneo máximo de corriente que el interruptor automático es capaz de establecer cuando el mismo cierra en cortocircuito. Este valor es asignado por el fabricante para la tensión nominal, frecuencia nominal y un factor de potencia especificado.

En CA es expresado como el máximo valor de cresta de la corriente de cortocircuito presumida y viene dado por un múltiplo de la Capacidad de interrupción última I_{cu} :

I_{cu}	$\cos \varphi$	$I_{cm} = k \times I_{cu}$
$6kA < I_{cu} \leq 10kA$	0.5	$1.7 \times I_{cu}$
$10kA < I_{cu} \leq 20kA$	0.3	$2 \times I_{cu}$
$20kA < I_{cu} \leq 50kA$	0.25	$2.1 \times I_{cu}$
$50kA < I_{cu}$	0.2	$2.2 \times I_{cu}$

Tabla 7: Relación entre la capacidad de interrupción de cortocircuito último I_{cu} y el poder de cierre en cortocircuito I_{cm} a diferentes valores de factores de potencia de corriente de cortocircuito, tal como está definido en la norma IEC 947-2

Características tiempo-corriente

En las siguientes curvas se muestran las características de disparo típicas para interruptores con unidad de disparo termomagnética y electrónica.

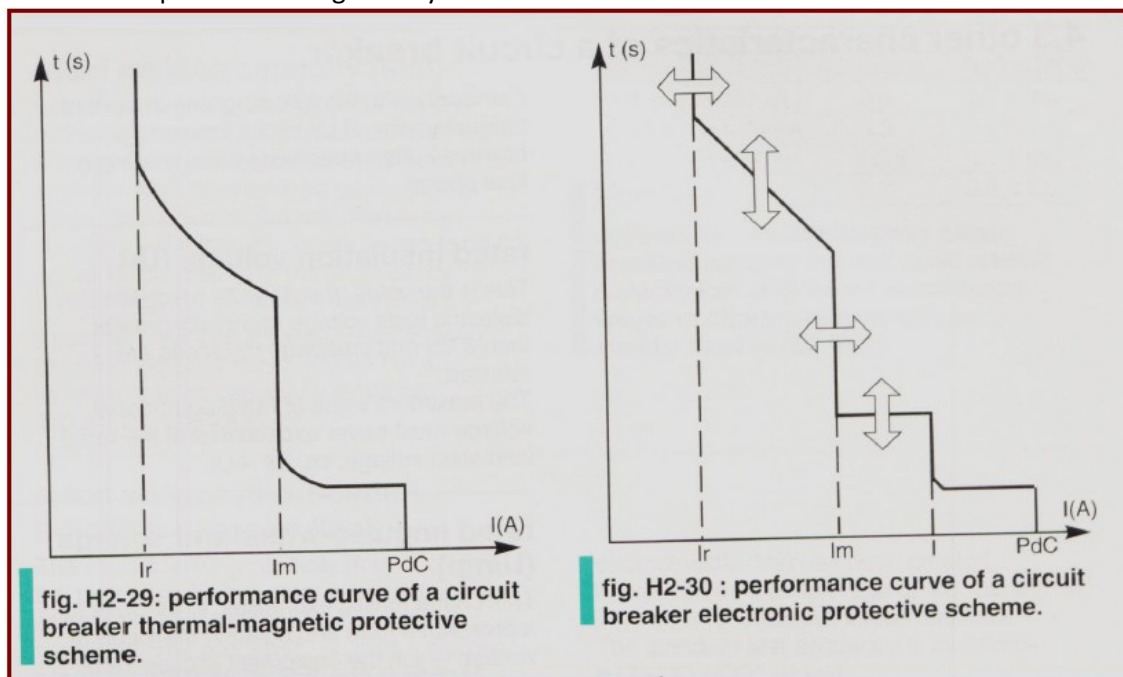


Figura 22: Características de disparo típicas para interruptores con unidad de disparo termomagnética (izquierda) y electrónica (derecha)

Donde,

I_r - Corriente de regulación del disparo térmico (corriente de largo retardo LT)

I_m - Corriente de regulación del disparo magnético temporizado (corriente de corto retardo ST)

I - Corriente del disparo magnético instantáneo

PdC - Capacidad de Interrupción en cortocircuito

En la tabla siguiente se indican los valores estándar de regulación de acuerdo a las normas IEC:

	Tipo Prot	Sobrecarga	Cortocircuito		
IEC 898	T/M	$I_r = I_n$ (fija)	Tipo B $3I_n \leq I_m < 5I_n$	Tipo C $5I_n \leq I_m < 10I_n$	Tipo D $10I_n \leq I_m < 20I_n$
IEC 947-2	T/M	$I_r = I_n$ (fija)	Fija $I_m \approx 7$ a $10 I_n$		
		$0.7I_n \leq I_r < I_n$ (ajustable)	Ajustable Bajo seteo : 2 a 5 I_n Standard : 5 a 10 I_n		
	Electrónica	Largo retardo $0.4I_n \leq I_r < I_n$	Corto retardo (ajustable) $1.5 I_r \leq I_m < 10 I_r$ Instantáneo (fijo) $I \approx 12$ a $15 I_n$		

Tabla 8: Valores estándar de regulación

Los interruptores automáticos del tipo de riel vienen equipados sólo con unidad de disparo termomagnética, con disparo térmico fijo igual a la corriente nominal, y con tres curvas normalizadas de disparo magnético:

- Curva B: el disparo magnético actúa entre $3I_n$ y $5I_n$
- Curva C: el disparo magnético actúa entre $5I_n$ y $10I_n$
- Curva D: el disparo magnético actúa entre $10I_n$ y $20I_n$

En el cuadro siguiente se indican las características principales de los interruptores de riel con curva B, C y D:

Curva de intervención	B	C	D
Norma	EN 60898, IEC 898	EN 60898, IEC 898	EN 60898, IEC 898
Corriente nominal I_n	6...63A	0,5..125A	0,5..100A
Intervención térmica			
Corrientes de prueba:			
corriente de no intervención I_{nf}	$1,13I_n$	$1,13I_n$	$1,13I_n$
tiempo de intervención	>1h	>1h	>1h
corriente de intervención I_f	$1,45 I_n$	$1,45 I_n$	$1,45 I_n$
tiempo de intervención	< 1h	< 1h	< 1h
Intervención electromagnética			
Corrientes de prueba:			
corriente de no intervención I_{m1}	$3I_n$	$5I_n$	$10I_n$
tiempo de intervención	> 0,1s	> 0,1s	> 0,15s
corriente de intervención I_{m2}	$5I_n$	$10I_n$	$20I_n$
tiempo de intervención	< 0,1s	< 0,1s	< 0,15s

Tabla 9: Características principales de los interruptores de riel con curva B, C y D

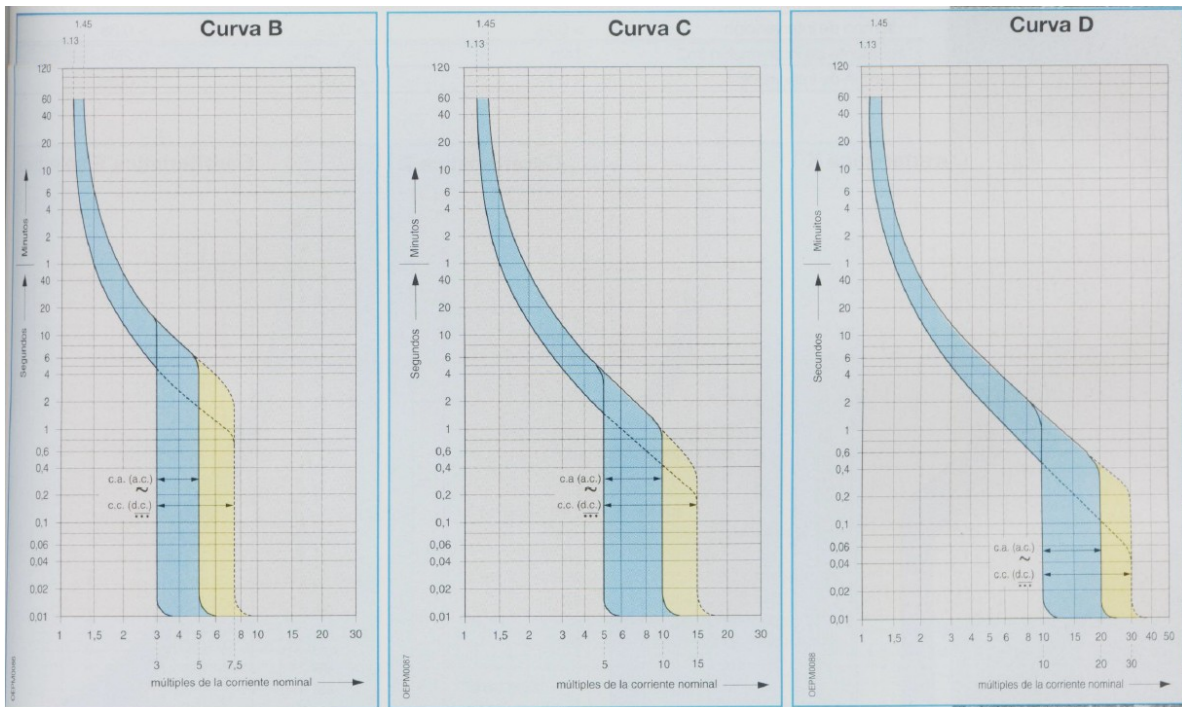


Figura 23: Características principales de los interruptores de riel con curva B, C y D

Al igual que para los fusibles, en los interruptores automáticos se define la corriente de actuación convencional (I_2) y la corriente de no actuación convencional (I_1).

En el caso de los interruptores automáticos se cumple:

Corriente de regulación I_r	I_1/I_r	I_2/I_r	t_c (h)
≤ 63 A	1.05	1.30	1
> 63 A	1.05	1.25	2

Tabla 10: Corriente de actuación convencional I_2 y corriente de no actuación convencional I_1

Limitación de Corriente

Existen interruptores que tienen la capacidad de limitar la corriente presunta de cortocircuito y se denominan *Interruptores Limitadores de Corriente*. Estos interruptores interrumpen la corriente de cortocircuito antes del primer pico, por lo cual la corriente de cortocircuito nunca alcanza el valor de cresta presumido.

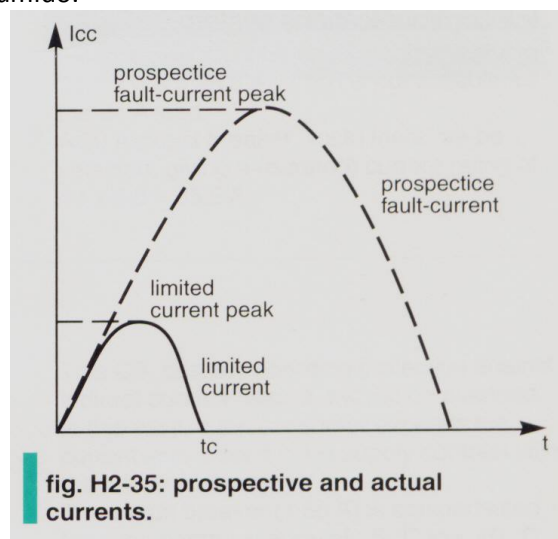


fig. H2-35: prospective and actual currents.

Figura 24: Corriente presumida y corriente real

Para los interruptores limitadores los fabricantes suministran gráficos de la corriente de cresta limitada similares a los de los dispositivos fusibles.

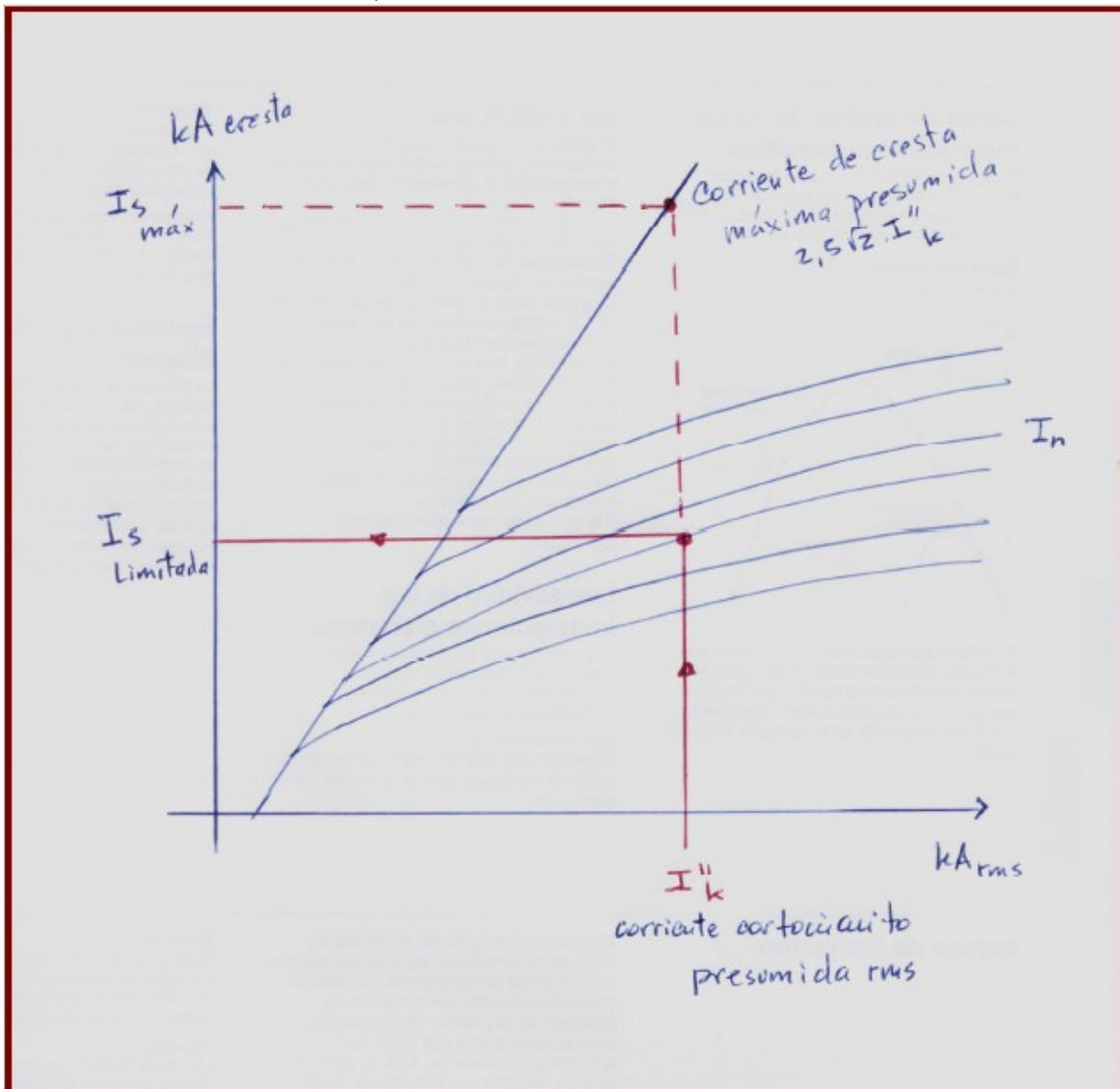


Figura 25: Corriente de cresta limitada asociada a interruptor limitador

Integral de Joule o Energía Específica (I^2t)

La *Integral de Joule* representada por el símbolo (I^2t) es el valor de la energía térmica por unidad de resistencia ($1 A^2s = 1 J/\Omega$) liberada en un circuito y se denomina Energía Específica:

$$(I^t) = \int_0^t i^2 \cdot dt$$

Esta magnitud asume una importancia fundamental en el estudio de los problemas térmicos resultantes de la circulación de corrientes elevadas y de muy corta duración como es el caso de las corrientes de cortocircuito.

Debido a la forma de onda de la corriente de cortocircuito en los primeros ciclos posteriores al cortocircuito, no es válido considerar constante el valor eficaz de la corriente. Por lo que para el estudio de los efectos térmicos, en particular el calentamiento de los conductores y la selección de los dispositivos de protección, no se puede separar la *Corriente del Tiempo*, y es necesario considerar la Energía Específica.

Para los interruptores automáticos los fabricantes suministran gráficos de la Energía Específica como se muestra en la figura siguiente:

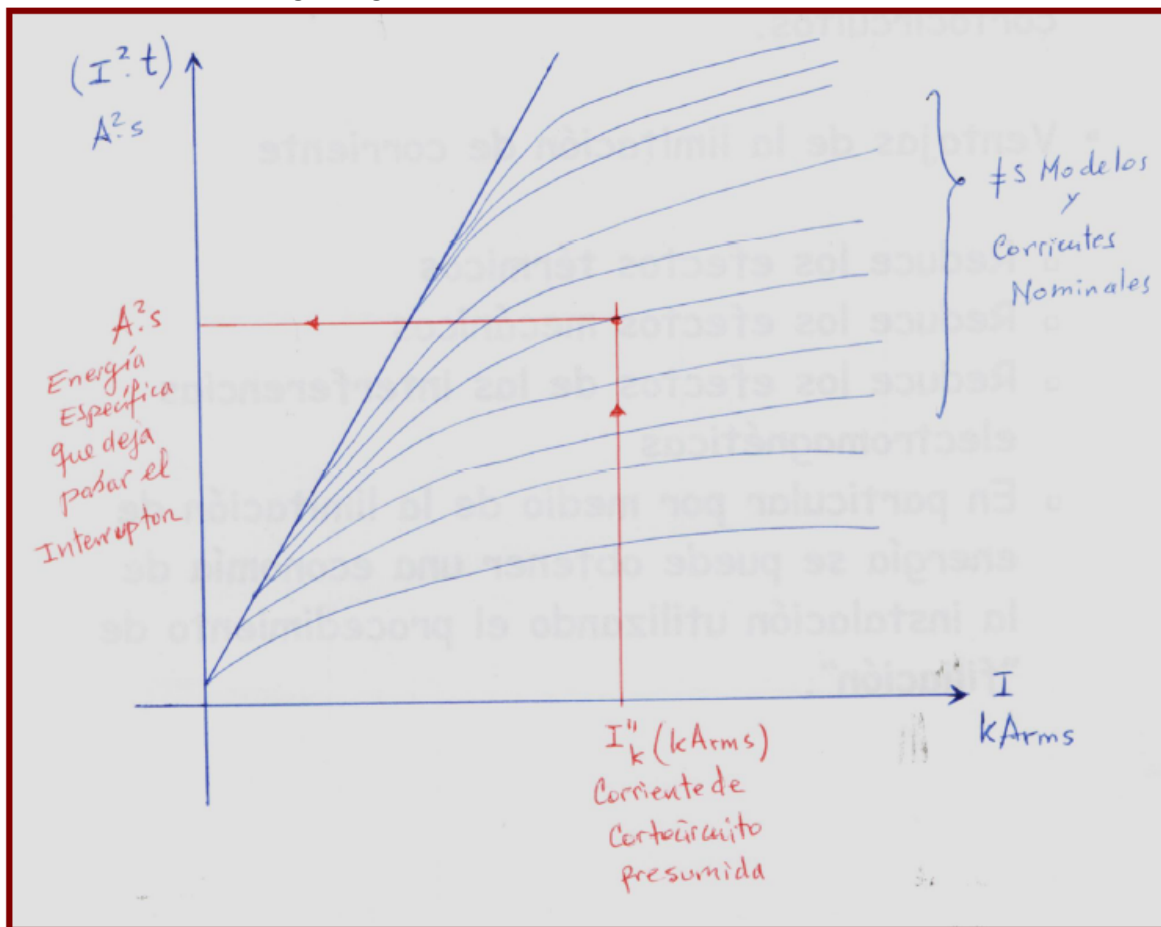


Figura 26: Gráfico de Energía Específica en interruptores automáticos

En el caso de los interruptores automáticos que cumplen con la norma IEC 60898 (uso doméstico o análogo), se clasifican según la “Clase de Limitación” de energía específica. Se adjunta tabla de la norma de referencia.

Tabla ZA.1
Valores permitidos para I^2t (exigencia térmica) para los interruptores automáticos con una corriente asignada hasta 16 A inclusive

Poder de corte asignado (A)	Clases de limitaciones de energía					
	1		2		3	
	I^2t máx. (A ² s)		I^2t máx. (A ² s)		I^2t máx. (A ² s)	
	Tipos B y C		Tipo B	Tipo C	Tipo B	Tipo C
3 000			31 000	37 000	15 000	18 000
3 000	sin límite especificado		60 000	75 000	25 000	30 000
6 000			100 000	120 000	35 000	42 000
10 000			240 000	290 000	70 000	84 000

Tabla ZA.2
Valores permitidos para I^2t (exigencia térmica) para los interruptores automáticos con una corriente asignada superior a 16 A y hasta 32 A inclusive

Poder de corte asignado (A)	Clases de limitaciones de energía					
	1		2		3	
	I^2t máx. (A ² s)		I^2t máx. (A ² s)		I^2t máx. (A ² s)	
	Tipos B y C		Tipo B	Tipo C	Tipo B	Tipo C
3 000			40 000	50 000	18 000	22 000
4 500	sin límite especificado		80 000	100 000	32 000	39 000
6 000			130 000	160 000	45 000	55 000
10 000			310 000	370 000	90 000	110 000

Tabla 11: Clases de limitaciones de energía (UNIT)

Se puede observar en la tabla que un interruptor de corriente nominal ≤ 16 A con curva de disparo tipo C y poder de corte 6000 A en IEC 60898, con Clase 3 debe limitar la energía específica a un inferior o igual a 42000 A²s.

Ventajas de la limitación de corriente:

- Limita la energía específica por lo que reduce los efectos térmicos debidos a las corrientes de cortocircuito. En particular reduce el calentamiento de los conductores del circuito aguas abajo en caso de cortocircuito.
- Limita la corriente de cresta presumida de cortocircuitos por lo que reduce los efectos mecánicos. Las fuerzas electrodinámicas son menores con un menor riesgo de deformación de barras y posible ruptura.
- En particular, por medio de la limitación de energía se puede obtener una economía de la instalación utilizando el procedimiento de “Back-up” que veremos en el punto de Coordinación de Protecciones.

4.2.4. Principales características de los interruptores automáticos

- Son los únicos dispositivos de maniobra y protección que pueden cumplir con todas las funciones básicas definidas en el punto 1.
- Generalmente son más caros que los dispositivos fusibles.
- Son unipolares o multipolares (1, 2, 3 o 4 polos) a diferencia de los fusibles.
- Ofrecen un amplio rango de corrientes nominales, permitiendo en muchos casos regulación de los disparadores, facilitando la coordinación de las protecciones.
- Su operación es repetitiva, pudiendo ser puestos en servicio luego de su operación sin ser reemplazados.
- Disponen de unidades auxiliares que permiten obtener control remoto, medida, indicación de estado y de falla, etc.
- Cumplen con la norma IEC 947 en todo lo que respecta a la seguridad de las maniobras, siendo por lo tanto una protección mucho más segura para los operadores y las instalaciones.

A continuación se presentan copias de las características de un fabricante de interruptores automáticos:

interruptores automáticos para tableros eléctricos de distribución de potencia

Compact NS250H

Compact NS630L

interruptores automáticos Compact		NS100			
número de polos		2 (*), 3, 4			
características eléctricas según CEI 947-2 y EN 60947.2					
intensidad asignada (A)	I_n	40 °C	100		
tensión asignada de aislamiento (V)	U_i		750		
tensión asg. soportada al impulso (kV)	U_{imp}		8		
tensión asignada de empleo (V)	U_e	CA 50/60 Hz	690		
		CC	500		
poder de corte último (kA ef)	I_{cu}	CA 50/60 Hz	220/240 V	85	100
			380/415 V	25	70
			440 V	25	65
			500 V	18	50
			525 V	18	35
			660/690 V	8	10
		CC	250 V (1 polo)	50	85
			500 V (2 polos serie)	50	85
poder de corte de servicio	I_{cs}	(% I_{cu})	100%	100%	
categoria de empleo			A	A	
aptitud al seccionamiento			■	■	
resistencia (ciclos C-A)		mecánica	50000		
		eléctrica	440 V - $I_n/2$	50000	
		440 V - I_n	30000		
características eléctricas según Nema AB1					
poder de corte (kA)		240 V	85	100	
		480 V	25	65	
		600 V	10	35	
protección (ver páginas siguientes)					
protección contra las sobrecorrientes (A)	I_r	unidad de disparo intercambiable	■		
		intensidad de regulacion	12,5 .. 100		
protección diferencial		dispositivo adicional Vigi	■		
		relés Vigirax	■		
instalación y conexionado					
fijo frontal			■		
fijo posterior			■		
extraíble con zócalo			■		
seccionable con chasis			■		
auxiliares de señalización y medida					
contactos auxiliares			■		
funciones asociadas a los unidades de disparo electrónicos			■		
indicador de presencia de tensión			■		
bloque de transformadores de intensidad			■		
bloque amperímetro			■		
bloque de vigilancia de aislamiento			■		
auxiliares de mando					
bobinas de disparo			■		
mando eléctrico			■		
mandos rotativos (directo, prolongado)			■		
inversor de redes manual/automático			■		
accesorios de instalación y conexionado					
bornes			■		
platinas y espaciadores			■		
cubrebornes y separadores de fases			■		
marcos embellecedores			■		
dimensiones y pesos					
dimensiones L x H x P (mm)		2 - 3 polos fijo PAV	105 x 161 x 86		
		4 polos fijo PAV	140 x 161 x 86		
peso (kg)		3 polos fijo PAV	1,6		
		4 polos fijo PAV	2,1		

(*) 2P en tipo N solariente
(**) tensión de empleo hasta 500 V

18

Martin Gerra Martin Gerra

Figura 27: Características de un fabricante de interruptores automáticos

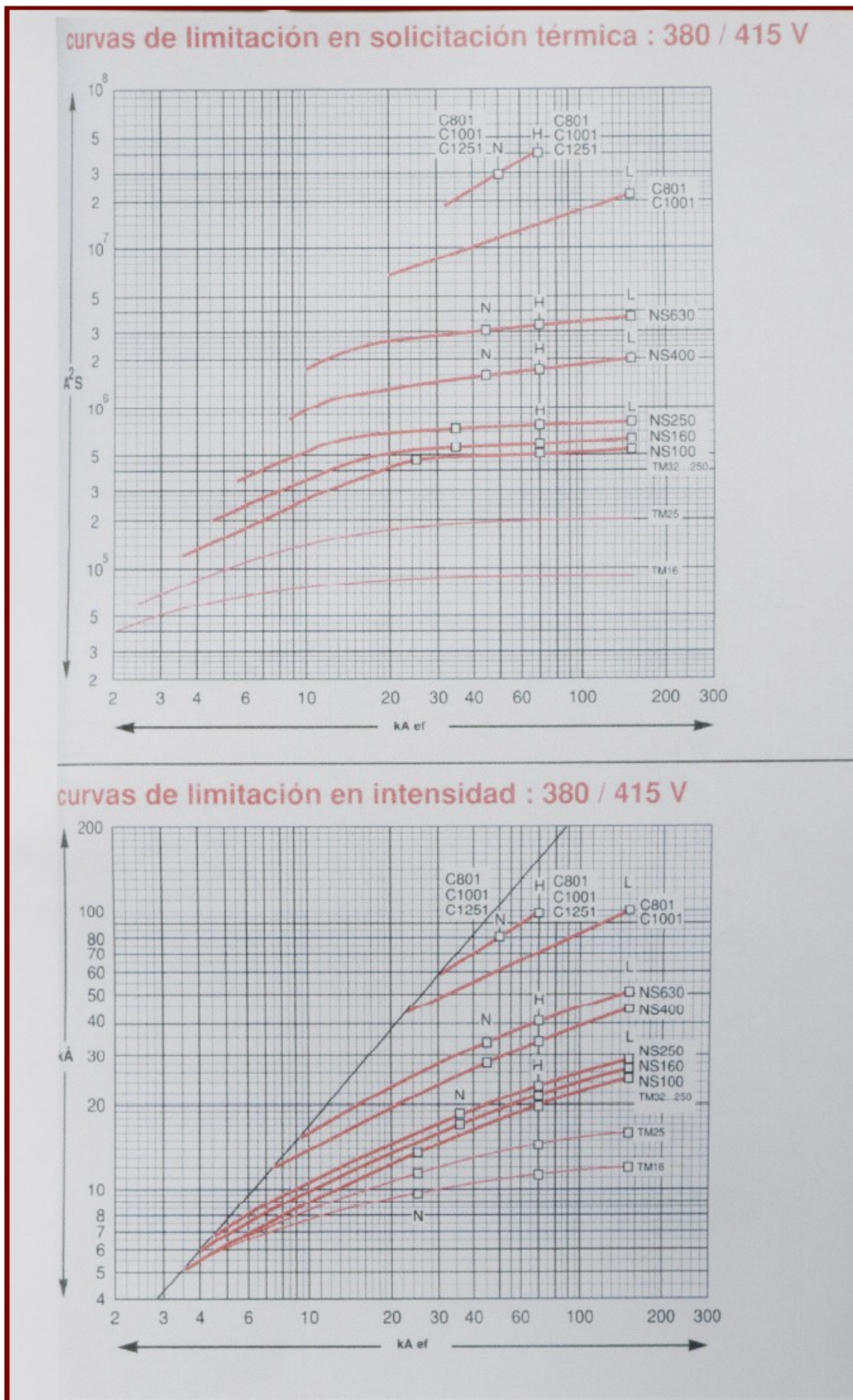


Figura 28: Curvas de limitación en sollicitud térmica e intensidad

5. Selección de la protección contra sobrecorrientes

5.1. Principio de la protección contra sobrecorrientes

- Un dispositivo de protección debe ser instalado en cada punto donde exista una reducción de la *Corriente admisible del circuito* I_z (una reducción de la sección del cable, una reducción debida al tipo de instalación o al tipo de cable, etc.), en particular en el origen de cada circuito.
- El dispositivo de protección debe permitir el flujo de la corriente de diseño del circuito protegido I_B en forma indefinida.
- El dispositivo debe interrumpir las sobrecorrientes en un tiempo menor al dado por la característica térmica del cable.
- El dispositivo debe tener una Capacidad de Interrupción o Poder de Interrupción \geq corriente de cortocircuito presumida en el punto donde se instale el mismo.
- El uso de dispositivos de protección con una Capacidad de Interrupción menor a la corriente de cortocircuito presumida en el punto de instalación es permitido por la norma IEC cuando se utiliza el concepto de *Back-up* que veremos en el punto de *Coordinación de Protecciones*.

5.2. Método práctico de selección de dispositivos de protección contra sobrecorrientes según norma IEC

5.2.1. Protección contra sobrecargas

Se deben verificar las dos condiciones siguientes:

$$1) \quad I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$2) \quad I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$$

Donde,

I_B Corriente de diseño del circuito.

I_n Corriente nominal del dispositivo de protección, en el caso de que el dispositivo sea con relé térmico regulable debe ser la Corriente de ajuste I .

I_z Corriente admisible del circuito.

I_2 Corriente convencional de actuación del dispositivo, en el caso de un fusible será la Corriente convencional de fusión I_f

Protección contra sobrecargas con interruptores automáticos

En el caso de los interruptores automáticos que cumplen con la norma IEC se cumple:

$$I = 1.3 \times I_n \quad \text{Para los interruptores de uso industrial IEC 60947-2.}$$

$$I_2 = 1.45 \times I_n \quad \text{Para los interruptores de uso doméstico IEC 60898.}$$

Por lo que la única condición que se debe verificar en este caso es:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

Protección contra sobrecargas con dispositivos fusibles tipo gG

En el caso de los dispositivos fusibles que cumplen con la norma IEC se cumple:

$$I_f = k_1 \cdot I_n$$

Por lo tanto las condiciones a verificar en este caso son:

$$I_B \leq I_n \leq k_2 \cdot I_z$$

Donde los valores de k1 y k2 según la corriente nominal son los de la tabla siguiente:

Corriente nominal del fusible	K1	K2
$I_n \leq 4 \text{ A}$	2.1	0.69
$4 \text{ A} < I_n \leq 16 \text{ A}$	1.9	0.76
$16 \text{ A} < I_n$	1.6	0.90

Tabla 12: constantes dispositivos fusibles tipo gG

5.2.2. Protección contra cortocircuitos

Se deben verificar las dos condiciones siguientes:

1) $PdC \geq I''_{kMAX}$

2) $(I^2t) \leq K^2S^2$

Donde,

PdC Capacidad de interrupción en cortocircuito del dispositivo de protección en kArms.

I''_{kMAX} Corriente de cortocircuito máxima presumida en el punto de instalación del dispositivo en kArms, generalmente corresponde a la corriente de cortocircuito trifásico en bornes de salida del dispositivo de protección.

(I^2t) Energía específica que el dispositivo de protección deja pasar en caso de cortocircuito en A^2s .

K^2S^2 La energía que puede absorber el cable en régimen adiabático.

S Sección del cable o conductor en mm^2 .

K Factor que queda depende del material del conductor y de su aislamiento, en la tabla siguiente se dan los valores para los cables usuales.

Material del conductor	$K \left(\frac{As^{1/2}}{mm^2} \right)$	
	PVC	XLPE
Cobre	115	143
Aluminio	76	94

Tabla 13: factores asociados al material y aislamiento de los conductores

Verificación de la condición 2)

La condición 2) debe cumplirse a lo largo de todo el cable protegido por el dispositivo. En la práctica para interruptores automáticos es suficiente con verificar las dos condiciones siguientes:

- $(I^2t) \leq K^2S^2$
Verificar la condición anterior para la corriente de cortocircuito máxima, generalmente es la correspondiente a un cortocircuito trifásico en el origen del circuito protegido.
- $I''_{kMIN} \geq I_m$
Verificar la condición anterior para la corriente de cortocircuito mínima, generalmente es la correspondiente a un cortocircuito fase-neutro (o bifásico en el caso de que el neutro no sea distribuido) en el extremo del cable.

Donde,

I''_{kMIN}

Es la corriente de cortocircuito mínima en el circuito protegido.

I_m

Es el ajuste de corriente de disparo instantáneo del relé magnético del interruptor.

Observación: La segunda condición impone un largo máximo para los conductores, ya que superada una cierta longitud límite la corriente de cortocircuito mínima en el extremo del cable será menor que la corriente de ajuste del disparo magnético del interruptor.

6. Coordinación de protecciones

La coordinación se aplica a dos dispositivos de protección contra sobrecorrientes conectados en serie en una distribución eléctrica, cuando aparece una sobrecarga o un cortocircuito aguas abajo del dispositivo más alejado de la fuente.

Definiremos dos conceptos en la coordinación de protecciones:

- Selectividad
- Back-up

6.1. Selectividad

Selectividad: es la coordinación de las protecciones contra sobrecorrientes, tal que frente a un defecto producido en un punto cualquiera de la instalación, sea eliminado por el dispositivo de protección situado inmediatamente por encima del defecto y sólo por él, asegurando la continuidad del servicio del resto de la instalación.

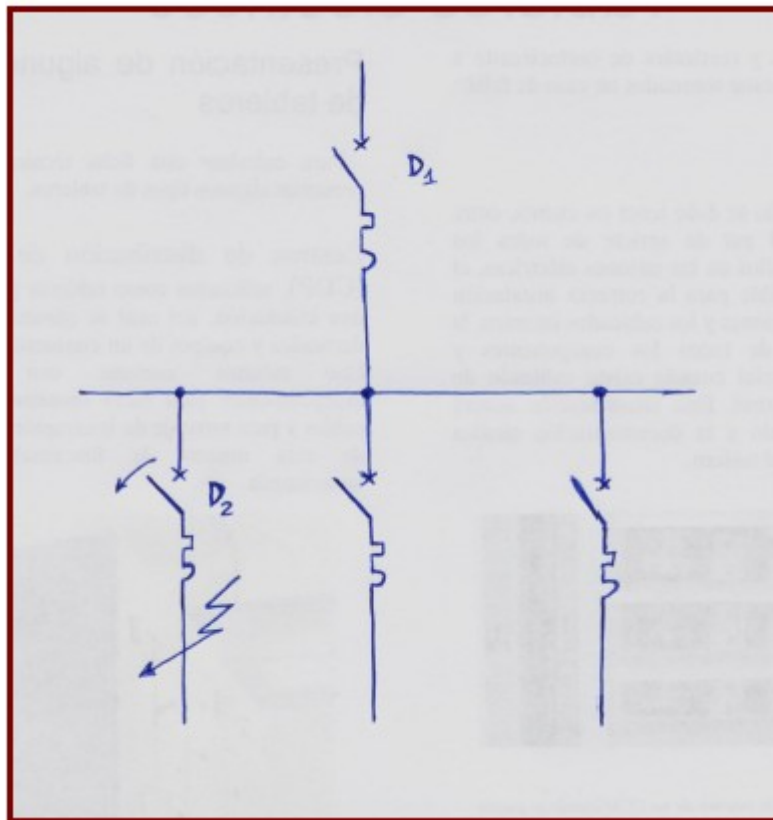


Figura 29: Concepto de Selectividad

Selectividad total: la selectividad entre dos dispositivos D1 y D2 es total, si para cualquier corriente en el circuito protegido por D2 (sobrecarga o cortocircuito hasta el PdC del dispositivo D2), sólo opera el dispositivo D2.

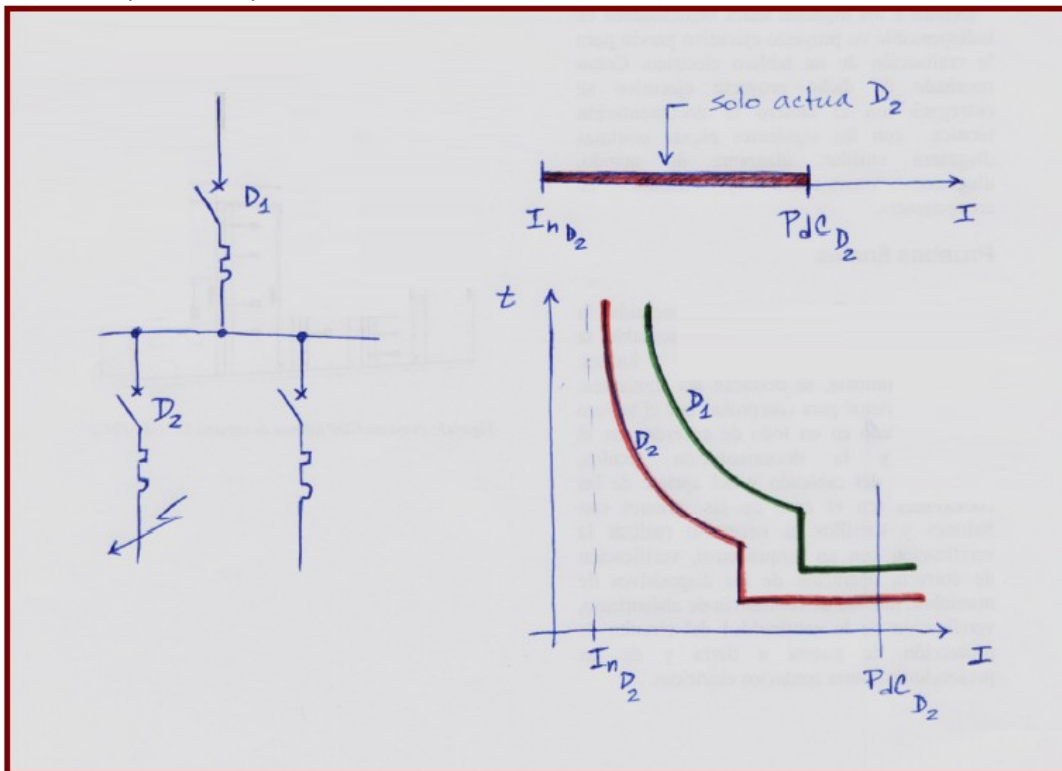


Figura 30: Concepto de Selectividad Total

Selectividad parcial: la selectividad entre dos dispositivos D1 y D2 es parcial cuando sólo opera el dispositivo D2 para una corriente $< I_{LS}$ (corriente límite de selectividad), y en el caso de corrientes $\geq I_{LS}$ operan ambos dispositivos D1 y D2.

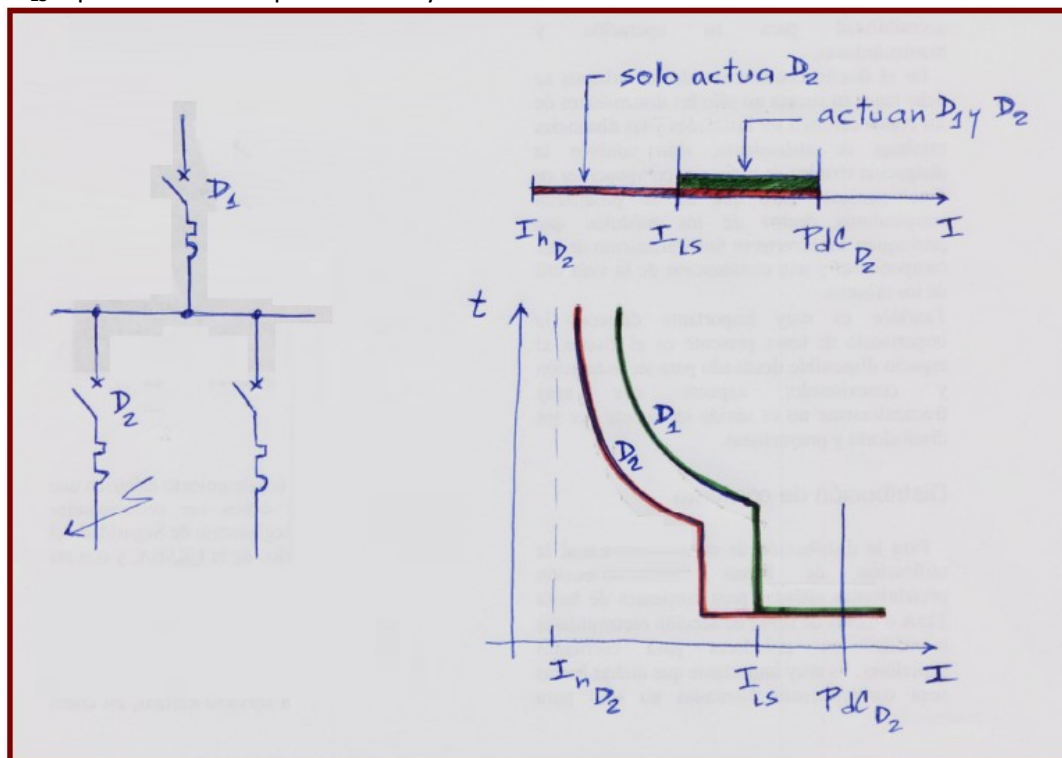


Figura 31: Concepto de Selectividad Parcial

Tablas de selectividad entre interruptores

Los proveedores entregan tablas que permiten determinar la selectividad entre los distintos modelos de una misma marca de interruptores ubicados aguas arriba y aguas abajo.

En las tablas se indican en las filas los modelos y las corrientes nominales de la unidad de disparo térmico de los interruptores ubicados aguas abajo y en las columnas los modelos y las corrientes nominales de las unidades de disparo térmico de los interruptores ubicados aguas arriba.

En la intersección de filas y columnas las tablas indican para cada asociación de dos interruptores en serie:

- Cuando la selectividad es total en el punto de intersección lo indican con una T.
- Cuando la selectividad es parcial, en el punto de intersección se indica el valor de corriente límite (ILS) para el que la selectividad está asegurada, para corrientes superiores disparan ambos interruptores.

Los valores indicados en las tablas son garantizados con determinadas condiciones en las regulaciones de los interruptores aguas arriba.

En la tabla siguiente, se puede ver que por ejemplo si se instala un interruptor modelo NS100N de 100 A en serie con otro interruptor aguas abajo modelo C60N de 32 A la selectividad es parcial y la corriente límite de selectividad es 0.8 kA. Sin embargo si se instala un interruptor modelo NS160N de 100 A en serie con otro interruptor aguas abajo modelo C60N de 32 A la selectividad es total.

Compact - Interpact : complementos técnicos
selectividad de las protecciones (continuación)

aguas arriba : Compact NS
 aguas arriba : Multi 9

aguas abajo	cal. (A)	NS100N/H/L unidad de disparo TM-D						NS160N/H/L unidad de disparo TM-D			
		16	25	40	63	80	100	80	100	125	160
DPNN curva B-C-D	≤ 10	0,19	0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	15		0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	20			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	25				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	32				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
XC40 curva B-C	≤ 10	0,19	0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	4	5	5	5
	15		0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	4	5	5	5
	20			0,5	0,5	0,63	0,8	4	5	5	5
	25			0,5	0,5	0,63	0,8	4	5	5	5
	32				0,5	0,63	0,8	4	5	5	5
	38-40				0,5	0,63	0,8	4	5	5	5
C60a curva C	≤ 10	0,19	0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	16		0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	20			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	25			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	32				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	40				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
C60N curva B-C-D	≤ 10	0,19	0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	16		0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	20			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	25			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	32				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	40				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	50					0,63	0,8	T	T	T	T
	63						0,8	T	T	T	T
C60H curva C	≤ 10	0,19	0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	16		0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	20			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	25			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	32				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	40				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	50					0,63	0,8	T	T	T	T
	63						0,8	T	T	T	T
C60L curva B-C curva K curva Z	≤ 10	0,19	0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	16		0,3	0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	20			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	25			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	32				0,5	0,63	0,8	15	T	T	T
	40				0,5	0,63	0,8	15	T	T	T
	50					0,63	0,8	T	T	T	T
	63						0,8	T	T	T	T
NC100H curva B-C	50					0,63	0,8	2,5	2,5	2,5	2,5
	63						0,8		2,5	2,5	2,5
	80								2,5	2,5	2,5
	100									2,5	2,5
NC100H curva D	50					0,63	0,8	2,5	2,5	2,5	2,5
	63						0,8		2,5	2,5	2,5
	80								2,5	2,5	2,5
	100									2,5	2,5
NC100LH curva C	≤ 16			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	20			0,5	0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	25				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	32				0,5	0,63	0,8	T	T	T	T
	40					0,63	0,8	T	T	T	T
	50					0,63	0,8	T	T	T	T
NC125H curva C	125						0,8		T	T	T

Nota : el límite de selectividad está expresado en kA

Figura 32: Catalogo de interruptores automáticos – tabla de selectividad

6.2. Back-up

Como se indicó anteriormente, en la actualidad muchos interruptores automáticos son limitadores de corriente y de energía, lo que permite coordinar interruptores utilizando el concepto de Back-up.

La norma IEC de instalaciones de baja tensión admite instalar un interruptor (D2) con una capacidad de interrupción última (I_{cu}) menor al valor de la máxima corriente de cortocircuito presumida en el punto de instalación, con la condición de que otro interruptor (D1) instalado aguas arriba cumpla las siguientes condiciones:

- Tenga una capacidad de interrupción última mayor o igual a la máxima corriente de cortocircuito presumida en el punto donde esté instalado.

$$I_{CU} \geq I''_{kMAX}$$

- Las características de ambos interruptores estén coordinadas de forma tal que la energía específica que dejan pasar los mismos no sea mayor a la que puede resistir sin sufrir daño el interruptor instalado aguas abajo (D2) y los cables protegidos por estos interruptores.

Este concepto de coordinación de protecciones se denomina *Back-up*.

Dado que la corriente es limitada en todo el circuito controlado por el interruptor limitador, el Back-up es aplicable a todos los interruptores instalados aguas abajo, no quedando restringido sólo a dos interruptores consecutivos.

El Back-up está muy asociado a la tecnología de los interruptores y sólo puede ser garantizado con ensayos de laboratorio, por lo que cada proveedor entrega tablas que permiten seleccionar los interruptores aplicando el concepto de Back-up.

7. Principales condiciones a cumplir en la instalación

7.1. Seccionamiento

Todo circuito debe poder ser seccionado en cada uno de sus conductores activos, incluido el neutro. Si las condiciones de servicio lo permite el seccionamiento de un grupo de circuitos puede ser realizado por un único dispositivo.

Deben ser previstas medidas adecuadas para impedir una energización intempestiva de cualquier circuito eléctrico. Estas medidas pueden ser por ejemplo: enclavamiento de los dispositivos de seccionamiento con candado o carteles de advertencia.

El seccionamiento debe ser realizado preferiblemente por un dispositivo multipolar que corte todos los polos de la alimentación respectiva, pero en caso de utilizar dispositivos unipolares en circuitos con neutro la desconexión del neutro nunca debe ser realizada antes que los conductores de fase y su conexión siempre debe realizarse antes o al mismo tiempo que los conductores de fase.

7.2. Comando

Comando funcional: un dispositivo de comando funcional debe ser previsto para cada circuito eléctrico o parte de un circuito que requiera ser comandado independientemente de otras partes de la instalación.

Los dispositivos de comando funcional no requieren necesariamente comandar todos los conductores activos del circuito. No se deben instalar dispositivos de comando unipolares en el conductor de neutro.

Comando de emergencia: deben ser previstos dispositivos de comando de emergencia para cualquier parte de la instalación en la que pueda ser necesario desconectar la alimentación con el fin de suprimir rápidamente un peligro inesperado. Los dispositivos de comando de emergencia, deben actuar en lo posible directamente sobre los conductores de alimentación correspondientes, y deben asegurar que una única acción sea suficiente para cortar la alimentación.

Estos dispositivos deben ser claramente identificados y fácilmente accesibles.

7.3. Protección

Debe instalarse un dispositivo de protección contra las corrientes de sobrecarga y cortocircuito para todos los conductores de fase de un circuito eléctrico. Si la desconexión de una sola fase puede causar daños, como por ejemplo en el caso de los motores trifásicos, se recomienda utilizar dispositivos de protección multipolares.

En los circuitos con neutro, cuando la sección del conductor de neutro sea igual o equivalente a la sección de los conductores de fase del circuito protegido, no es necesario instalar protección contra sobrecorrientes en el conductor de neutro. Cuando la sección del conductor de neutro es inferior a la de los conductores de fase del circuito se debe instalar dispositivo de protección contra sobrecorrientes en el conductor de neutro adecuada a la sección del mismo.

Se prohíbe instalar dispositivos unipolares de protección contra sobrecorrientes en el conductor de neutro.

7.4. Ubicación de los dispositivos de protección contra sobrecargas

La norma IEC de instalaciones de baja tensión indica que se debe instalar un dispositivo de protección contra sobrecargas en los puntos donde un cambio de sección, de naturaleza, de modo de instalación o de constitución cause una reducción en el valor de la corriente admisible de los conductores del circuito. Como regla general, los dispositivos de protección contra sobrecargas se instalan en el origen de cada circuito, en el interior de los tableros eléctricos de distribución.

No obstante, la norma admite instalar el dispositivo de protección contra sobrecargas a lo largo del circuito protegido, si la parte del conductor comprendida entre, el punto donde ocurre el cambio y el punto donde se instale el dispositivo de protección, no tiene circuitos derivados, ni tomacorrientes y cumple una de las condiciones siguientes:

- Su longitud no supera los 3 m, está instalada de forma de reducir al mínimo el riesgo de cortocircuito, y no está ubicada en la proximidad de materiales combustibles.
- Está protegida contra las corrientes de cortocircuito por un dispositivo ubicado aguas arriba de donde se produce la reducción.

La norma IEC de instalaciones de baja tensión admite no instalar dispositivo de protección contra sobrecargas, siempre que los circuitos no estén ubicados en locales que presenten riesgos de incendio o de explosión, y en los siguientes casos:

- i.) Un conductor situado aguas abajo de un cambio de sección, de naturaleza, de modo de instalación o de constitución, si el mismo está efectivamente protegida contra las corrientes de sobrecarga por un dispositivo instalado aguas arriba.
- ii.) Un conductor que no pueda estar sometido a corrientes de sobrecarga, con la condición de que esté protegido contra las corrientes de cortocircuito y que no tenga circuitos derivados ni tomacorrientes.
- iii.) Circuitos de comando, señalización y análogos.

El caso i) ocurre, por ejemplo, cuando tenemos un circuito protegido contra corrientes de sobrecarga, con conductores cuya sección $S1$ fue determinada por el criterio de caída de tensión, y una derivación con conductores tienen una sección $S2 < S1$ que están efectivamente protegidos contra sobrecargas por el dispositivo aguas arriba.

El caso ii) ocurre cuando se alimenta un receptor que ya está individualmente protegido contra sobrecargas, como por ejemplo un motor protegido con relé o sonda térmica.

7.5. Ubicación de los dispositivos de protección contra cortocircuitos

La norma IEC de instalaciones de baja tensión indica que se debe instalar un dispositivo de protección contra cortocircuitos en los puntos donde un cambio cause una reducción en el valor de la corriente admisible de los conductores del circuito. Como regla general, los dispositivos de protección contra cortocircuitos se instalan en el origen de cada circuito, en el interior de los tableros eléctricos de distribución.

No obstante, la norma admite instalar el dispositivo de protección contra cortocircuitos a lo largo del circuito protegido, si la parte del conductor comprendida entre, el punto donde ocurre el cambio y el punto donde se instale el dispositivo de protección cumple una de las condiciones siguientes:

- Su longitud no supera los 3 m, está instalada de forma de reducir al mínimo el riesgo de cortocircuito, y no está ubicada en la proximidad de materiales combustibles.
- Está protegida contra las corrientes de cortocircuito por un dispositivo ubicado aguas arriba de donde se produce la reducción.

8. Bibliografía

- 1) Instalaciones eléctricas – 3ª Edición - Ademaro Cotrim – Mc. Graw Hill
- 2) Electrical installation guide - Groupe Schneider