

Capítulo H

La aparamenta de BT

Índice

1	Funciones básicas de la aparamenta de BT	H2
	1.1 Protección eléctrica	H2
	1.2 Aislamiento	H3
	1.3 Control de la aparamenta	H4
2	La aparamenta	H5
	2.1 Dispositivos de conmutación elementales	H5
3	Elección de la aparamenta	H10
	3.1 Capacidades funcionales tabuladas	H10
4	Interruptores automáticos	H11
	4.1 Normas y descripción	H11
	4.2 Características fundamentales de un interruptor automático	H13
	4.3 Otras características de un interruptor automático	H15
	4.4 Selección de un interruptor automático	H18
	4.5 Coordinación entre interruptores automáticos	H22
	4.6 Selectividad de AT/BT en un centro de transformación del cliente	H28

H1

1 Funciones básicas de la aparamenta de BT

La función de la aparamenta es proporcionar:

- Protección eléctrica.
- Aislamiento seguro de las piezas que se encuentran en tensión.
- Conmutación local o remota.

Las normas nacionales e internacionales definen la manera en que se deben llevar a cabo los circuitos eléctricos de las instalaciones de baja tensión y las funciones y limitaciones de los diversos dispositivos de conmutación, que se denominan colectivamente aparamenta.

Las funciones principales de la aparamenta son:

- Protección eléctrica.
- Aislamiento eléctrico de las secciones de una instalación.
- Conmutación local o remota.

Estas funciones se resumen a continuación en la **Figura H1**.

La protección eléctrica a baja tensión (aparte de los fusibles) normalmente se incorpora en los interruptores automáticos en forma de dispositivos magnetotérmicos y/o dispositivos de disparo accionados por la corriente residual (menos frecuentemente, dispositivos accionados por la tensión residual, que resultan aceptables, aunque no están recomendados por IEC).

Además de las funciones mostradas en la **Figura H1**, realizan otras funciones, a saber:

- Protección contra las sobretensiones.
- La protección contra tensión mínima suministran dispositivos específicos (pararrayos y otros tipos de disipadores de sobretensiones, relés asociados a contactores e interruptores automáticos controlados de forma remota, y mediante interruptores automáticos/aislantes combinados, etc).

Protección eléctrica contra	Aislamiento	Control
<ul style="list-style-type: none"> ■ Corrientes de sobrecarga ■ Corrientes de cortocircuito ■ Defecto de aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aislamiento indicado claramente por un indicador mecánico seguro autorizado ■ Una separación o una barrera aislante interpuesta entre los contactos abiertos, claramente visible 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conmutación funcional ■ Conmutación de emergencia ■ Parada de emergencia ■ Apagado para la realización de tareas de mantenimiento mecánico

Fig. H1: Funciones básicas de la aparamenta de baja tensión.

H2

La protección eléctrica asegura la:

- Protección de los elementos de los circuitos contra las tensiones térmicas y mecánicas de las corrientes de cortocircuito.
- Protección de las personas en caso de producirse un defecto de aislamiento.
- Protección de los dispositivos y aparatos suministrados (p. ej., motores).

1.1 Protección eléctrica

El objetivo es evitar o limitar las consecuencias destructivas o peligrosas de las corrientes excesivas (cortocircuito) o causadas por sobrecargas y defectos de aislamiento, y separar el circuito defectuoso del resto de la instalación.

Se hace una distinción entre la protección de:

- Los elementos de la instalación (cables, hilos, aparamenta, etc).
- Personas y animales.
- Equipos y dispositivos suministrados por la instalación.

■ La protección de circuitos:

- Contra sobrecargas; una situación en la que se limita una corriente excesiva de una instalación en buen estado (sin defectos).
- Contra corrientes de cortocircuito causadas por el defecto completo del aislamiento entre los conductores de diferentes fases o (en los sistemas TN) entre una fase y un conductor neutro (o PE).

En estos casos, la protección la proporcionan fusibles o interruptores automáticos en el cuadro de distribución en el que se origina el circuito final (es decir, el circuito al que está conectada la carga). Algunas normas nacionales autorizan determinadas excepciones a esta regla, como se indica en el capítulo H, subapartado 1.4.

■ La protección de personas:

- Contra defectos de aislamiento. Según la aparamenta a tierra de la instalación (TN, TT o IT), la protección la proporcionan fusibles o interruptores automáticos, dispositivos de corriente residual y/o una supervisión permanente de la resistencia de aislamiento de la instalación a tierra.

■ La protección de motores eléctricos:

- Contra sobrecalentamiento, causado, por ejemplo, por una sobrecarga a largo plazo, un rotor parado, una sola fase, etc. Se utilizan relés térmicos, diseñados especialmente para adaptarse a las características concretas de los motores.

Si es necesario, estos relés también pueden proteger el cable del circuito del motor contra sobrecargas. La protección contra cortocircuitos la proporcionan fusibles aM o un interruptor automático del que se ha retirado el elemento protector térmico (sobrecarga), o en el que se ha desactivado este elemento.

1 Funciones básicas de la aparata de BT

Se considera que un estado de aislamiento indicado claramente por un indicador “seguro” aprobado o la separación visible de los contactos cumplen las normas nacionales de numerosos países.

1.2 Aislamiento

El objetivo del aislamiento es separar un circuito o un aparato, o un elemento de la planta (como por ejemplo un motor), del resto de un sistema que se encuentra en tensión, con el fin de que el personal pueda realizar con total seguridad trabajos en la parte aislada.

En principio, todos los circuitos de una instalación de baja tensión deben disponer de medios de aislamiento. En la práctica, y con el fin de mantener una continuidad óptima del servicio, es preferible proporcionar un medio de aislamiento en el origen de cada circuito.

Un dispositivo de aislamiento debe cumplir los siguientes requisitos:

- Todos los polos de un circuito, incluido el neutro (excepto cuando el polo neutro es un conductor PEN) deben estar abiertos⁽¹⁾.
- Debe disponer de un medio que permita abrirlo y cerrarlo mediante una llave (p. ej., con un candado) para evitar que pueda volver a conectarse de forma no autorizada por descuido.
- Debe cumplir una norma nacional o internacional reconocida (p. ej., IEC 60947-3) relativa a la separación entre los contactos, las líneas de fuga, la capacidad de resistencia a sobretensiones, etc., y también:
 - Debe verificarse que los contactos del dispositivo de aislamiento están, de hecho, abiertos.

La verificación puede realizarse de forma:

- Visual, si el dispositivo está diseñado adecuadamente de modo que puedan verse los contactos (algunas normas nacionales imponen esta condición para los dispositivos de aislamiento situados en el origen de una instalación de baja tensión suministrada directamente desde un transformador de alta tensión/baja tensión).
- O mecánica, por medio de un indicador soldado firmemente al árbol de mando del dispositivo. En este caso, el dispositivo debe estar construido de tal forma que, en caso de que los contactos queden soldados en la posición cerrada, resulte imposible que el indicador pueda indicar que se encuentra en la posición abierta.
- Corrientes de fuga. Con el dispositivo de aislamiento abierto, las corrientes de fuga entre los contactos abiertos de cada fase no deben ser superiores a:
 - 0,5 mA para un dispositivo nuevo.
 - 6,0 mA al final de su vida útil.

□ Capacidad de resistencia a sobretensiones a través de contactos abiertos. Cuando esté abierto, el dispositivo de aislamiento debe resistir un impulso de 1,2/50 µs, con un valor de pico de 6, 8 o 12 kV según su tensión de servicio, como se muestra en la **Figura H2**. El dispositivo debe cumplir estas condiciones a altitudes de hasta 2.000 m. En IEC 60664-1 se establecen factores de corrección para altitudes superiores a 2.000 m.

Por consiguiente, si se realizan pruebas al nivel del mar, los valores de las pruebas deberán incrementarse un 23% para tener en cuenta el efecto de la altitud. Véase la norma IEC 60947.

Tensión nominal de servicio (V)	Resistencia a impulsos, categoría de tensión de pico (para 2.000 metros) (kV)	
	IV	III
230/400	6	4
400/690	8	6
690/1.000	12	8

Fig. H2: Valor de pico de la tensión por impulsos según la tensión de servicio normal del muestreo de prueba. Los grados III y IV son grados de contaminación definidos en IEC 60664-1.

(1) La apertura simultánea de todos los conductores en tensión, aunque no siempre es obligatoria, sí es recomendable para aumentar el nivel de seguridad y facilitar el funcionamiento. El contacto neutro se abre a continuación de los contactos de las fases, y se cierra antes (IEC 60947-1).

1 Funciones básicas de la aparamenta de BT

Las funciones de control de aparamenta permiten que el personal encargado del funcionamiento de la aparamenta pueda modificar un sistema cargado en cualquier momento, según las necesidades, e incluyen:

- Control funcional (conmutación rutinaria, etc.).
- Conmutación de emergencia.
- Operaciones de mantenimiento del sistema de alimentación.

1.3 Control de la aparamenta

En términos generales, por "control" se entiende cualquier medio que permita modificar de forma segura un sistema de alimentación con carga a todos los niveles de una instalación. El funcionamiento de la aparamenta es un elemento importante del control del sistema de alimentación.

Control funcional

Este control se refiere a todas las operaciones de conmutación que se realizan en condiciones normales de servicio para poner en tensión o desconectar la tensión de una parte de un sistema o instalación, o un equipo individual, un elemento de la planta, etc.

La aparamenta utilizada con este fin deben instalarse como mínimo:

- En el origen de cualquier instalación.
- En el circuito o los circuitos de carga finales (un conmutador puede controlar varias cargas).

La señalización de los circuitos controlados debe ser clara e inequívoca.

Para aportar la máxima flexibilidad y continuidad de funcionamiento, especialmente cuando el dispositivo de conmutación también constituye la protección (p. ej., un interruptor automático o un fusible), es preferible incluir un interruptor a cada nivel de la distribución, es decir, en cada salida de todos los cuadros de distribución y de distribución secundaria.

La operación puede realizarse de forma:

- Manual (por medio de una palanca de funcionamiento situada en el conmutador).
- Eléctrica, mediante un pulsador situado en el conmutador o en una ubicación remota (desconexión y reconexión, por ejemplo).

Estos conmutadores entran en funcionamiento al instante (es decir, sin un retardo deliberado) y los que aportan protección son siempre omnipolares⁽¹⁾.

El interruptor automático principal de toda la instalación, así como cualquier interruptor automático utilizado para operaciones de cambio (de una fuente a otra), deben ser unidades omnipolares.

Conmutación de emergencia - parada de emergencia

La conmutación de emergencia tiene como objetivo desconectar un circuito en tensión que es o podría ser peligroso (riesgo de descarga eléctrica o incendio).

La finalidad de una parada de emergencia es detener un movimiento peligroso. En ambos casos:

- El dispositivo de control de emergencia o su medio de funcionamiento (local o en una o más ubicaciones remotas), como un gran pulsador rojo de emergencia/parada en forma de seta, debe ser reconocible y fácilmente accesible, y hallarse cerca de cualquier posición en la que pueda presentarse un peligro.
- Una única acción debe dar como resultado el apagado completo de todos los conductores con tensión⁽²⁾ ⁽³⁾.
- Se autoriza el uso de un dispositivo de inicio de conmutación de emergencia protegido por un cristal, pero en instalaciones sin personal la realimentación del circuito sólo se puede llevar a cabo mediante una llave guardada por una persona autorizada.

Debe indicarse que en determinados casos, un sistema de emergencia de parada podrá exigir que se mantenga el suministro auxiliar de los circuitos del sistema que se desea parar hasta que la maquinaria se detenga finalmente.

Apagado para la realización de trabajos de mantenimiento mecánico

Esta operación asegura la parada de una máquina e impide que pueda volver a ponerse en marcha accidentalmente mientras se realizan trabajos de mantenimiento mecánico en la maquinaria. El apagado se lleva a cabo normalmente en el dispositivo de conmutación funcional mediante el uso de una cerradura de seguridad adecuada y un aviso de advertencia en el mecanismo de conmutación.

(1) Una desconexión de cada fase y (si procede) una desconexión del neutro.

(2) Teniendo en cuenta los motores parados.

(3) En un esquema TN, el conductor PEN nunca debe abrirse, ya que funciona como un hilo de conexión a tierra de protección, y también como el conductor neutro del sistema.

2.1 Dispositivos de conmutación elementales

Seccionador (o aislante) (véase la Figura H3)

Este conmutador es un dispositivo de dos posiciones (abierto/cerrado) enclavable y accionado manualmente que proporciona un aislamiento seguro de un circuito cuando está enclavado en la posición abierta. Sus características se definen en IEC 60947-3. Un seccionador no está diseñado para abrir o cerrar el paso de la corriente⁽¹⁾ y en las normas no se indica ningún valor nominal para estas funciones. Sin embargo, debe ser capaz de resistir el paso de corrientes de cortocircuito y se le asigna una capacidad de resistencia nominal de corta duración, por lo general de 1 segundo, a menos que el usuario y el fabricante acuerden otra cosa. Esta capacidad suele ser más que suficiente para periodos más largos de sobretensiones operativas (de valor más bajo), como en el caso del arranque de motores. También debe superar pruebas estandarizadas de resistencia mecánica, de sobretensión y de corriente de fuga.

Interruptor de carga (véase la Figura H4)

Este interruptor de control se suele accionar manualmente (aunque a veces dispone de disparo eléctrico para mayor comodidad del usuario) y es un dispositivo no automático de dos posiciones (abierto/cerrado).

Se utiliza para cerrar y abrir circuitos cargados en condiciones normales de circuitos sin defectos.

Por lo tanto, no proporciona ninguna protección a los circuitos que controla.

La norma IEC 60947-3 define:

- La frecuencia de funcionamiento del interruptor (600 ciclos de apertura/cierre por hora, como máximo).
- La resistencia mecánica y eléctrica (por lo general menor que la de un contactor).
- El régimen de conexión y desconexión de corriente para situaciones normales y poco frecuentes.

Cuando se elige un interruptor para poner en tensión un circuito siempre existe la posibilidad de que exista un cortocircuito (insospechado) en el circuito. Por este motivo se asigna a los interruptores de carga un índice de conexión de corriente de defecto, es decir, se asegura el cierre correcto frente a las fuerzas electrodinámicas de la corriente de cortocircuito. Tales interruptores se denominan habitualmente interruptores “de carga con conexión de defecto”. Los dispositivos de protección situados aguas arriba son los encargados de eliminar el defecto de cortocircuito.

La categoría AC-23 incluye una conmutación ocasional de motores individuales. La conmutación de condensadores o lámparas con filamentos de tungsteno está sujeta a acuerdo entre el fabricante y el usuario.

Las categorías de utilización mencionadas en la Figura H5 no son aplicables a los equipos utilizados normalmente para arrancar, acelerar y/o parar motores individuales.

Ejemplo

Un interruptor de carga de 100 A de la categoría AC-23 (carga inductiva) debe ser capaz de:

- Conectar una corriente de $10 I_n$ (= 1.000 A) con un factor de potencia de 0,35 con retraso.
- Desconectar una corriente de $8 I_n$ (= 800 A) con un factor de potencia de 0,45 con retraso.
- Resistir corrientes de cortocircuito de corta duración cuando esté cerrado.

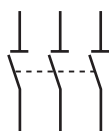


Fig. H3: Símbolo de un seccionador (o aislante).

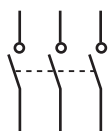


Fig. H4: Símbolo de un interruptor de carga.

Categoría de utilización		Aplicaciones típicas	cos φ	Conexión de corriente × I _n	Desconexión de corriente × I _n
Operaciones frecuentes	Operaciones poco frecuentes				
AC-20A	AC-20B	Conexión y desconexión en condiciones sin carga	-	-	-
AC-21A	AC-21B	Conmutación de cargas resistivas, incluidas sobrecargas moderadas	0,95	1,5	1,5
AC-22A	AC-22B	Conmutación de cargas resistivas e inductivas mixtas, incluidas sobrecargas moderadas	0,65	3	3
AC-23A	AC-23B	Conmutación de cargas de motor u otras cargas altamente inductivas	0,45 para I ≤ 100 A 0,35 para I > 100 A	10	8

Fig. H5: Categorías de utilización de conmutadores AC de baja tensión según IEC 60947-3.

(1) Es decir, un seccionador de baja tensión es fundamentalmente un dispositivo de conmutación de sistemas sin tensión que funciona sin tensión a ambos lados del mismo, especialmente cuando se cierra, debido a la posibilidad de que se produzca un cortocircuito insospechado en el lado aguas abajo. Se utiliza frecuentemente el enclavamiento con un interruptor o interruptor automático situado aguas arriba.

Interruptor biestable (telerruptor) (véase la Figura H6)

Este dispositivo se utiliza extensamente para el control de circuitos de iluminación, en los que al presionar un pulsador (en una posición de control remota), se abre un interruptor ya cerrado o se cierra un interruptor abierto en una secuencia biestable.

Las aplicaciones típicas son:

- Conmutación de dos vías en escaleras de edificios grandes.
- Sistemas de iluminación de escenarios.
- Iluminación de fábricas, etc.

Hay disponibles dispositivos auxiliares que proporcionan:

- Indicación remota de su estado en cualquier momento.
- Funciones de temporización.
- Funciones de mantenimiento de contacto.

Contactador (véase la Figura H7)

El contactor es un dispositivo de conmutación accionado por solenoide que por lo general se mantiene cerrado mediante una corriente (reducida) que pasa a través del solenoide de cierre (aunque existen diversos tipos con enclavamiento mecánico para aplicaciones específicas). Los contactores están diseñados para realizar numerosos ciclos de apertura/cierre y se suelen controlar de forma remota por medio de pulsadores de activación/desactivación. El elevado número de ciclos de funcionamiento repetitivos está estandarizado en la tabla VIII de IEC 60947-4-1 según:

- La duración de funcionamiento: 8 horas, ininterrumpido, intermitente o temporal de 3, 10, 30, 60 y 90 minutos.
- La categoría de utilización: por ejemplo, un contactor de la categoría AC3 se puede usar para arrancar y parar el motor de un ascensor.
- Los ciclos de arranque/parada (de 1 a 1.200 ciclos por hora).
- La resistencia mecánica (número de operaciones de descarga).
- La resistencia eléctrica (número de operaciones de carga).
- Un rendimiento nominal de conexión y desconexión de corriente de acuerdo con la categoría de utilización en cuestión.

Ejemplo:

Un contactor de 150 A de la categoría AC3 debe tener una capacidad mínima de desconexión de corriente de $8 I_n (= 1.200 \text{ A})$ y una especificación mínima de conexión de corriente de $10 I_n (= 1.500 \text{ A})$ con un factor de potencia (con retraso) de 0,35.

Discontactador⁽¹⁾ (contactor + relé térmico)

Un contactor equipado con un relé de tipo térmico que aporta protección contra sobrecargas se define como un "discontactor". Los discontactores se utilizan extensamente para el control remoto de circuitos de iluminación mediante pulsadores, por ejemplo, y también se pueden considerar un elemento esencial de un controlador de motor, como se menciona en el subapartado 2.2, "Elementos combinados de la aparatamenta". El discontactor no es el equivalente a un interruptor automático, puesto que su capacidad de desconexión de corriente de cortocircuito está limitada a 8 o $10 I_n$. Por lo tanto, para aportar protección contra cortocircuitos es necesario incluir fusibles o un interruptor automático en serie con los contactos del discontactor y aguas arriba de los mismos.

Fusibles (véase la Figura H8)

La primera letra indica el margen de corte:

- Conexiones de fusibles "g" (conexión de fusible con capacidad de corte completa).
- Conexiones de fusibles "a" (conexión de fusible con capacidad de corte parcial).

La segunda letra indica la categoría de utilización. Esta letra define con precisión las características tiempo-corriente, los tiempos y las corrientes convencionales y las puertas:

Por ejemplo:

- "gG" indica conexiones de fusible con capacidad de corte completa para aplicaciones generales.
- "gM" indica conexiones de fusible con capacidad de corte completa para protección de circuitos de motor.
- "aM" indica conexiones de fusible con capacidad de corte parcial para protección de circuitos de motor.

Existen fusibles con y sin indicadores mecánicos de "fusible fundido". Los fusibles desconectan un circuito mediante la fundición controlada del elemento del fusible cuando una corriente supera un valor dado para un periodo de tiempo correspondiente; la relación corriente/tiempo se presenta en forma de una curva de rendimiento para cada tipo de fusible. Las normas definen dos clases de fusibles:

- Los destinados a instalaciones domésticas, fabricados en forma de un cartucho para corrientes nominales de hasta 100 A y designados como de tipo gG en la IEC 60269-1 y 3.
- Los destinados a uso industrial, de tipo cartucho y designados como gG (uso general) y gM y aM (para circuitos de motor) en IEC 60269-1 y 2.

H6

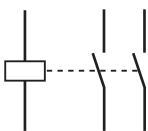


Fig. H6: Símbolo de un interruptor biestable controlado de forma remota (telerruptor).

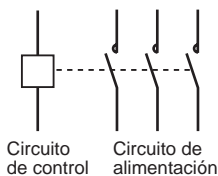


Fig. H7: Símbolo de un contactor.

Se utilizan extensamente dos clases de cartuchos de fusible para aplicaciones de baja tensión:

- Tipo gG para instalaciones domésticas y similares.
- Tipos gG, gM y aM para instalaciones industriales.

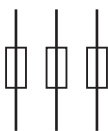


Fig. H8: Símbolo de fusibles.

(1) Este término no está definido en las publicaciones de IEC, pero se utiliza habitualmente en algunos países.

Los fusibles gM requieren un relé de sobrecarga independiente, como se describe en la nota al final del subapartado 2.1.

Las principales diferencias entre los fusibles de uso doméstico e industrial son los niveles de tensión y de corriente nominal (que requieren dimensiones físicas mucho mayores) y su capacidad de desconexión de corrientes de defecto. Las conexiones de fusibles de tipo gG se utilizan a menudo para la protección de circuitos de motores, lo que es posible cuando son capaces de resistir la corriente de arranque del motor sin deterioro alguno.

Un avance más reciente ha sido la adopción por parte de IEC de un tipo de fusible gM para la protección de motores, que está diseñado para proteger ante condiciones de arranque y de cortocircuito. Este tipo de fusible se usa más en unos países que en otros, pero el más utilizado actualmente es el fusible aM en combinación con un relé térmico. Una conexión de fusible gM, que tiene un doble régimen de trabajo, se caracteriza por dos valores de corriente. El primer valor I_n indica la corriente nominal tanto de la conexión de fusible como del portafusibles; el segundo valor I_{ch} indica la característica tiempo-corriente de la conexión de fusible, tal y como se define en las puertas de las tablas II, III y VI de la IEC 60269-1. Estos dos valores están separados por una letra que define las aplicaciones. Por ejemplo: En M, I_{ch} indica un fusible destinado a la protección de circuitos de motores y que tiene la característica G. El primer valor I_n corresponde a la corriente continua máxima de todo el fusible, y el segundo valor I_{ch} corresponde a la característica G de la conexión de fusible. Al final del subapartado 2.1 se incluyen más detalles al respecto.

Una conexión de fusible aM se caracteriza por un valor de corriente I_n y una característica tiempo-corriente, como se muestra en la **Figura H11** de la página siguiente.

Importante: Algunas normas nacionales utilizan un fusible de tipo gl (industrial), que es similar en todos sus aspectos esenciales a los fusibles de tipo gG.

Sin embargo, los fusibles de tipo gl no se deben utilizar nunca en instalaciones domésticas y similares.

Zonas de fusión - corrientes convencionales

Las condiciones de fusión (fundición) de un fusible se definen en las normas de acuerdo con su clase.

Fusibles de clase gG

Estos fusibles proporcionan protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Las corrientes convencionales infusibles y fusibles están estandarizadas, como se muestra en las **Figuras H9** y **H10**.

■ La corriente infusible convencional I_{nf} es el valor de la corriente que el elemento fusible puede soportar durante un tiempo especificado sin fundirse.

Ejemplo: Un fusible de 32 A que soporte una corriente de $1,25 I_n$ (es decir, 40 A) no se debe fundir en menos de una hora (tabla H10).

■ La corriente fusible convencional I_f ($= I_2$ en la **Figura H9**) es el valor de corriente que provocará la fundición del elemento fusible antes de que transcurra el tiempo especificado.

Ejemplo: Un fusible de 32 A que soporte una corriente de $1,6 I_n$ (es decir, 52,1 A) se debe fundir en una hora o menos.

Las pruebas estandarizadas definidas en IEC 60269-1 requieren que la característica de funcionamiento de un fusible quede entre las dos curvas límite (mostradas en la **Figura H9**) para el fusible concreto sometido a prueba. Por ello, dos fusibles que superen la prueba pueden presentar tiempos de funcionamiento muy diferentes a niveles de sobrecarga bajos.

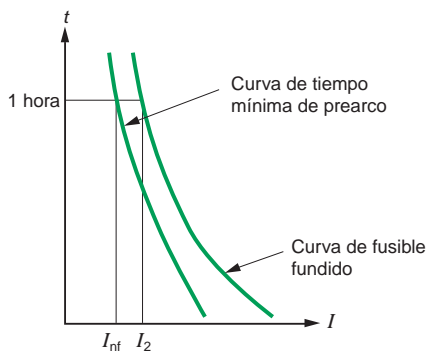


Fig. H9: Zonas fusibles e infusibles de los fusibles de tipo gG y gM.

Corriente nominal ⁽¹⁾ I_n (A)	Corriente infusible convencional	Corriente fusible convencional I_f I_{nf}	Tiempo convencional (h) I_2
$I_n \leq 4$ A	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1
$4 < I_n < 16$ A	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1
$16 < I_n \leq 63$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3
$400 < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	4

Fig. H10: Zonas fusibles e infusibles de los fusibles de baja tensión de tipo gG y gM (IEC 60269-1 y 60269-2-1).

(1) I_{ch} para fusibles gM.

Los fusibles de la clase aM sólo protegen contra corrientes de cortocircuito y deben estar asociados siempre a otro dispositivo que proporcione protección contra sobrecargas.

- Los dos ejemplos anteriores correspondientes a un fusible de 32 A, junto con las notas precedentes sobre los requisitos de prueba estándar, explican por qué presentan estos fusibles un rendimiento deficiente en el margen de sobrecargas bajo.
 - Es por lo tanto necesario instalar un cable con un amperaje mayor que el que se necesita normalmente para un circuito, con el fin de evitar las consecuencias de una posible sobrecarga a largo plazo (60% de sobrecarga durante un máximo de una hora, en el peor de los casos).
- A modo de comparación, un interruptor automático con especificaciones de corriente similares:
- Que pase $1,05 I_n$ no debe desconectarse en menos de una hora, y
 - Cuando pase $1,25 I_n$ deberá desconectarse en una hora o menos (25% de sobrecarga durante un máximo de una hora, en el peor de los casos).

Fusibles de clase aM (motor)

Estos fusibles sólo proporcionan protección contra corrientes de cortocircuito y deben estar asociados necesariamente a otra aparatenta (como discontadores o interruptores automáticos) para asegurar una protección contra sobrecargas $< 4 I_n$. Por lo tanto, no son autónomos. Puesto que los fusibles aM no están diseñados para proteger contra valores de corriente de sobrecarga bajos, los niveles de las corrientes infusible y fusible convencionales no son fijos. Las curvas características de las pruebas de estos fusibles se indican para valores de corriente de defecto superiores a $4 I_n$ aproximadamente (véase la **Figura H11**), y los fusibles sometidos a prueba según la norma IEC 60269 deben presentar curvas de funcionamiento que queden dentro del área sombreada.

Nota: Las "puntas de flecha" pequeñas mostradas en el diagrama indican los valores de las "puertas" de corriente/tiempo de los diferentes fusibles sometidos a prueba (IEC 60269).

Corrientes de corte de cortocircuito nominales

Una de las características de los modernos fusibles de cartucho es que, debido a la rapidez con que se funden en el caso de niveles de corriente de defecto altos⁽¹⁾, un corte de corriente comienza antes de que ocurra el primer pico importante, por lo que la corriente de cortocircuito nunca alcanza su valor máximo previsto (véase la **Figura H12**). Esta limitación de corriente reduce significativamente las tensiones térmicas y dinámicas que de otro modo podrían ocurrir, reduciendo por tanto el peligro y los daños en la posición del defecto. La corriente de corte de cortocircuito nominal del fusible está basada, por lo tanto, en el valor rms del componente de CA de la corriente de defecto prevista.

No se asigna a los fusibles un índice de conexión de corriente de cortocircuito.

Recordatorio

Las corrientes de cortocircuito contienen inicialmente componentes de CC cuya magnitud y duración dependen de la relación X_L/R del bucle de corriente de defecto. Cerca de la fuente (transformador de alta tensión/baja tensión), la relación I_{pico} / I_{rms} (del componente de CA) existente inmediatamente después de producirse el defecto puede ser de hasta 2,5 (estandarizado por IEC, como se muestra en la **Figura H13** de la página siguiente).

A niveles de distribución más bajos en una instalación, como se mencionó anteriormente, el valor X_L es pequeño comparado con R y, por lo tanto, para los circuitos finales $I_{pico} / I_{rms} \sim 1,41$.

El efecto de limitación de la corriente de pico sólo ocurre cuando el componente de CA rms previsto de la corriente de defecto alcanza un determinado nivel. Por ejemplo, en el gráfico anterior el fusible de 100 A empezará a cortar el pico a una corriente de defecto prevista (rms) de 2 kA (a). Para una condición de corriente prevista rms de 20 kA, el mismo fusible limitará la corriente de pico a 10 kA (b). Sin un fusible de limitación de corriente, la corriente de pico podría alcanzar 50 kA (c) en este caso concreto. Como ya se ha mencionado, a niveles de distribución más bajos en una instalación, el valor R predomina en gran medida sobre X_L y los niveles de defecto son por lo general bajos. Esto significa que el nivel de la corriente de defecto podrá no alcanzar valores lo suficientemente elevados como para provocar la limitación de la corriente de pico. Por otra parte, los transitorios de CC (en este caso) tienen un efecto insignificante sobre la magnitud del pico de corriente, como se mencionó anteriormente.

Nota: Acerca de las especificaciones de los fusibles gM:

Un fusible de tipo gM es fundamentalmente un fusible gG cuyo elemento fusible corresponde al valor de corriente I_{ch} (ch = característico), que puede ser, por ejemplo, de 63 A. Se trata del valor de prueba de IEC, por lo que la característica tiempo/corriente es idéntica a la de un fusible gG de 63 A.

Este valor (63 A) se selecciona para resistir las elevadas corrientes de arranque de un motor, cuya corriente de funcionamiento en estado fijo (I_n) puede estar comprendida entre 10 y 20 A.

Esto significa que se pueden utilizar un cilindro de fusible y piezas mecánicas más pequeñas, puesto que la disipación de calor necesaria en condiciones normales de servicio está relacionada con las cifras más bajas (10-20 A). Un fusible gM estándar adecuado para esta situación se designaría como 32M63 (es decir, $I_n M I_{ch}$).

H8

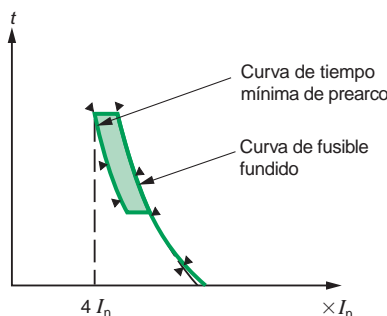


Fig. H11: Zonas de fusión estandarizadas para los fusibles de tipo aM (todas las corrientes nominales).

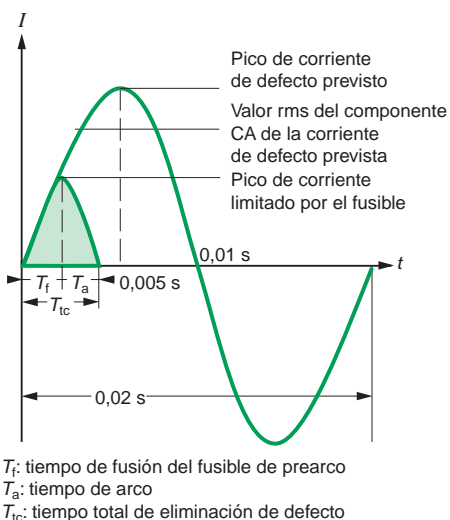


Fig. H12: Limitación de corriente por parte de un fusible.

(1) Para corrientes superiores a un nivel determinado, en función de la corriente nominal del fusible, como se muestra en la **Figura H12**.

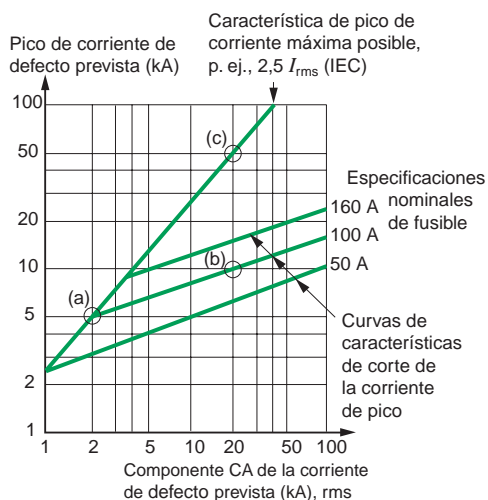


Fig. H13: Corriente de pico limitada frente a valores rms previstos del componente de CA de la corriente de defecto de los fusibles de baja tensión.

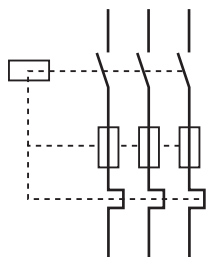


Fig. H14: Símbolo de un fusible de interruptor con disparo automático.

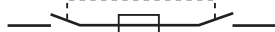


Fig. H16: Símbolo de un interruptor de fusible no automático.

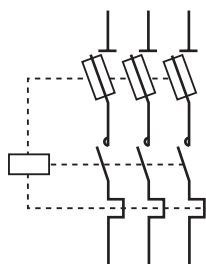


Fig. H17: Símbolo de un fusible seccionador + discontactor.

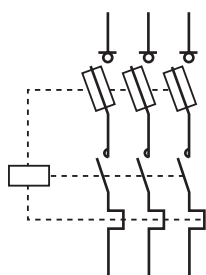


Fig. H18: Símbolo de un fusible - interruptor seccionador + discontactor.

La primera corriente nominal I_n se refiere al rendimiento térmico con carga fija de la conexión de fusible, mientras que la segunda corriente nominal (I_{ch}) se refiere a su rendimiento de corriente de arranque (de corta duración). Es evidente que, aunque resulta adecuado para la protección contra cortocircuitos, la protección contra sobrecargas del motor no la proporciona el fusible, y por ello se necesita siempre un relé térmico independiente cuando se utilizan fusibles gM. Por lo tanto, la única ventaja que ofrecen los fusibles gM en comparación con los fusibles aM son sus dimensiones físicas reducidas y su coste ligeramente más bajo.

2.2 Elementos combinados de la aparatura

Por lo general, la aparatura individual no cumple todos los requisitos de las tres funciones básicas, a saber, protección, control y aislamiento.

Cuando la instalación de un interruptor automático no resulta adecuada (en particular, cuando la velocidad de conmutación es elevada durante periodos prolongados), se utilizan combinaciones de unidades diseñadas específicamente para aportar este tipo de rendimiento. A continuación se describen las combinaciones utilizadas habitualmente.

Combinaciones de interruptor y fusible

Se pueden distinguir dos casos:

- Cuando el funcionamiento de uno o más fusibles hace que se abra el interruptor. Esto se consigue mediante el uso de fusibles equipados con percutores y un sistema de resortes de disparo de interruptor y mecanismos de cambio (véase la **Figura H14**).
- Cuando un interruptor no automático está asociado a un conjunto de fusibles integrados en un envolvente común. En algunos países, y en la norma IEC 60947-3, los términos “fusible de interruptor” e “interruptor de fusible” tienen significados específicos, a saber:
 - Un fusible de interruptor consta de un interruptor (por lo general 2 cortes por polo) en el lado aguas arriba de tres bases de fusible fijas, en las que se insertan los portafusibles (véase la **Figura H15**).
 - Un interruptor de fusible consta de tres cuchillas, cada una de las cuales constituye un corte doble por fase.

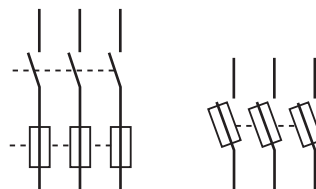


Fig. H15: Símbolo de un fusible de interruptor no automático.

Estas cuchillas no tienen una longitud continua, sino que cada una tiene un hueco en el centro que se cubre mediante el cartucho del fusible. Algunos diseños sólo cuentan con un corte por fase, como se muestra en las **Figuras H15 y H16**.

El margen de corriente de estos dispositivos está limitado a un máximo de 100 A a 400 V trifásico, y se utilizan principalmente en instalaciones domésticas y similares. Para evitar confusiones entre el primer grupo (con disparo automático) y el segundo, el término “fusible de interruptor” debería matizarse mediante los adjetivos “automático” o “no automático”.

Fusible - seccionador + fusible discontactor - interruptor-seccionador + discontactor

Como se mencionó anteriormente, un discontactor no proporciona protección contra defectos de cortocircuito. Por ello es necesario añadir fusibles (por lo general del tipo aM) para realizar esta función. La combinación se utiliza principalmente para circuitos de control de motores, en los que el seccionador o interruptor seccionador permite realizar operaciones seguras tales como:

- Cambiar las conexiones de fusibles (con el circuito aislado).
- Trabajar en el circuito situado aguas abajo del discontactor (riesgo de cierre remoto del discontactor).

El fusible-seccionador debe estar enclavado con el discontactor de forma que resulte imposible abrir o cerrar el fusible-seccionador a menos que el discontactor esté abierto (**Figura H17**), ya que el fusible-seccionador carece de capacidad de conmutación de carga.

Un interruptor de fusible-seccionador no requiere (evidentemente) enclavamiento (**Figura H18**). El interruptor debe ser de clase AC22 o AC23 si el circuito suministra corriente a un motor.

Interruptor automático + interruptor automático contactor + discontactor

Estas combinaciones se utilizan en sistemas de distribución controlados de forma remota en los que la velocidad de conmutación es elevada, o para el control y protección de circuitos que suministran corriente a motores.

3 Elección de la aparatura

3.1 Capacidades funcionales tabuladas

Después de examinar las funciones básicas de la aparatura de baja tensión (apartado 1, **Figura H1**) y los diferentes componentes de la aparatura (apartado 2), en la **Figura H19** se resumen las compatibilidades de los diversos componentes.

H10

Aparatura	Aislamiento	Control				Protección eléctrica		
		Funcional	Conmutación de emergencia	Parada de emergencia (mecánica)	Conmutación para mantenimiento mecánico	Sobrecarga	Cortocircuito	Diferencial
Aislante (o seccionador) ⁽⁴⁾	■							
Interruptor ⁽⁵⁾	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			
Dispositivo diferencial (interruptor automático de corriente residual) ⁽⁵⁾	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			■
Interruptor seccionador	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			
Contacto		■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■ (3)		
Interruptor biestable (telerruptor)		■	■ (1)		■			
Fusible	■					■	■	
Interruptor automático ⁽⁵⁾		■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	
Seccionador de interruptor automático ⁽⁵⁾	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	
Interruptor automático residual y de sobretensión (RCBO) ⁽⁵⁾	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	■
Punto de instalación (principio general)	Origen de cada circuito	Todos los puntos donde por razones operativas puede ser necesario detener el proceso	Por lo general, en el circuito de entrada a cada cuadro de distribución	En el punto de suministro de cada máquina y/o en la máquina en cuestión	En el punto de suministro de cada máquina	Origen de cada circuito	Origen de cada circuito	Origen de los circuitos donde el sistema de conexión a tierra resulta adecuado, TN-S, IT, TT

- (1) Cuando se proporciona un corte de todos los conductores activos.
- (2) Puede ser necesario mantener el suministro a un sistema de frenado.
- (3) Si está asociado a un relé térmico (la combinación se suele denominar un "discontactor").
- (4) En algunos países es obligatorio instalar un seccionador con contactos visibles en el origen de una instalación de baja tensión suministrada directamente desde un transformador de alta tensión/baja tensión.
- (5) Determinada aparatura resulta adecuada para fines de aislamiento (p. ej., los interruptores automáticos de corriente residual según IEC 1008) sin estar marcados explícitamente como tal.

Fig. H19: Funciones realizadas por las diferentes aparaturas.

3.2 Selección de la aparatura

El software se utiliza cada vez más para la selección óptima de la aparatura. Cada circuito se considera de forma individualizada y se prepara una lista con las funciones de protección necesarias y el tipo de explotación de la instalación, incluidas las mencionadas en la **Figura H19** y las resumidas en la **Figura H1**.

Se estudia una serie de combinaciones de aparatura y se comparan con criterios correspondientes con el fin de conseguir lo siguiente:

- Rendimiento satisfactorio.
- Compatibilidad entre los elementos individuales, desde la corriente nominal I_n a la especificación a nivel de defecto I_{cu} .
- Compatibilidad con la aparatura situada aguas arriba, o tener en cuenta su aportación.
- Conformidad con todas las normativas y especificaciones relativas al rendimiento seguro y fiable de los circuitos.

Se trata de determinar el número de polos de una aparatura. La aparatura multifunción, que inicialmente resulta más cara, reduce los costes de instalación y los problemas de instalación o de explotación. A menudo, esta aparatura ofrece la mejor solución.

4 Interruptores automáticos

El interruptor automático realiza todas las funciones básicas de la aparatenta y, mediante accesorios y auxiliares, también puede realizar otras muchas.

Como se muestra en la **Figura H20**, el interruptor automático/seccionador es la única aparatenta capaz de satisfacer simultáneamente todas las funciones básicas necesarias en una instalación eléctrica.

Además, mediante unidades auxiliares, puede proporcionar otras muchas funciones, como por ejemplo señalización (abierto/cerrado, disparo por defecto), disparo por mínima tensión, etc. Debido a estas funciones, un interruptor automático/seccionador es la aparatenta básica de cualquier instalación eléctrica.

Funciones	Condiciones posibles	
Aislamiento	■	
Control	Funcional	■
	Comutación de emergencia	■ (Con posibilidad de una bobina de disparo para control remoto)
	Apagado para la realización de trabajos de mantenimiento mecánico	■
Protección	Sobrecarga	■
	Cortocircuito	■
	Defecto de aislamiento	■ (Con relé de corriente diferencial)
	Mínima tensión	■ (Con bobina de disparo por mínima tensión)
Control remoto	■ Añadido o incorporado	
Indicación y medición	■ (Por lo general opcional con un dispositivo de disparo electrónico)	

Fig. H20: Funciones realizadas por un interruptor automático.

Los interruptores automáticos de uso industrial deben cumplir las normas IEC 60947-1 y 60947-2 u otras normas equivalentes. Los interruptores automáticos de uso doméstico deben cumplir la norma IEC 60898 o una norma nacional equivalente.

4.1 Normas y descripción

Normas

Para instalaciones industriales de baja tensión, las normas IEC de aplicación son las siguientes:

- UNE-EN 60947-1/A1:2002, parte 1: reglas generales.
- UNE-EN 60947-2/A1:1999, parte 2: interruptores automáticos.
- UNE-EN 60947-3/A1:2002, parte 3: interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-4-1/A1:2003, parte 4: contactores y arrancadores de motor.
- UNE-EN 60947-5-1/A1:2000, parte 5: aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando.
- UNE-EN 60947-6-1/A1:1997, parte 6: materiales de funciones múltiples.
- UNE-EN 60947-7-1/A1:2000, parte 7: materiales y accesorios.

Para instalaciones de baja tensión domésticas y similares, la norma adecuada es IEC 60898, o una norma nacional equivalente.

Descripción

En la **Figura H21** se muestran de forma esquemática los componentes principales de un interruptor automático de baja tensión y sus cuatro funciones esenciales:

- Los componentes de corte, es decir, los contactos fijos y móviles y la cámara apagachispas.
 - El mecanismo de enganche que el dispositivo de disparo abre al detectar condiciones de corriente anormales.
- Este mecanismo también está conectado a la maneta de activación del interruptor automático.
- Un dispositivo accionador del mecanismo de disparo, que puede ser:
 - Un dispositivo magnetotérmico en el que una pletina bimetálica accionada térmicamente detecta una condición de sobrecarga, mientras un percutor electromagnético entra en funcionamiento a niveles de corriente que se alcanzan en condiciones de cortocircuito, o bien
 - Un relé electrónico accionado desde transformadores de corriente, uno de los cuales está instalado en cada fase.
 - Un espacio asignado a los diversos tipos de bornes utilizados actualmente con los conductores principales del circuito de alimentación.

Los interruptores automáticos de uso doméstico (véase la **Figura H22** en la página siguiente) que cumplen la norma IEC 60898 y otras normas nacionales similares realizan las siguientes funciones básicas:

- Aislamiento.
- Protección contra sobreintensidad.

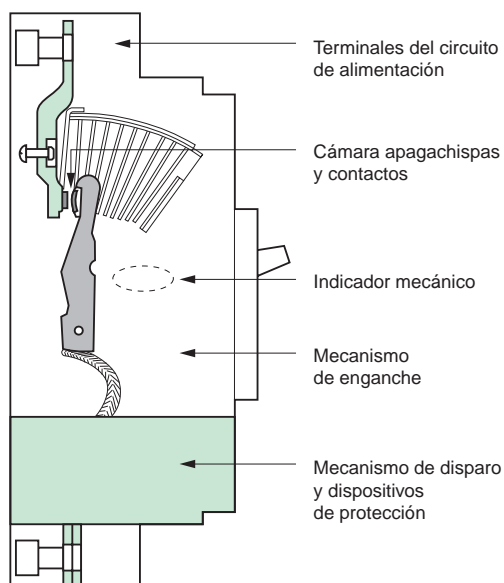


Fig. H21: Componentes principales de un interruptor automático.

4 Interruptores automáticos



Fig. H22: Interruptor automático magnetotérmico que proporciona funciones de protección contra sobrecorrientes y de aislamiento de circuitos.

H12



Fig. H23: Interruptor automático magnetotérmico como el mostrado anteriormente (Figura H22) que ofrece además protección contra defectos de aislamiento mediante la incorporación de un bloque diferencial modular.

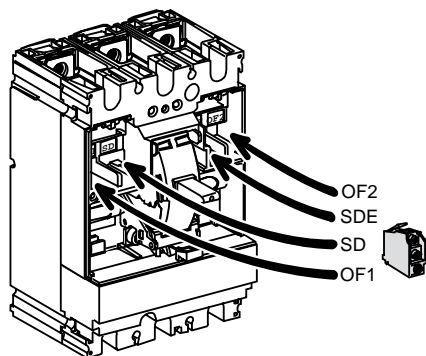


Fig. H25: Ejemplo de un interruptor automático modular (Compact NS) de uso industrial capaz de realizar numerosas funciones auxiliares.

Algunos modelos se pueden adaptar para proporcionar una detección sensible (30 mA) de la corriente de fuga a tierra con disparo de interruptor automático mediante la incorporación de un bloque modular, como se muestra en la **Figura H23**, mientras que otros modelos (que cumplen la norma IEC 61009) incorporan esta función de corriente residual, a saber, los RCBO y, más recientemente, los CBR (IEC 60947-2, apéndice B).

Aparte de las funciones anteriores, se pueden añadir otras funciones al interruptor automático básico mediante módulos adicionales, como se muestra en la **Figura H24**, en particular, control remoto e indicación (activado-desactivado-defecto).

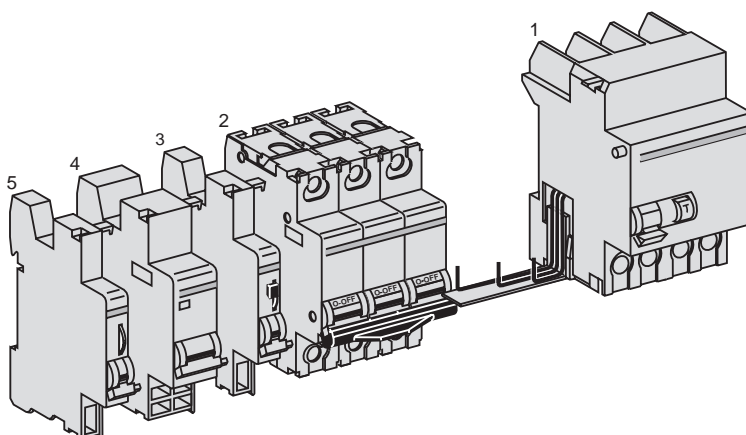


Fig. H24: Sistema "multi 9" de componentes modulares de aparamenta de baja tensión.

Ahora hay disponibles interruptores automáticos industriales de caja moldeada que cumplen la norma IEC 60947-2 y que, mediante bloques adaptables asociados, ofrecen una gama de funciones auxiliares similares a las descritas anteriormente (véase la **Figura H25**).

Los interruptores automáticos industriales de gran resistencia con elevadas corrientes nominales y que cumplen la norma IEC 60947-2 disponen de numerosas funciones de comunicación y electrónicas incorporadas (véase la **Figura H26**).

Además de las funciones de protección, la unidad Micrologic proporciona funciones optimizadas como medición (incluidas funciones de calidad de la alimentación), diagnóstico, comunicación, control y supervisión.



Fig. H26: Ejemplos de interruptores automáticos industriales de gran resistencia. El "Masterpact" proporciona numerosas funciones de automatización en su módulo de disparo "Micrologic".

4.2 Características fundamentales de un interruptor automático

Las características fundamentales de un interruptor automático son:

- Su tensión nominal U_e .
- Su corriente nominal I_n .
- Sus márgenes de ajuste del nivel de corriente de disparo para protección contra sobrecargas ($I_r^{(1)}$ o $I_{rth}^{(1)}$) y para protección contra cortocircuitos ($I_m^{(1)}$).
- Su poder de corte de la corriente de cortocircuito (I_{cu} para interruptores automáticos industriales e I_{cn} para interruptores automáticos de uso doméstico).

Tensión nominal de funcionamiento (U_e)

Es la tensión a la que funciona el interruptor automático en condiciones normales (inalteradas).

También se asignan al interruptor automático otros valores de tensión que corresponden a condiciones perturbadas, como se indica en el subapartado 4.3.

Corriente nominal (I_n)

Es el valor de corriente máximo que un interruptor automático equipado con un relé de disparo por sobreintensidad puede transportar indefinidamente a la temperatura de referencia indicada por el fabricante, sin superar los límites de temperatura especificados de los componentes conductores de corriente.

Ejemplo

Un interruptor automático con un valor nominal $I_n = 125$ A para una temperatura ambiente de 40 °C estará equipado con un relé de disparo por sobreintensidad calibrado adecuadamente (ajustado a 125 A). El mismo interruptor automático se puede utilizar a valores más altos de temperatura ambiente siempre que se decalle adecuadamente. Así, a una temperatura ambiente de 50 °C el interruptor automático sólo podría conducir 117 A indefinidamente, o sólo 109 A a 60 °C, y cumplir al mismo tiempo el límite de temperatura especificado. El decalaje de un interruptor automático se lleva a cabo reduciendo el ajuste de corriente de disparo de su relé de sobrecarga y marcando el interruptor automático en consecuencia. El uso de una unidad de disparo de tipo electrónico diseñada para resistir temperaturas elevadas permite que los interruptores automáticos (decalados de la manera descrita) funcionen a una temperatura ambiente de 60 °C (o incluso de 70 °C).

Nota: Para los interruptores automáticos, I_n (en la IEC 60947-2) es igual a I_u para la aparamenta en general, siendo I_u la corriente ininterrumpida nominal.

Especificación del tamaño de trama

A los interruptores automáticos que pueden estar equipados con unidades de disparo por sobreintensidad con diferentes márgenes de ajuste del nivel de la corriente se les asigna una especificación que se corresponde con la de la unidad más alta de disparo por ajuste del nivel de la corriente que se puede instalar.

Ejemplo

Un interruptor automático NS630N puede estar equipado con 4 unidades de disparo electrónicas de entre 150 A y 630 A. El tamaño del interruptor automático es de 630 A.

Ajuste de la corriente de disparo del relé de sobrecarga (I_{rth} o I_r)

A parte de los interruptores automáticos pequeños que se pueden sustituir con suma facilidad, los interruptores automáticos de uso industrial están equipados con relés de disparo por sobreintensidad extraíbles, es decir, intercambiables. Además, para adaptar un interruptor automático a los requisitos del circuito que controla y para eliminar la necesidad de instalar cables de gran tamaño, los relés de disparo son por lo general ajustables. El ajuste de la corriente de disparo I_r o I_{rth} (designaciones ambas de uso habitual) es la corriente por encima de la cual disparará el interruptor automático. También representa la corriente máxima que puede conducir el interruptor automático sin disparar. Ese valor debe ser mayor que la corriente de carga máxima I_b , pero menor que la corriente máxima permitida en el circuito I_z (véase el capítulo G, subapartado 1.3).

Los relés de disparo térmico son por lo general ajustables entre 0,7 y 1,0 veces el valor de I_n , pero cuando se utilizan dispositivos electrónicos para realizar esta operación, el margen de ajuste es mayor, normalmente entre 0,4 y 1 veces el valor de I_n .

Ejemplo (véase la Figura H27)

Un interruptor automático NS630N equipado con un relé de disparo por sobreintensidad STR23SE de 400 A, ajustado a 0,9, tendrá el siguiente ajuste de corriente de disparo:

$$I_r = 400 \times 0,9 = 360 \text{ A}$$

Nota: Para los interruptores automáticos equipados con relés de disparo por sobreintensidad no ajustables, $I_r = I_n$. Ejemplo: para un interruptor automático C60N de 20 A, $I_r = I_n = 20$ A.

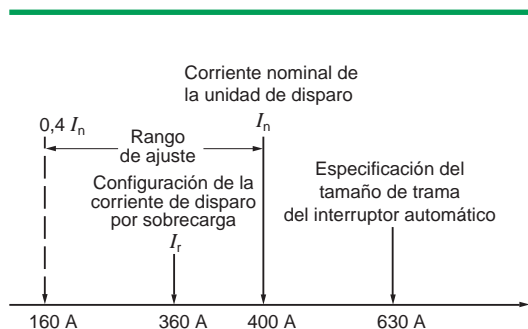


Fig. H27: Ejemplo de un interruptor automático NS630N equipado con una unidad de disparo STR23SE ajustada a 0,9, para dar un valor $I_r = 360$ A.

(1) Valores de ajuste del nivel de corriente que se refieren a los dispositivos de disparo magnéticos "instantáneos" y térmicos accionados por la corriente para protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Ajuste de la corriente de disparo de los relés de protección contra cortocircuitos (I_m)

Los relés con disparo por cortocircuito (instantáneo o con un breve retardo) están diseñados para disparar el interruptor automático rápidamente cuando se detectan valores altos de corriente de defecto. Su umbral de disparo I_m :

- Es fijo según las normas para interruptores automáticos de uso doméstico, p. ej., IEC 60898, o bien
- Viene indicado por el fabricante en el caso de los interruptores automáticos de uso industrial de acuerdo con las normas correspondientes, en particular la IEC 60947-2.

Para estos últimos interruptores automáticos existe una amplia variedad de dispositivos de disparo que permiten adaptar el rendimiento de protección del interruptor automático a los requisitos concretos de una carga (véanse las Figuras H28, H29 y H30).

H14

	Tipo de relé protector	Protección contra sobrecargas	Protección contra cortocircuitos		
			Tipo de ajuste bajo B $3 I_n \leq I_m < 5 I_n$	Tipo de ajuste estándar C $5 I_n \leq I_m < 10 I_n$	Tipo de circuito de ajuste alto D $10 I_n \leq I_m < 20 I_n^{(1)}$
Interruptores automáticos de uso doméstico IEC 60898	Magneto-térmico	$I_r = I_n$	Tipo de ajuste bajo B o Z $3,2 I_n < \text{fijo} < 4,8 I_n$	Tipo de ajuste estándar C $7 I_n < \text{fijo} < 10 I_n$	De tipo de ajuste alto D o K $10 I_n < \text{fijo} < 14 I_n$
Interruptores automáticos industriales ⁽²⁾ modulares	Magneto-térmico	$I_r = I_n$ fijo	Fijo: $I_m = 7$ a $10 I_n$		
Interruptores automáticos industriales ⁽²⁾ IEC 60947-2	Magneto-térmico	Ajustable: $0,7 I_n \leq I_r < I_n$	Ajustable: - Ajuste bajo: de 2 a $5 I_n$ - Ajuste estándar: de 5 a $10 I_n$		
	Electrónico	Retardo largo $0,4 I_n \leq I_r < I_n$	Retardo corto, ajustable $1,5 I_r \leq I_m < 10 I_r$ Instantáneo (I) fijo $I =$ de 12 a $15 I_n$		

(1) $50 I_n$ en IEC 60898, un valor que la mayoría de los fabricantes europeos consideran poco realista por ser demasiado elevado (M-G = de 10 a $14 I_n$).

(2) Las normas de IEC no especifican valores para uso industrial. Los valores indicados anteriormente son los utilizados habitualmente.

Fig. H28: Márgenes de corriente de disparo de los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos para los interruptores automáticos de baja tensión.

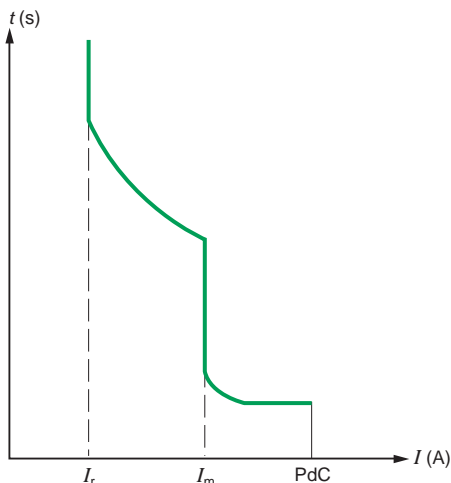
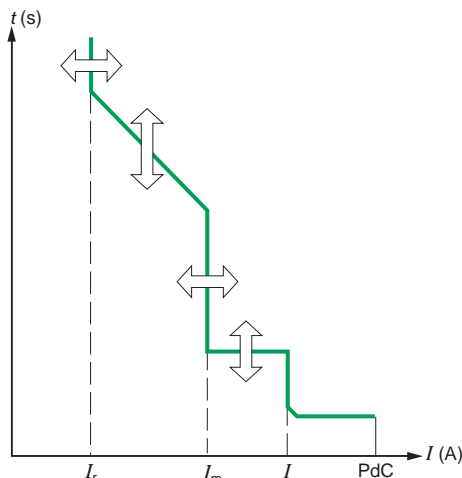


Fig. H29: Curva de disparo de un esquema de protección magnetotérmica de un interruptor automático.



I_r : Ajuste de la corriente de disparo de un relé de protección contra sobrecargas (térmico o con retardo breve).
 I_m : Ajuste de la corriente de disparo de un relé de protección contra cortocircuitos (magnético o con retardo largo).
 I : Ajuste de la corriente de disparo de un relé instantáneo de protección contra cortocircuitos.
 PdC: Poder de corte.

Fig. H30: Curva de disparo de un esquema de protección electrónica de un interruptor automático.

El poder de corte de un interruptor automático de baja tensión está relacionado con el valor $\cos \varphi$ del bucle de corriente de defecto. En algunas normas se han establecido valores normalizados para esta relación.

Función de aislamiento

Un interruptor automático resulta adecuado para aislar un circuito si cumple todas las condiciones establecidas para un seccionador (a su tensión nominal) en la norma correspondiente (véase el subapartado 1.2). En tal caso se denomina un interruptor automático-seccionador y su parte frontal está marcada con el símbolo



Toda la apartamentada Multi 9, Compact NS y Masterpact LV fabricada por Merlin Gerin está encuadrada en esta categoría.

Poder de corte nominal en cortocircuito (I_{cu} o I_{cn})

La especificación del poder de corte en cortocircuito de un interruptor automático es el valor de corriente más alto previsto que el interruptor automático es capaz de cortar sin sufrir daños. El valor de corriente indicado en las normas es el valor rms del componente de CA de la corriente de defecto, es decir, se supone que el componente transitorio de CC (que siempre está presente en el peor caso posible de un cortocircuito) es cero a efectos de calcular el valor estandarizado. Este valor nominal (I_{cu}) para interruptores automáticos de uso industrial e (I_{cn}) para interruptores automáticos de uso doméstico normalmente se expresa en kA rms.

I_{cu} (poder de corte nominal definido) e I_{cs} (poder de corte nominal en servicio) se definen en la IEC 60947-2 junto con una tabla que recoge los valores de I_{cs} con I_{cu} para diferentes categorías de utilización A (disparo instantáneo) y B (disparo con retardo), como se describe en el subapartado 4.3.

Las pruebas realizadas para determinar los poderes de corte en cortocircuito de los interruptores automáticos se rigen por las normas e incluyen lo siguiente:

- Secuencias de funcionamiento, que incluyen una sucesión de operaciones como abrir y cerrar en caso de cortocircuito.
- Desplazamiento de la fase de corriente y de tensión. Cuando la corriente está en fase con la tensión de alimentación ($\cos \varphi$ del circuito = 1), la interrupción de la corriente resulta más sencilla que a cualquier otro factor de potencia. El corte de la corriente con valores de retraso de $\cos \varphi$ bajos es considerablemente más difícil de conseguir, siendo un circuito con un factor de potencia cero el caso (teóricamente) más difícil.

En la práctica, todas las corrientes de defecto de cortocircuito de los sistemas de alimentación se encuentran (más o menos) en los factores de potencia con retraso, y las normas están basadas en valores considerados habitualmente como representativos de la mayoría de los sistemas de alimentación. Por lo general, cuanto mayor sea el nivel de la corriente de defecto (a una tensión dada), menor será el factor de potencia del bucle de la corriente de defecto, por ejemplo, cerca de generadores o transformadores grandes.

En la **Figura H31**, extraída de la norma IEC 60947-2, se muestra la relación entre los valores estandarizados de $\cos \varphi$ y los interruptores automáticos de uso industrial de acuerdo con su valor nominal I_{cu} .

■ A continuación de una secuencia abrir - retardo - cerrar/abrir para probar la capacidad de I_{cu} de un interruptor automático, se realizan pruebas adicionales para asegurar:

- La capacidad de resistencia dieléctrica,
- El rendimiento de desconexión (aislamiento) y
- Que el correcto funcionamiento de la protección contra sobrecargas no se haya visto afectado por la prueba.

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

Fig. H31: Relación entre I_{cu} y el factor de potencia ($\cos \varphi$) del circuito de corriente de defecto (IEC 60947-2).

Sin embargo, a menudo será necesario estar familiarizado con las siguientes características menos importantes de los interruptores automáticos de baja tensión a la hora de tomar una decisión final.

4.3 Otras características de un interruptor automático

Tensión nominal de aislamiento (U_i)

Es el valor de tensión al que se refieren la tensión de las pruebas dieléctricas (por lo general superior a $2 U_i$) y las líneas de fuga.

El valor máximo de la tensión operativa nominal nunca debe ser superior a la tensión de aislamiento, es decir, $U_e \leq U_i$.

Tensión nominal de resistencia a impulsos (U_{imp})

Esta característica expresa, en kV de pico (de una forma y polaridad determinadas), el valor de tensión que el equipo es capaz de resistir sin experimentar defectos en condiciones de prueba.

Por lo general, el valor de U_{imp} es de 8 kV para los interruptores automáticos de uso industrial y de 6 kV para los de uso doméstico.

Categoría (A o B) y corriente nominal de resistencia de corta duración (I_{cw})

Como ya se mencionó en el subapartado 4.2, según la norma IEC 60947-2 existen dos categorías de aparatenta de baja tensión, A y B:

- Los de la categoría A, para los que no existe un retardo deliberado en el funcionamiento del dispositivo de disparo magnético por cortocircuito "instantáneo" (véase la **Figura H32**), son por lo general interruptores automáticos de caja moldeada, y
- los de la categoría B para los que, con el fin de distinguirlos de otros interruptores automáticos en función del tiempo, es posible retrasar el disparo del interruptor automático, donde el nivel de la corriente de defecto es menor que el del valor nominal de la corriente de resistencia de corta duración (I_{cw}) del interruptor automático (véase la **Figura H33**). Esto se aplica por lo general a grandes interruptores automáticos de bastidor abierto y a determinados equipos de gran resistencia con caja moldeada. I_{cw} es la corriente máxima que puede resistir el interruptor automático de la categoría B, térmica y electrodinámicamente, sin sufrir daños durante un periodo indicado por el fabricante.

Capacidad de cierre nominal (I_{cm})

I_{cm} es el valor instantáneo de corriente más alto que el interruptor automático puede establecer a la tensión nominal en las condiciones especificadas. En los sistemas de CA, este valor máximo instantáneo está relacionado con I_{cu} (es decir, con la corriente de corte nominal) por el factor k , que depende del factor de potencia ($\cos \phi$) del bucle de corriente de cortocircuito (como se muestra en la **Figura H34**).

I_{cu}	$\cos \phi$	$I_{cm} = k I_{cu}$
$6 \text{ kA} < I_{cu} \leq 10 \text{ kA}$	0,5	$1,7 \times I_{cu}$
$10 \text{ kA} < I_{cu} \leq 20 \text{ kA}$	0,3	$2 \times I_{cu}$
$20 \text{ kA} < I_{cu} \leq 50 \text{ kA}$	0,25	$2,1 \times I_{cu}$
$50 \text{ kA} \leq I_{cu}$	0,2	$2,2 \times I_{cu}$

Fig. H34: Relación entre el poder de corte nominal I_{cu} y el poder de cierre nominal I_{cm} a diferentes valores de factor de potencia de la corriente de cortocircuito, estandarizados en la norma IEC 60947-2.

Ejemplo: Un interruptor automático Masterpact NW08H2 tiene una capacidad de corte I_{cu} de 100 kA. El valor máximo de su capacidad de cierre nominal I_{cm} será $100 \times 2,2 = 220 \text{ kA}$.

Poder nominal de corte de cortocircuito en servicio (I_{cs})

La capacidad de corte nominal (I_{cu}) o (I_{cn}) es la corriente de defecto máxima que un interruptor automático puede interrumpir satisfactoriamente sin sufrir daños. La probabilidad de que se produzca tal corriente es muy baja y en condiciones normales las corrientes de defecto son bastante menores que la capacidad de corte nominal (I_{cu}) del interruptor automático. Por otra parte, es importante que las altas corrientes (de baja probabilidad) se interrumpan en condiciones adecuadas con el fin de que el interruptor automático esté disponible de inmediato para volver a conectarse una vez reparado el circuito defectuoso. Por estos motivos se define una nueva característica (I_{cs}), que se expresa como un porcentaje de I_{cu} , a saber: 25, 50, 75, 100% para interruptores automáticos de uso industrial. La secuencia de prueba estándar es la siguiente:

- A - CA - CA⁽¹⁾ (a I_{cs}).
- Las pruebas realizadas a continuación de esta secuencia tienen como objetivo verificar que el interruptor automático se encuentra en perfecto estado de funcionamiento y disponible para prestar un servicio normal. Para los interruptores automáticos de uso doméstico, $I_{cs} = k I_{cn}$. Los valores del factor k se indican en la tabla XIV de la norma IEC 60898. En Europa, la práctica industrial consiste en utilizar un factor k de 100%, por lo que $I_{cs} = I_{cu}$.

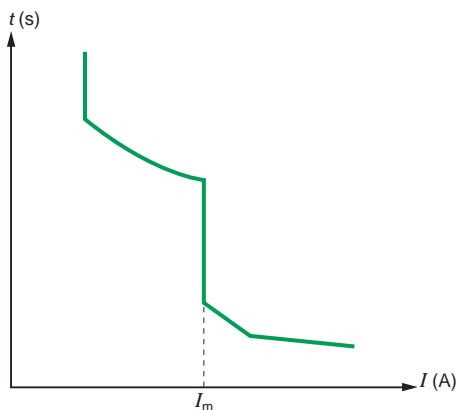


Fig. H32: Interruptor automático de la categoría A.

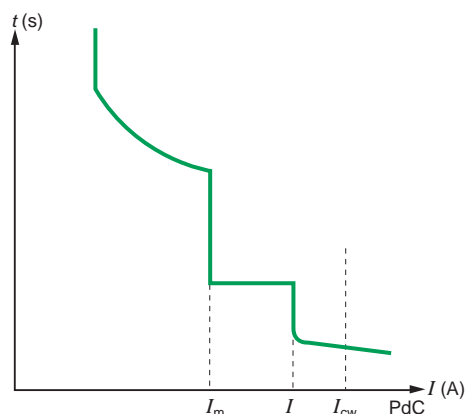


Fig. H33: Interruptor automático de la categoría B.

En una instalación diseñada correctamente nunca es necesario que un interruptor automático funcione a su corriente de corte I_{cu} máxima. Por este motivo se ha introducido una nueva característica I_{cs} . Se expresa en la norma IEC 60947-2 como un porcentaje de I_{cu} (25, 50, 75, 100%).

(1) "A" representa una operación de apertura.
"CA" representa una operación de cierre seguida de una operación de apertura.

Muchos diseños de interruptores automáticos de baja tensión disponen de una capacidad de limitación de corriente de cortocircuito que reduce la corriente e impide que alcance lo que de otro modo sería su valor máximo (véase la Fig. H32). El rendimiento de limitación de corriente de estos interruptores automáticos se presenta en forma de gráficos como el mostrado en el diagrama (a) de la Figura H33.

La limitación de corriente reduce las tensiones tanto térmicas como electrodinámicas a las que se ven sometidos todos los elementos de los circuitos a través de los cuales pasa la corriente, prolongando así la vida útil de estos elementos. Además, la función de limitación permite utilizar técnicas de "cascada" (véase el subapartado 4.5) que reducen considerablemente los costes de diseño y de instalación.

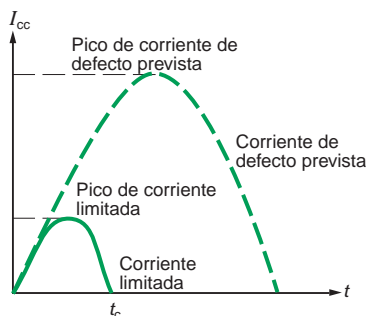


Fig. H35: Corrientes prevista y limitada.

Limitación de la corriente de defecto

La capacidad de limitación de la corriente de defecto de un interruptor automático se refiere a su capacidad, más o menos efectiva, para impedir el paso de la corriente de defecto prevista máxima y permitir que sólo fluya una cantidad limitada de corriente, como se muestra en la **Figura H35**. El rendimiento de limitación de corriente lo proporciona el fabricante del interruptor automático en forma de curvas (véase la **Figura H36**).

■ En el diagrama (a) se muestra el valor máximo limitado de la corriente, trazado en relación con el valor rms del componente de CA de la corriente de defecto prevista (corriente de defecto "prevista" se refiere a la corriente de defecto que fluiría si el interruptor automático no tuviese una capacidad de limitación de corriente).

■ La limitación de la corriente reduce considerablemente las tensiones térmicas (I^2t proporcional), y esto se representa por la curva del diagrama (b) de la **Figura H36**, una vez más en relación con el valor rms del componente de CA de la corriente de defecto prevista.

Los interruptores automáticos de baja tensión para instalaciones domésticas y similares están clasificados en determinadas normas (en particular en la norma europea EN 60898). Los interruptores automáticos pertenecientes a una clase (de limitadores de corriente) tienen características estandarizadas de limitación de I^2t definidas por esa clase.

En estos casos, los fabricantes normalmente no proporcionan curvas de rendimiento de las características.

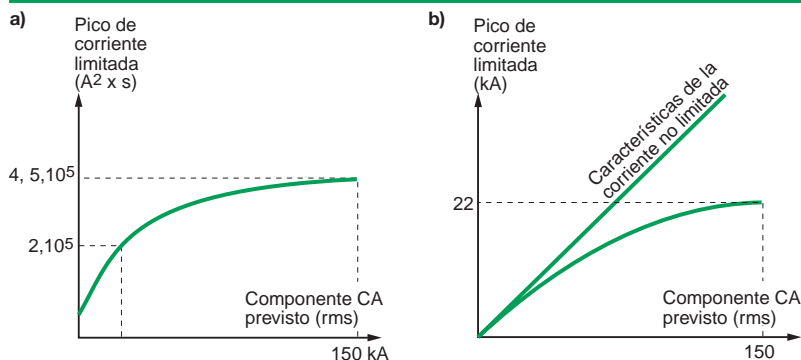


Fig. H36: Curvas de rendimiento de un interruptor automático de baja tensión típico con limitación de corriente.

Las ventajas de la limitación de corriente

El uso de interruptores automáticos con limitación de corriente ofrece numerosas ventajas:

- Mejor conservación de las redes de las instalaciones: los interruptores automáticos con limitación de corriente atenúan considerablemente todos los efectos nocivos asociados a las corrientes de cortocircuito.
- Reducción de los efectos térmicos: se reduce significativamente el calentamiento de los conductores (y por consiguiente del aislamiento), por lo que aumenta la vida útil de los cables.
- Reducción de los efectos mecánicos: las fuerzas causadas por la repulsión electromagnética son menores, con menos riesgo de deformación o ruptura, sobrecalentamiento de contactos, etc.
- Reducción de los efectos de la interferencia electromagnética:
- Menos influencia sobre los instrumentos de medición y los circuitos asociados, sistemas de telecomunicaciones, etc.

Por tanto, estos interruptores automáticos contribuyen a mejorar el aprovechamiento de los:

- Cables y cableado.
- Sistemas de enlaces de cables prefabricados.
- Aparatenta, reduciendo así el envejecimiento de la instalación.

Ejemplo

En un sistema con una corriente de cortocircuito prevista de 150 kA rms, un interruptor automático Compact L limita la corriente de pico a menos del 10% del valor máximo previsto calculado, y los efectos térmicos a menos del 1% de los calculados.

La disposición en cascada de los diversos niveles de distribución de una instalación, aguas abajo de un interruptor automático con capacidad de limitación, también aportará considerables ahorros económicos.

De hecho, la técnica de disposición en cascada, que se describe en el subapartado 4.5, permite obtener un ahorro considerable en envolventes de aparatenta (los de menor rendimiento se pueden instalar aguas abajo de los interruptores automáticos con capacidad de limitación) y estudios de diseño, de hasta el 20% (en total).

Los esquemas de protección selectiva y las técnicas de cascada son compatibles en la gama Compact NS hasta la capacidad de corte de cortocircuito completa de la aparatenta.

La elección de una gama de interruptores automáticos viene determinada por: las características eléctricas de la instalación, el entorno, las cargas y la necesidad de control remoto, junto con el tipo de sistema de telecomunicaciones previsto.

4.4 Selección de un interruptor automático

Elección de un interruptor automático

A la hora de elegir un interruptor automático deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Características eléctricas de la instalación en la que se utilizará el interruptor automático.
- Su entorno previsto: temperatura ambiente, en una cabina o una envolvente de cuadro de distribución, condiciones climáticas, etc.
- Requisitos de conexión y desconexión de la corriente de cortocircuito.
- Especificaciones operativas: disparo selectivo, requisitos (o no) de control remoto e indicación, contactos y bobinas de disparo auxiliares, conexiones, etc.
- Normas de instalación, en particular: protección de las personas.
- Características de carga, como motores, iluminación fluorescente, transformadores de baja tensión/baja tensión.

Las notas siguientes se refieren a la elección de interruptores automáticos de baja tensión para sistemas de distribución.

Elección de la corriente nominal en cuanto a la temperatura ambiente

La corriente nominal de un interruptor automático se define para su funcionamiento a una determinada temperatura ambiente, que por lo general es de:

- 30 °C para interruptores automáticos regidos según la norma doméstica.
- 40 °C para interruptores automáticos regidos según la norma industrial.

El rendimiento de estos interruptores automáticos a temperaturas ambiente diferentes depende principalmente de la tecnología de sus unidades de disparo (véase la **Figura H37**).

Unidades de disparo magnetotérmicas no compensadas

Los interruptores automáticos con elementos de disparo térmicos no compensados disponen de un nivel de corriente de disparo que depende de la temperatura ambiente. Si se instala el interruptor automático en una envolvente o en un lugar donde la temperatura es elevada (sala de calderas, etc.), la corriente necesaria para disparar el interruptor automático en caso de sobrecarga se reducirá sensiblemente. Cuando la temperatura del lugar donde se encuentra el interruptor automático supere su temperatura de referencia, se "reducirá". Por este motivo, los fabricantes de interruptores automáticos proporcionan tablas que indican los factores que se deben aplicar a temperaturas diferentes de la temperatura de referencia del interruptor automático. De los ejemplos típicos mostrados en esas tablas (véase la **Figura H38**) se deduce que una temperatura más baja que el valor de referencia produce un aumento del interruptor automático. Además, los interruptores automáticos pequeños de tipo modular montados en yuxtaposición, como se muestra en la **Figura H24**, se suelen montar en una pequeña caja metálica cerrada. En esta situación, el calentamiento mutuo que se produce al pasar corrientes de carga normales requiere por lo general que se reduzcan un factor de 0,8.

C60H: curva C. C60N: curvas B y C (temperatura de referencia: 30 °C)

Especific. (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 (temperatura de referencia: 40 °C)

Especific. (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

Fig. H38: Ejemplos de tablas para la determinación de los factores de reducción/aumento que deben aplicarse a los interruptores automáticos con unidades de disparo térmicas no compensadas, de acuerdo con la temperatura.

H18

Los interruptores automáticos con unidades de disparo térmicas no compensadas disponen de un nivel de corriente de disparo que depende de la temperatura ambiente.

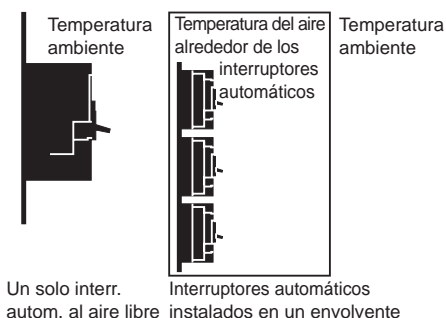


Fig. H37: Temperatura ambiente.

Ejemplo

¿Qué especificaciones (I_n) deberían seleccionarse para un C60N?

- Protección de un circuito cuya corriente de carga máxima aproximada es de 34 A.
- Instalado junto con otros interruptores automáticos en una caja de distribución cerrada.
- A una temperatura ambiente de 50 °C.

Un interruptor automático C60N con unas especificaciones de 40 A se reduciría a 35,6 A a una temperatura ambiente de 50 °C (véase la **Figura H38**). No obstante, para permitir el calentamiento mutuo en un espacio cerrado, deberá utilizarse el factor de 0,8 indicado anteriormente, por lo que $35,6 \times 0,8 = 28,5$ A, que no resulta adecuado para la carga de 34 A.

Por tanto, se seleccionaría un interruptor automático de 50 A, que daría unas especificaciones de corriente (reducidas) de $44 \times 0,8 = 35,2$ A.

Unidades de disparo magnetotérmicas compensadas

Estas unidades de disparo incluyen una pletina de compensación bimetálica que permite ajustar la corriente de disparo de sobrecarga (I_r o I_{rth}) en un margen especificado, independientemente de la temperatura ambiente.

Por ejemplo:

- En algunos países, el sistema TT es estándar en los sistemas de distribución de baja tensión, y las instalaciones domésticas (y similares) se protegen en la posición de servicio por medio de un interruptor automático facilitado por las autoridades responsables del suministro. Además de ofrecer protección contra el peligro de contactos indirectos, este interruptor automático se dispara en caso de producirse una sobrecarga, es decir, si el consumidor supera el nivel de corriente indicado en el contrato de suministro que ha formalizado con las autoridades responsables del suministro eléctrico. El interruptor automático (≤ 60 A) está compensado para un margen de temperaturas comprendido entre -5 y $+40$ °C.
- Los interruptores automáticos de baja tensión con especificaciones de ≤ 630 A suelen estar equipados con unidades de disparo compensadas para este margen (de -5 a $+40$ °C).

Las unidades de disparo electrónicas son muy estables a niveles de temperatura cambiantes.

Unidades de disparo electrónicas

Una ventaja importante de las unidades de disparo electrónicas es su rendimiento estable en condiciones de temperatura cambiantes. Sin embargo, la propia aparata a menudo impone limitaciones operativas a temperaturas elevadas, y por ello los fabricantes suelen proporcionar una tabla en la que se indican los valores máximos de los niveles de corriente de disparo permisibles a temperatura ambiente (véase la **Figura H39**).

Masterpact versión NW20			40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
H1/H2/H3	Extraíble con tomas horizontales	I_n (A)	2.000	2.000	2.000	1.980	1.890
		Ajuste máximo I_r	1	1	1	0,99	0,99
L1	Extraíble con tomas de canto	I_n (A)	2.000	200	1.900	1.850	1.800
		Ajuste máximo I_r	1	1	0,95	0,93	0,90

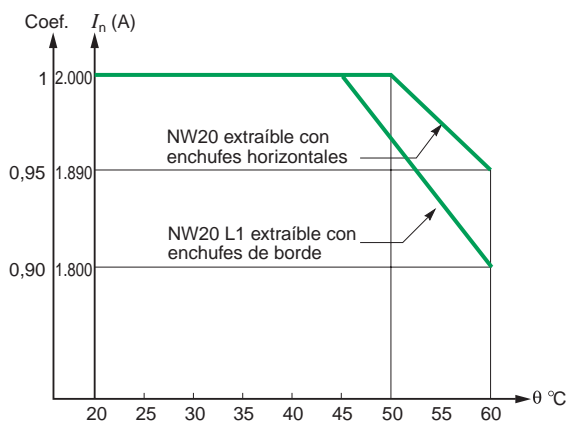


Fig. H39: Reducción del interruptor automático Masterpact NW20, según la temperatura.

Selección de un umbral de disparo instantáneo o con temporización de corta duración

En la **Figura H40** se resumen las principales características de las unidades de disparo instantáneo o con temporización de corta duración.

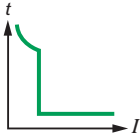
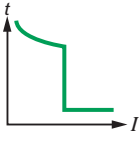
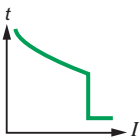
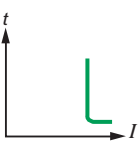
Tipo	Unidad de disparo	Aplicaciones
	Tipo B de ajuste bajo	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes que producen niveles bajos de corriente de cortocircuito (generadores auxiliares) Líneas o cables de gran longitud
	Tipo C de ajuste estándar	<ul style="list-style-type: none"> Protección de circuitos: caso general
	Tipo D o K de ajuste alto	<ul style="list-style-type: none"> Protección de circuitos con elevados niveles de corriente transitoria inicial (p. ej., motores, transformadores, cargas resistivas)
	Tipo MA de 12 I_n	<ul style="list-style-type: none"> Protección de motores conjuntamente con el contactor y su correspondiente protección contra sobrecarga

Fig. H40: Diferentes unidades de disparo, instantáneas o con temporización de corta duración.

H20

La instalación de un interruptor automático de baja tensión requiere que su capacidad de corte de cortocircuito (o la del interruptor automático con un dispositivo asociado) sea igual o mayor que la corriente de cortocircuito prevista calculada en su punto de instalación.

Selección de un interruptor automático de acuerdo con los requisitos de capacidad de corte de cortocircuito

La instalación de un interruptor automático en una instalación de baja tensión debe cumplir una de las dos condiciones siguientes:

- Tener una capacidad nominal de corte de cortocircuito I_{cu} (o I_{cn}) igual o mayor que la corriente de cortocircuito prevista calculada para su punto de instalación, o bien
- Si no es éste el caso, estar asociado a otro dispositivo situado aguas arriba que disponga de la capacidad de corte de cortocircuito necesaria.

En el segundo caso, las características de ambos dispositivos deben coordinarse de modo que la energía que puede pasar a través del dispositivo situado aguas arriba no sea superior a la energía que pueden resistir el dispositivo situado aguas abajo y todos sus cables, hilos y otros componentes asociados sin sufrir ningún tipo de daño. Esta técnica resulta útil en:

- Asociaciones de fusibles e interruptores automáticos.
- Asociaciones de interruptores automáticos con limitación de corriente e interruptores automáticos estándar.

La técnica se denomina "disposición en cascada" (véase el subapartado 4.5 de este capítulo).

En la salida del transformador más pequeño, el interruptor automático debe disponer de una capacidad de cortocircuito adecuada para una corriente de defecto que sea superior a la que pase a través de cualquiera de los interruptores automáticos de baja tensión del otro transformador.

Selección de los interruptores automáticos principal y primario

Un solo transformador

Si el transformador está situado en el centro de transformación de un cliente, algunas normas nacionales exigen el uso de un interruptor automático de baja tensión en el que los contactos abiertos sean claramente visibles, como un Compact.

Ejemplo (véase la **Figura H41** en la página siguiente).

¿Qué tipo de interruptor automático resultaría adecuado como interruptor automático principal de una instalación suministrada a través de un transformador trifásico de alta tensión/baja tensión de 250 kVA (400 V) en el centro de transformación de un cliente?

Transformador $I_n = 360$ A.

I_{sc} (trifásico) = 8,9 kA.

Un Compact NS400N con una unidad de disparo con un margen ajustable entre 160 y 400 A y una capacidad de corte de cortocircuito (I_{cu}) de 45 kA resultaría adecuado en este caso.

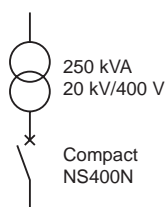


Fig. H41: Ejemplo de un transformador en el centro de transformación de un cliente.

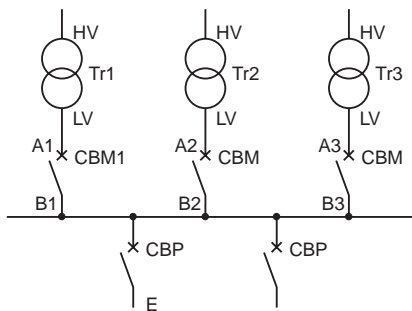


Fig. H42: Transformadores en paralelo.

Varios transformadores en paralelo (véase la Figura H42).

- Cada uno de los interruptores automáticos CBP en la salida del cuadro de distribución de baja tensión debe ser capaz de cortar la corriente de defecto total de todos los transformadores conectados a las barras de bus, a saber: $I_{sc1} + I_{sc2} + I_{sc3}$.
- Los interruptores automáticos CBM, cada uno de los cuales controla la salida de un transformador, deben ser capaces de manejar una corriente de cortocircuito máxima de (por ejemplo) $I_{sc2} + I_{sc3}$ únicamente, para un cortocircuito situado en el lado aguas arriba de CBM1.

En base a estas consideraciones se verá que en estas circunstancias el interruptor automático del transformador más pequeño estará sometido al nivel más alto de corriente de defecto, mientras que el interruptor automático del transformador más grande pasará al nivel más bajo de corriente de cortocircuito.

- Las especificaciones de los CBM deben elegirse de acuerdo con los valores de kVA de los transformadores asociados.

Nota: Las condiciones esenciales para el correcto funcionamiento de los transformadores trifásicos en paralelo se pueden resumir de la siguiente manera:

1. La variación de fase de las tensiones, principal a secundaria, deben ser las mismas en todas las unidades que se instalen en paralelo.
2. Las relaciones de tensión de cortocircuito, principal a secundaria, deben ser las mismas en todas las unidades.
3. La tensión de impedancia de cortocircuito ($Z_{sc}\%$) debe ser la misma en todas las unidades.

Por ejemplo, un transformador con un valor $Z_{sc} = 6\%$ compartirá la carga correctamente con un transformador de 1.000 kVA que tenga un valor Z_{sc} de 6%, es decir, los transformadores se cargarán automáticamente en proporción a sus valores de kVA. El funcionamiento en paralelo no está recomendado para transformadores con una relación de valores en kVA superior a 2.

En la Figura H43 se indican, para la disposición más habitual (2 o 3 transformadores con los mismos valores de kVA), las corrientes de cortocircuito máximas a las que se ven sometidos los interruptores automáticos principal y primario (CBM y CBP, respectivamente, en la Figura H42). Está basado en las siguientes hipótesis:

- La potencia trifásica de cortocircuito en el lado de alta tensión del transformador es de 500 MVA.
- Los transformadores son unidades de distribución estándar de 20/0,4 kV con los valores nominales indicados.

- Los cables entre cada transformador y su interruptor automático de baja tensión constan de 5 metros de conductores de un solo núcleo.

- Entre el CBM de cada circuito de entrada y el CBP de cada circuito de salida existe una barra de bus de 1 m.

- La apartamenta está instalada en un cuadro de distribución cerrado montado en el suelo, a una temperatura ambiente de 30 °C.

Además, en esta tabla se muestran determinados interruptores automáticos fabricados por Merlin Gerin y recomendados para los interruptores automáticos principal y primario en cada caso.

Ejemplo (véase la Figura H44 en la página siguiente).

- Selección de interruptor automático para funcionamiento como CBM: I_n para un transformador de 800 kVA = $1.126 A I_{cu}$ (mínimo) = 38 kA (de la Figura H43); el CBM indicado en la tabla es un Compact NS1250N ($I_{cu} = 50$ kA).

- Selección de interruptor automático para funcionamiento como CBP: La capacidad de corte de cortocircuito (I_{cu}) necesaria para estos interruptores automáticos se indica en la Figura H43 como 56 kA.

Una opción recomendada para los tres circuitos de salida 1, 2 y 3 serían los tipos de interruptores automáticos con limitación de corriente NS400 L, NS250 L y NS100 L. El valor I_{cu} en cada caso = 150 kA.

Número y valores kVA de los transformadores de 20/0,4 kV	Capacidad mínima de corte de cortocircuito de los interruptores automáticos principales (I_{cu}) en kA	Selectividad total de los interruptores automáticos principales (CBM) con los interruptores automáticos de salida (CBP)	Capacidad mínima de corte de cortocircuito de los interruptores automáticos primarios (I_{cu}) en kA	Corriente nominal I_n del interruptor automático primario (CPB) 250 A
2 × 400	14	NW08 N1/NS800 N	27	NS250 H
3 × 400	28	NW08 N1/NS800 N	42	NS250 H
2 × 630	22	NW10 N1/NS1000 N	42	NS250 H
3 × 630	44	NW10 N1/NS1000 N	67	NS250 H
2 × 800	19	NW12 N1/NS1250 N	38	NS250 H
3 × 800	38	NW12 N1/NS1250 N	56	NS250 H
2 × 1.000	23	NW16 N1/NS1600 N	47	NS250 H
3 × 1.000	47	NW16 N1/NS1600 N	70	NS250 H
2 × 1.250	29	NW20 N1/NS2000 N	59	NS250 H
3 × 1.250	59	NW20 N1/NS2000 N	88	NS250 L
2 × 1.600	38	NW25 N1/NS2500 N	75	NS250 L
3 × 1.600	75	NW25 N1/NS2500 N	113	NS250 L
2 × 2.000	47	NW32 N1/NS3200 N	94	NS250 L
3 × 2.000	94	NW32 N1/NS3200 N	141	NS250 L

Fig. H43: Valores máximos de la corriente de cortocircuito que deben interrumpir los interruptores automáticos principal y primario (CBM y CBP, respectivamente) para varios transformadores en paralelo.

Los niveles de corriente de defecto de cortocircuito en cualquier punto de una instalación se pueden obtener de las tablas.

H22

Estos interruptores automáticos ofrecen las siguientes ventajas:

- Selectividad total con los interruptores automáticos situados aguas arriba (CBM).
- Aprovechamiento de la técnica de "disposición en cascada", con el consiguiente ahorro económico que aporta a todos los componentes situados aguas abajo.

Elección de interruptores automáticos para circuitos de salida y circuitos finales

Uso de la tabla G40

En esta tabla, el valor de la corriente de cortocircuito trifásica se puede determinar con rapidez para cualquier punto de la instalación si se conoce:

- El valor de la corriente de cortocircuito en un punto situado aguas arriba del lugar de instalación previsto para el interruptor automático en cuestión.
- La longitud, sección y composición de los conductores entre ambos puntos.

Se puede seleccionar un interruptor automático cuya capacidad de corte de cortocircuito sea superior al valor indicado en la tabla.

Cálculo detallado del nivel de la corriente de cortocircuito

Para calcular con mayor precisión la corriente de cortocircuito, en particular, cuando la capacidad de corte de cortocircuito de un interruptor automático es ligeramente inferior a la obtenida de la tabla, es necesario utilizar el método indicado en el apartado 4 del capítulo G.

Interruptores automáticos de dos polos (para fase y neutro) con un polo protegido únicamente

Estos interruptores automáticos suelen contar con un dispositivo de protección contra sobrecorriente en el polo de fase únicamente y se pueden utilizar en esquemas TT, TN-S e IT. Sin embargo, en un esquema IT se deben respetar las siguientes condiciones:

- Condición (B) de la tabla G67 para la protección del conductor neutro contra sobrecorriente en caso de defecto de aislamiento doble.
- Especificaciones del poder de corte de cortocircuito: según la convención, un interruptor automático fase a neutro de 2 polos debe ser capaz de cortar en un polo (a la tensión de fase a fase) la corriente de un defecto de aislamiento igual al 15% de la corriente de cortocircuito trifásica en el punto de su instalación, si esa corriente es ≤ 10 kA, o al 25% de la corriente de cortocircuito trifásica si es superior a 10 kA.
- Protección contra los contactos indirectos: esta protección se proporciona de acuerdo con las reglas de los esquemas IT.

Especificaciones insuficientes de poder de corte de cortocircuito

En los sistemas de distribución de baja tensión ocurre a veces, especialmente en las redes de gran resistencia, que el valor I_{sc} calculado es superior a las especificaciones I_{cu} de los interruptores automáticos disponibles para la instalación, o que los cambios realizados en el sistema aguas arriba dan como resultado que se superen las especificaciones de los interruptores automáticos de nivel más bajo.

- Solución 1: Comprobar si los interruptores automáticos adecuados situados aguas arriba de los interruptores automáticos afectados disponen de limitación de corriente y permiten el uso de técnicas de filiación (descritas en el subapartado 4.5).
- Solución 2: Instalar una gama de interruptores automáticos con especificaciones más altas. Esta solución resulta interesante desde el punto de vista económico cuando sólo se ven afectados uno o dos interruptores automáticos.
- Solución 3: Asociar fusibles de limitación de corriente (gG o aM) con los interruptores automáticos en cuestión, en el lado aguas arriba. Sin embargo, esta disposición debe respetar las siguientes reglas:

- Las especificaciones de los fusibles deben ser adecuadas.
- No se debe instalar un fusible en el conductor neutro, excepto en determinadas instalaciones IT en las que un defecto doble produzca una corriente en el conductor neutro que supere las especificaciones de corte de cortocircuito del interruptor automático. En este caso, si se funde el fusible del conductor neutro, el interruptor automático deberá dispararse en todas las fases.

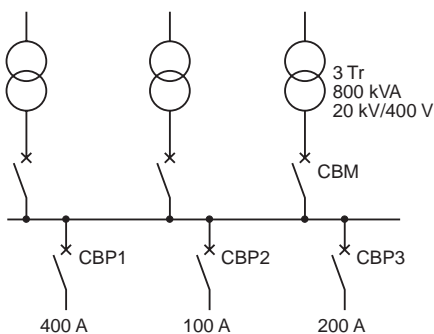


Fig. H44: Transformadores en paralelo.

La técnica de "filiación" utiliza las prestaciones de los interruptores automáticos con limitación de corriente para permitir la instalación aguas abajo de aparatenta, cables y otros componentes de circuitos con un rendimiento considerablemente inferior al que de otro modo sería necesario, simplificando y reduciendo así el coste de una instalación.

4.5 Coordinación entre interruptores automáticos

Disposición en filiación

Definición de la técnica de filiación

Mediante la limitación del valor máximo de corriente de cortocircuito que pasa a través del mismo, un interruptor automático con limitación de corriente permite utilizar en todos los circuitos situados aguas abajo de su ubicación aparatenta y componentes de circuitos con capacidades de corte de cortocircuito y capacidades de resistencia térmica y electromecánica con valores muy inferiores a los habituales. El tamaño físico reducido y los requisitos de rendimiento más bajos permiten conseguir un ahorro considerable y simplificar el trabajo de instalación. Aunque el efecto de un interruptor automático con limitación de corriente sobre los circuitos aguas abajo consiste (aparentemente) en incrementar la impedancia de la fuente durante condiciones de cortocircuito, ese efecto no ocurre en ningún otro momento, por ejemplo, durante el arranque de un motor grande (cuando es muy deseable una impedancia baja de la fuente). Resulta especialmente interesante en este sentido una nueva gama de interruptores automáticos Compact con limitación de corriente y un potente rendimiento de limitación (a saber, los modelos NS100, NS160, NS250 y NS400).

Por lo general es necesario realizar pruebas de laboratorio para asegurar el cumplimiento de las condiciones de explotación exigidas por las normas nacionales, y el fabricante debe proporcionar combinaciones de aparamenta compatibles.

Condiciones de explotación

La mayoría de las normas nacionales permiten el uso de la técnica de filiación, siempre y cuando la cantidad de energía que deje pasar el interruptor automático limitador sea inferior a la energía que todos los interruptores automáticos y componentes situados aguas abajo son capaces de resistir sin sufrir daños.

En la práctica, y en el caso de los interruptores automáticos, esto sólo se puede verificar mediante pruebas de laboratorio. Estas pruebas las llevan a cabo los fabricantes, que proporcionan la información en forma de tablas para que los usuarios puedan diseñar con toda confianza un esquema de filiación basado en la combinación de tipos de interruptores automáticos recomendados. A modo de ejemplo, en la **Figura H45** se indican las posibilidades de la disposición en filiación de los tipos de interruptor automático C60, iDPN N, C120 y NG125 cuando se instalan aguas abajo de los interruptores automáticos con limitación de corriente NS 250 N, H o L para una instalación trifásica de 230/400 V o de 240/415 V.

	kA rms			
Poder de corte de cortocircuito de los interruptores automáticos aguas arriba (limitadores)	150			NS250 L
	50		NS250	
	35	NS250 N		
Poder de corte de cortocircuito de los interruptores automáticos aguas abajo (que se benefician de la técnica de filiación)	150			NG125 L
	70		NG125 L	
	40		C60L ≤ 40 A	C60L ≤ 40 A
	36	NG125 N	NG125 N	
	30	C60 H C60 L 50-63 A	C60 L C60 H	C60 N/H C60 L 50-63 A
	25	C60 N C120 N/H	C120 N/H	C60 N C120 N/H
	20	iDPN N	iDPN N	iDPN N
	15		C60 N	

Fig. H45: Ejemplo de posibilidades de disposición en filiación en una instalación trifásica de 230/400 o 240/415 V.

H23

La selectividad puede ser absoluta o parcial y estar basada en los principios de los niveles de corriente o de temporización, o en una combinación de ambos. Un avance más reciente está basado en los principios de la lógica. Un sistema patentado de Merlin Gerin aprovecha las ventajas de la limitación de corriente y de la selectividad.

Ventajas de la filiación

La limitación de corriente beneficia a todos los circuitos aguas abajo controlados por el interruptor automático con limitación de corriente.

Este principio no es restrictivo, es decir, se pueden instalar interruptores automáticos con limitación de corriente en cualquier punto de una instalación donde las especificaciones de los circuitos aguas abajo serían de otro modo inadecuadas.

Las ventajas son las siguientes:

- Cálculos simplificados de la corriente de cortocircuito.
- Simplificación, es decir, mayor elección de aparamenta y dispositivos aguas abajo.
- Uso de aparamenta y dispositivos de menor rendimiento, con el consiguiente ahorro de costes.
- Menores requisitos de espacio físico, puesto que los equipos de menor rendimiento suelen ser por lo general más compactos.

Selectividad

La selectividad se consigue por medio de dispositivos de protección automáticos si ocurre una condición de defecto en cualquier punto de la instalación y es eliminada por el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba del defecto, de forma que no se vean afectados todos los demás dispositivos de protección (véase la **Figura H46**).

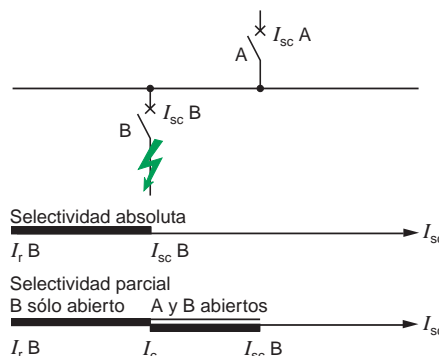


Fig. H46: Selectividad absoluta y parcial.

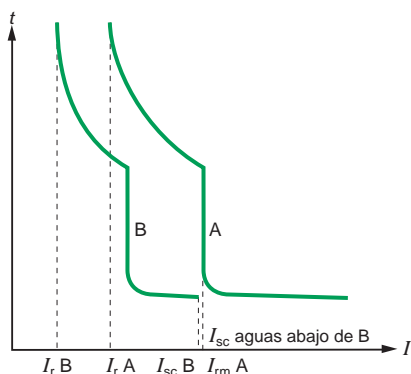


Fig. H47: Selectividad total entre los interruptores automáticos A y B.

La selectividad entre los interruptores automáticos A y B es total si el valor máximo de la corriente de cortocircuito en el circuito B no supera el ajuste de disparo por cortocircuito del interruptor automático A. En esta condición sólo disparará el interruptor automático B (véase la **Figura H47**).

La selectividad es parcial si la máxima corriente de cortocircuito posible en el circuito B es superior al ajuste de la corriente de disparo por cortocircuito del interruptor automático A. En esta condición dispararán los interruptores automáticos A y B (véase la **Figura H48**).

Selectividad basada en los niveles de corriente: protección contra sobrecarga (véase la **Figura H49a**)

Este método se aplica ajustando umbrales sucesivos de disparo de relé a niveles escalonados, desde los relés aguas abajo (ajustes más bajos) hacia la fuente (ajustes más altos). La selectividad es total o parcial, según las condiciones concretas, como se indica en los ejemplos anteriores.

Por regla general, la selectividad se consigue cuando:

- $\frac{I_r A}{I_r B} > 2$
- $\frac{I_{rm} A}{I_{rm} B} > 2$

El límite de selectividad es $I_{rm} A$.

Selectividad basada en temporizaciones escalonadas: protección contra corrientes de cortocircuito de bajo nivel (véase la **Figura H49b**)

Este método se implementa ajustando las unidades de disparo por temporización de modo que los relés aguas abajo tengan los tiempos de funcionamiento más cortos y los retardos sean progresivamente más largos hacia la fuente.

En la disposición de dos niveles mostrada, el interruptor automático aguas arriba A se retarda lo suficiente como para asegurar la selectividad total con el interruptor automático B (por ejemplo: Masterpact electrónico).

Selectividad basada en una combinación de los métodos 1 y 2 (véase la **Figura H49c**)

Una temporización mecánica añadida a un esquema de nivel de corriente puede mejorar el rendimiento de selectividad global.

La selectividad es total si $I_{sc} B < I_{rm} A$ (instantáneo). El interruptor automático aguas arriba dispone de dos umbrales de disparo magnético de alta velocidad:

- $I_{sc} A$ (temporizado) o un temporizador electrónico SD⁽¹⁾.
- $I_{sc} A$ (instantáneo) estándar (Compact tipo SA).

Selectividad basada en los niveles de energía de arco: protección contra corrientes de cortocircuito de alto nivel

Esta tecnología implementada en el Compact NS (interruptor automático con limitación de corriente) resulta muy eficaz para conseguir una selectividad total.

Principio: Cuando los dos interruptores automáticos A y B detectan una corriente de cortocircuito de muy alto nivel, los contactos se abren simultáneamente. Como resultado, se limita la corriente.

- El muy alto nivel de energía de arco en B provoca el disparo del interruptor automático B.
- A continuación, el nivel de la energía de arco se limita en el nivel A y el valor de energía no es suficiente para provocar el disparo del interruptor automático A.

Debido a su menor tamaño, el interruptor automático aguas abajo limitará la corriente a un valor más bajo que el interruptor automático aguas arriba.

Por regla general, la selectividad entre los interruptores automáticos Compact NS es absoluta si la relación de calibre entre A y B es superior a 2,5.

Selectividad a nivel de corriente

La selectividad a nivel de corriente se consigue por medio de ajustes escalonados del nivel de corriente de los elementos de disparo magnético instantáneo.

La selectividad a nivel de corriente se consigue por medio de interruptores automáticos, preferiblemente limitadores, y ajustes escalonados del nivel de corriente de los elementos de disparo magnético instantáneo.

- El interruptor automático aguas abajo no es un interruptor automático con limitación de corriente.
- La selectividad puede ser total o parcial para un defecto de cortocircuito aguas abajo de B, como se indicó anteriormente en el punto 1. En esta situación la selectividad total es prácticamente imposible porque $I_{sc} A \approx I_{sc} B$, por lo que ambos interruptores automáticos dispararán por lo general al unísono. En este caso, la selectividad es parcial y está limitada al valor I_{rm} del interruptor automático aguas arriba.
- El interruptor automático aguas abajo es un interruptor automático con limitación de corriente.

Se puede mejorar el disparo selectivo utilizando un limitador de corriente en una ubicación aguas abajo, p. ej., para el interruptor automático B.

Para un cortocircuito aguas abajo de B, el nivel limitado de la corriente de pico I_B accionaría la unidad de disparo magnético (ajustada adecuadamente) de B, pero sería insuficiente para provocar el disparo del interruptor automático A.

H24

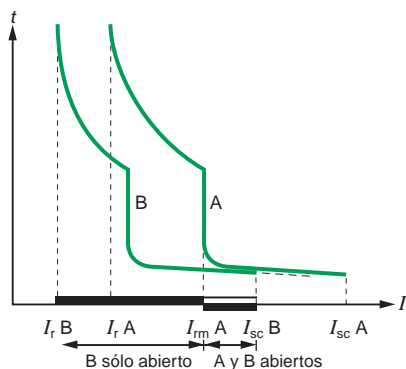


Fig. H48: Selectividad parcial entre los interruptores automáticos A y B.

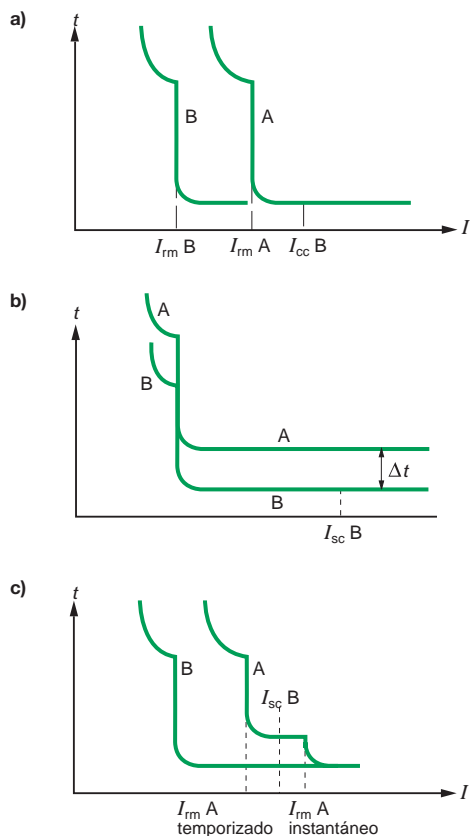


Fig. H49: Selectividad...

(1) Retardo corto.

Nota: Todos los interruptores automáticos de baja tensión (considerados en este capítulo) ofrecen algún grado inherente de limitación de corriente, incluso los que no están clasificados como limitadores de corriente. Esto explica la característica curvada mostrada para el interruptor automático estándar A en la **Figura H50**. Sin embargo, es necesario realizar cuidadosamente los cálculos y las pruebas para garantizar el rendimiento satisfactorio de esta disposición.

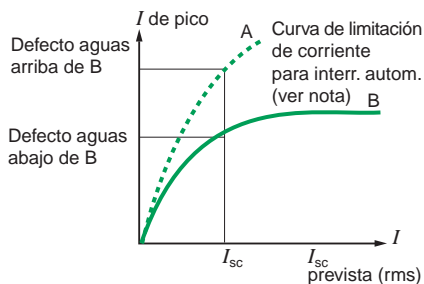


Fig. H50: Interruptor automático con limitación aguas abajo B.

H25

■ El interruptor automático aguas arriba es de alta velocidad, con una función de temporización de corta duración (SD). Estos interruptores automáticos disponen de unidades de disparo que incluyen una función de temporización mecánica de corta duración no ajustable. El retardo es suficiente para garantizar la selectividad absoluta con cualquier interruptor automático de alta velocidad situado aguas abajo, a cualquier valor de corriente de cortocircuito hasta el valor de I_{rms} (véase la **Figura H51**).

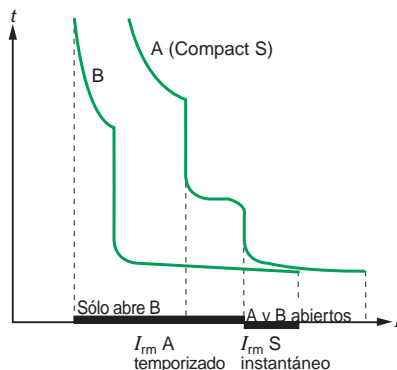


Fig. H51: Uso de un interruptor automático "selectivo" aguas arriba.

Ejemplo

Interruptor automático A: Compact NS250 N equipado con una unidad de disparo que incluye una función SD.

$I_r = 250$ A, disparo magnético ajustado a 2.000 A.

Interruptor automático B: Compact NS100N.

$I_r = 100$ A

En el catálogo de distribución eléctrica de Merlin Gerin se indica un límite de selectividad de 3.000 A (una mejora en comparación con el límite de 2.500 A que se obtiene al utilizar una unidad de disparo estándar).

Selectividad basada en el tiempo

Esta técnica necesita:

- La introducción de "temporizadores" en los mecanismos de disparo de los interruptores automáticos.
- Interruptores automáticos con una capacidad de resistencia térmica y mecánica adecuada a niveles de corriente elevados, con temporizaciones previstas.

Dos interruptores automáticos A y B en serie (es decir, que ven la misma corriente) son selectivos si el periodo de corte de corriente del interruptor automático aguas abajo B es inferior al tiempo de falta de disparo del interruptor automático A.

La selectividad basada en el disparo por temporización utiliza interruptores automáticos denominados "selectivos" (en algunos países). La aplicación de estos interruptores automáticos es relativamente sencilla y consiste en demorar el momento del disparo de los diversos interruptores automáticos conectados en serie en una secuencia temporal escalonada.

H26

Selectividad a varios niveles

Un ejemplo de un esquema práctico con interruptores automáticos (MG) Masterpact (dispositivos de protección electrónicos). Estos interruptores automáticos pueden estar equipados con temporizadores ajustables que permiten realizar 4 selecciones de pasos de tiempo, como:

- El retardo correspondiente a un determinado paso es mayor que el tiempo total de corte de corriente del siguiente paso inferior.
- El retardo correspondiente al primer paso es mayor que el tiempo total de corte de corriente de un interruptor automático de alta velocidad CB (de tipo Compact, por ejemplo) o de los fusibles (véase la **Figura H52**).

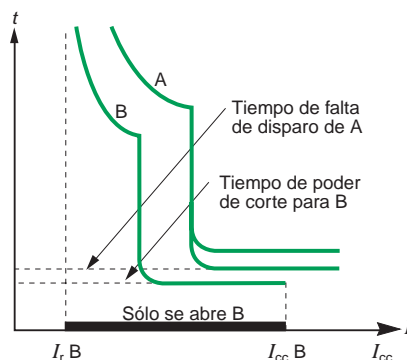


Fig. H52: Selectividad mediante temporización.

Los esquemas de selectividad basados en técnicas lógicas son posibles mediante interruptores automáticos equipados con unidades de disparo electrónico que se hayan diseñado con este fin (Compact y Masterpact de MG) e interconectados con cables piloto.

Lógica de selectividad o “enclavamiento secuencial de zonas - ZSI”

Este sistema de selectividad necesita interruptores automáticos equipados con unidades de disparo electrónicas que se hayan diseñado para esta aplicación, junto con cables piloto de interconexión para el intercambio de datos entre los interruptores automáticos. Con dos niveles A y B (véase la **Figura H53**), el interruptor automático A se ajusta para disparar instantáneamente, a menos que el relé del interruptor automático B envíe una señal para confirmar que el defecto se ha producido aguas abajo de B. Esta señal provoca la demora de la unidad de disparo del interruptor automático A, con lo cual se garantiza una protección de reserva en el caso de que B no elimine el defecto, etc.

Este sistema (patentado por Merlin Gerin) también permite una rápida localización del defecto.

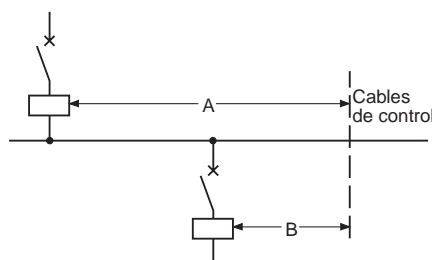


Fig. H53: Lógica de selectividad.

Limitación y selectividad mediante el aprovechamiento de la energía de arco

Si un interruptor automático carece de capacidad de limitación de corriente, la disposición en filiación entre 2 dispositivos se consigue utilizando el disparo del interruptor automático aguas arriba D1 para ayudar al interruptor automático aguas abajo D2 a cortar la corriente. El límite de la selectividad I_s es menor que la corriente de corte final I_{cu} D2. La tecnología de energía de arco implementada en los interruptores automáticos Compact NS permite incrementar el límite de selectividad.

- El interruptor automático Compact NS D2 situado aguas abajo detecta una corriente de cortocircuito muy elevada. El disparo es muy rápido (<1 ms) y, a continuación, se limita la corriente.

■ El Compact NS D1 situado aguas arriba detecta una corriente de cortocircuito muy limitada. Esta corriente provoca una repulsión del contacto, según la curva RC. Como consecuencia, aumenta la tensión del arco y la corriente está más limitada. La presión no es suficiente para provocar el disparo del interruptor automático. Por tanto, el Compact NS D1 ayuda al Compact NS D2 a disparar, sin disparar él mismo. El límite de selectividad puede ser mayor que el valor I_{cu} D2 actual y la selectividad es total, con un coste óptimo de los dispositivos.

Ventaja de la selectividad total con interruptores automáticos Compact NS (véanse las Figuras H54 y H55)

La principal ventaja consiste en proporcionar una selectividad absoluta natural si:

- La relación de las especificaciones de corriente de los dos unidades de disparo es $> 1,6$.
- La relación de las corrientes nominales de los dos interruptores automáticos es $\geq 2,5$.

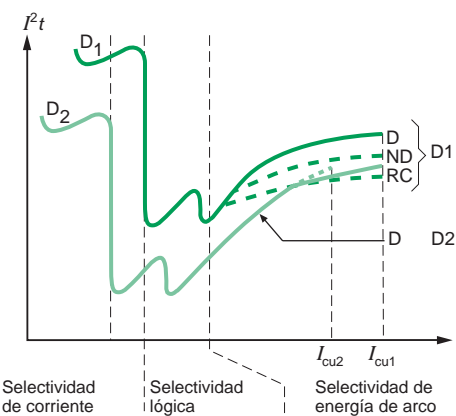


Fig. H54: Selectividad total: curvas.

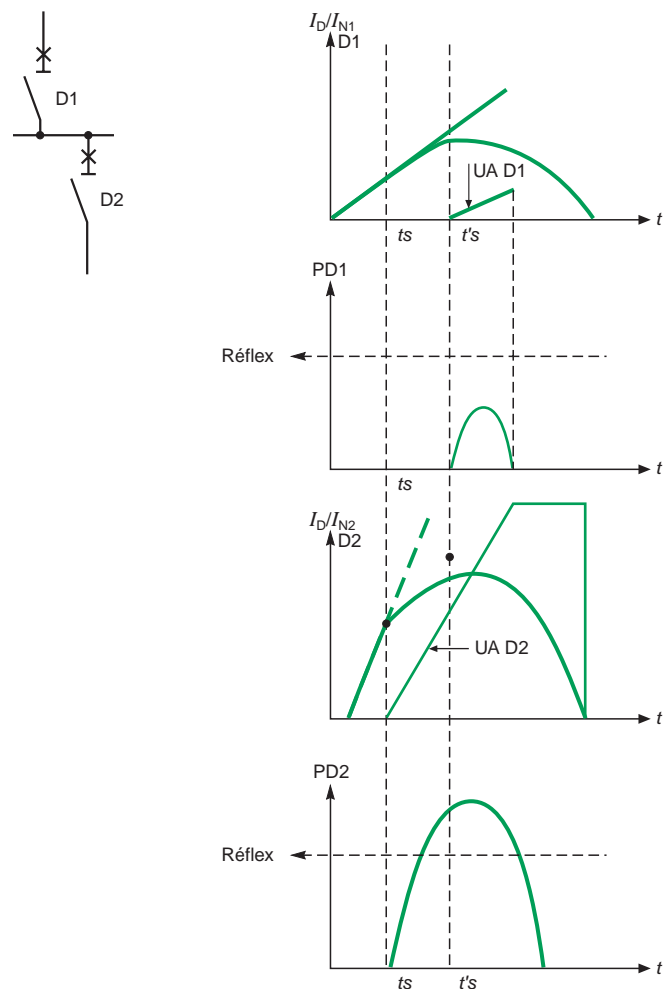


Fig. H55: Selectividad total: principio.

4.6 Selectividad de AT/BT en un centro de transformación del cliente

Por lo general, el transformador de un centro de transformación del cliente está protegido por fusibles de alta tensión, con especificaciones adaptadas al transformador, de acuerdo con los principios establecidos en las normas IEC 60787 e IEC 60420, siguiendo las recomendaciones del fabricante de los fusibles.

El requisito básico es que un fusible de alta tensión no funcionará con defectos de baja tensión que ocurran aguas abajo del interruptor automático de baja tensión del transformador, por lo que la curva de la característica de disparo de éste último debe quedar a la izquierda de la de la curva prearco del fusible de alta tensión.

Este requisito fija por lo general los ajustes máximos de la protección del interruptor automático de baja tensión:

- Ajuste del nivel máximo de corriente de cortocircuito del elemento de disparo electrónico.
- Temporización máxima permitida para el elemento de disparo por corriente de cortocircuito (véase la **Figura H56**).
- Nivel de cortocircuito en los bornes de alta tensión del transformador: 250 MVA.
- Transformador de alta tensión/baja tensión: 1.250 kVA 20/0,4 kV.
- Fusibles de alta tensión: 63 A.
- Cableado, transformador - interruptor automático de baja tensión: cables de un solo núcleo de 10 metros.
- Interruptor automático de baja tensión: Compact NS 2000 ajustado a 1.800 A (I_r)

¿Cuál es el ajuste máximo de la corriente de disparo por cortocircuito y la temporización máxima permitida?

Las curvas de la **Figura H57** muestran que la selectividad está asegurada si la unidad de disparo con temporización del interruptor automático se ajusta a:

- Un nivel $\leq 6 I_r = 10,8$ kA.
- Un ajuste de temporización del paso O o A.

H28

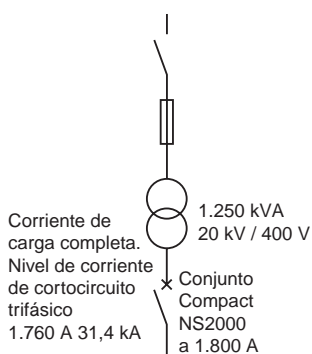


Fig. H56: Ejemplo.

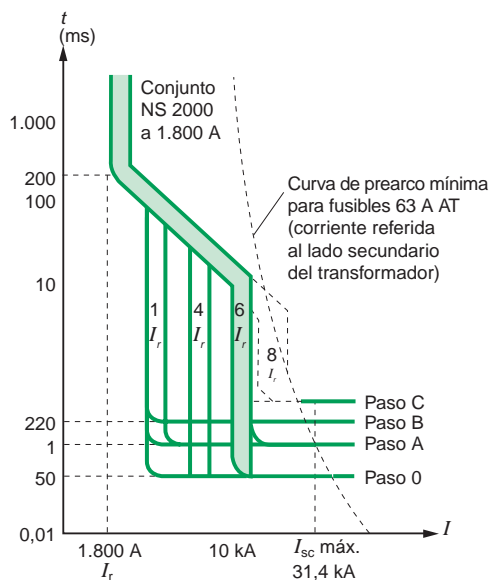


Fig. H57: Curvas de los fusibles de alta tensión y el interruptor automático de baja tensión.