

Protección de semiconductores con fusibles ultrarrápidos



Powering Business Worldwide

A: Introducción	3	J: Fusibles para protección de drives regenerativos	20
Información acerca de esta guía	3	Conclusiones acerca del modo rectificador	20
Antecedentes	3	Conclusiones acerca del modo regenerativo	21
Construcción de los fusibles ultrarrápidos	3	Resumen de la selección de tensión para drives regenerativos	21
Funcionamiento del fusible	4	K: Fusibles para protección del equipo inversor	22
Semiconductores de potencia	4	Selección del voltaje	22
B: Características de los fusibles ultrarrápidos	5	Selección de la corriente	22
En qué se diferencian los fusibles ultrarrápidos	5	Selección de la I ² t	22
Factores de aplicación	5	El IGBT como dispositivo de conmutación	22
Factores de influencia	6	Protección de circuitos impulsores	23
C: Información de desempeño de los fusibles	7	Transistores bipolares de potencia y par Darlington	23
Curva característica de tiempo-corriente	7	L: Ejemplos resueltos	23
Curva A-A	8	Ejemplo 1: Impulsor CD con tiristor	23
Información de la integral de interrupción (factores K y X)	8	Ejemplo 2: Fuente de alimentación CD, alta potencia, alta corriente, con diodos redundantes	24
Curva I ² t	8	Ejemplo 3: Aplicación de impulsor regenerativo	25
Curva de paso libre, pico	8	Anexo 1: Normas internacionales	26
Curva característica de tensión de arco eléctrico	9	En Estados Unidos	26
Curva de corrección por disipación de potencia	9	En Europa	26
D: Determinación de las clasificaciones de voltaje de los fusibles	9	Gama de productos Bussmann series	26
Clasificación de tensión IEC	9	Estilo americano –navajas tipo americano y contactos roscados	26
Clasificación americana de tensión	9	Norma europea	27
Selección práctica del voltaje nominal simple	9	Fusibles tipo navajas	27
Dependencia de la frecuencia	9	Fusibles con contactos roscados	27
Combinaciones CA/CD posibles	10	Norma británica –BS88	27
Fusibles de CA en circuitos de CD	10	Fusibles cilíndricos	27
Fusibles en circuitos CD oscilatorios	10	Anexo 2: Sistemas de referencia de fusibles	28
Fusibles en serie	10	Fusibles ultrarrápidos europeos	28
E: Determinación de las clasificaciones de amperaje de los fusibles	11	Fusibles ultrarrápidos BS88	29
Parte 1 - Selección básica	11	Fusibles ultrarrápidos americanos	30
Parte 2 - Influencia de las sobrecargas	12	Fusibles especiales –Tipos SF y XL	31
Parte 3 - Carga cíclica y márgenes de seguridad	13	Anexo 3: Instalación, mantenimiento, información medioambiental y almacenamiento	32
F: Aplicaciones de fusibles ultrarrápidos	14	Par de apriete y presión de contactos	32
Corrientes RMS en arreglos puente común	14	Fusibles con contactos roscados	32
Circuitos rectificadores típicos	15	Tipos especiales de contactos roscados	32
G: Protección con fusibles para circuitos rectificadores	16	Fusibles con navajas de contacto	32
Fallas internas y fallas externas	16	Fusibles DIN 43653 con tarjeta atornillable en barra colectora	32
Protección contra fallas internas	16	Fusibles DIN 43653 con placa atornillada en bloque para fusibles	32
Protección contra fallas externas	16	Fusibles DIN 43620 con navajas para bloques de fusibles	32
Interrupción del servicio en caso de falla del dispositivo	17	Fusibles de montaje a presión	33
Servicio continuo en caso de falla del dispositivo	17	Alineación del montaje	33
H: Protección de fusibles en sistemas CD	17	Material de la superficie de contacto	33
Sistemas alimentados por CD	17	Contactos estañados	33
Batería como una carga eléctrica	17	Resistencia a golpes y vibraciones	33
Batería como fuente única	18	Servicio y mantenimiento	33
I: Fusibles de CA en aplicaciones de circuitos CD	18	Aspectos medioambientales	33
Ejemplo de cálculo	19	Almacenamiento	33
		Glosario	34-45
		Información de contacto	Contraportada

Gama de fusibles ultrarrápidos Bussmann® series

Estos tipos de fusibles ultrarrápidos están disponibles en los voltajes y ampacidades indicados. Para mayor información, consulte el catálogo de fusibles ultrarrápidos, núm. 10506, o el catálogo de la línea completa, núm. 1007, Bussmann series.



Fusibles ultrarrápidos compactos

- 500 V_{CA/CD}, 50-400 A



Fusibles IGBT

- Hasta 1000 V_{CD}, 25-630 A



Fusibles tipo americano

- Hasta 1000 V_{CA} / 800 V_{CD}, 1-4000 A



Fusibles norma británica BS88

- Hasta 700 V_{CA} / 500 V_{CD}, 6-710 A



Fusibles para drives, DFJ UL, Clase J

- Rango completo, 600 V_{CA} / 450 V_{CD}, 1-600 A



Fusibles de cuerpo cuadrado

- Hasta 1300 V_{CA} / 700 V_{CD}, 10-5500 A



Fusibles de casquillo

- Hasta 2000 V_{CA} / 1000 V_{CD}, 5-100 A

Información acerca de esta guía

El objetivo de esta guía es ofrecer a ingenieros y diseñadores un acceso sencillo a los fusibles ultrarrápidos Bussmann series. También proporciona información detallada del sistema de referencia de fusibles ultrarrápidos Bussmann series. Los diversos estándares físicos están cubiertos con ejemplos de aplicación junto con las consideraciones para seleccionar la tensión nominal, la corriente nominal y la información correspondiente para protección de semiconductores de potencia. Se incluyen instrucciones para el montaje de fusibles, con explicaciones relacionadas con la comprensión de la información de las hojas de datos del producto y sus dibujos.

Este documento no pretende ser una guía exhaustiva para protección de todas las aplicaciones con semiconductores de potencia. El mercado es demasiado complejo para elaborar tal documento y, en algunos casos, la selección real de los fusibles requerirá de discusiones técnicas entre los ingenieros de diseño y el personal del departamento de ingeniería de aplicación.

En cualquier caso, la información aquí presentada será de gran utilidad durante el trabajo diario y proporcionará al lector los conocimientos básicos de nuestros productos y su aplicación.

Antecedentes

El fusible ha estado presente desde los primeros días del telégrafo, y después para proteger los circuitos de distribución de energía, entre otros.

Desde entonces, el fusible ha experimentado una evolución importante. El moderno fusible de Alta Capacidad de Interrupción (HBC) ofrece protección confiable y económica contra sobrecargas y corrientes de falla de los modernos sistemas eléctricos.

El funcionamiento básico del fusible es simple: el exceso de corriente pasa a través de los elementos del fusible, especialmente diseñados, que hace que se fundan y se abran, aislando el circuito con sobrecarga o con falla. En la actualidad, existen fusibles con clasificaciones de corriente de tan solo unos miliamperios o de miles de amperios, para aplicaciones en circuitos de algunos volts o en sistemas de distribución de servicios públicos de 72 kV.

El uso más común de fusibles se encuentra en los sistemas de distribución de energía eléctrica, donde se instalan para proteger cables, transformadores, interruptores, equipo de control y equipos eléctricos en general. Junto con diferentes clasificaciones de corriente y tensión, las características de operación del fusible varían para satisfacer aplicaciones específicas y requisitos de protección únicos.

Definiciones y conceptos acerca del diseño de fusibles para un determinado propósito (clase de fusible) se incluyen en el glosario.

Construcción de los fusibles ultrarrápidos

Los modernos fusibles ultrarrápidos se fabrican en diversas formas y tamaños (Figura A1), pero tienen las mismas características principales. Aunque todos los componentes del fusible influyen en su funcionamiento y características de desempeño, la parte principal es el elemento fusible, el cual se fabrica con material de alta conductividad y se diseña con una serie de secciones reducidas denominadas fusores o "puntos débiles". Estas secciones reducidas son las que determinan, principalmente, las características de funcionamiento del fusible.

El elemento fusible está rodeado por un material extinguidor de arco eléctrico, generalmente cuarzo, que "extingue" el arco eléctrico que se forma cuando las secciones reducidas se funden y "queman" para abrir el circuito. Esta función es la que da al fusible su capacidad de limitación de corriente.

Para contener el material extinguidor del arco eléctrico, se utiliza un recipiente aislado (llamado cuerpo del fusible) hecho de cerámica o de plástico de ingeniería. Finalmente, para conectar el elemento fusible y el circuito que protegerá, se usan conectores terminales, comúnmente de cobre. Los demás componentes del fusible varían según el tipo de fusible y los métodos de fabricación.

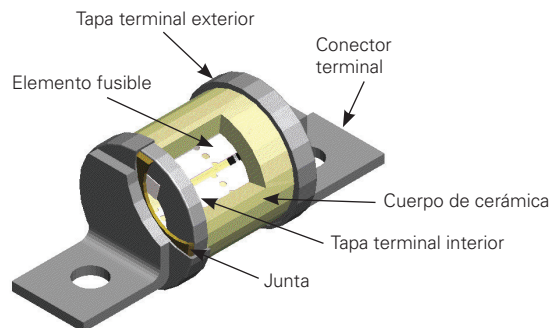
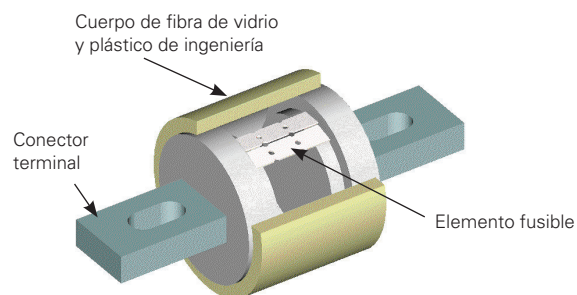
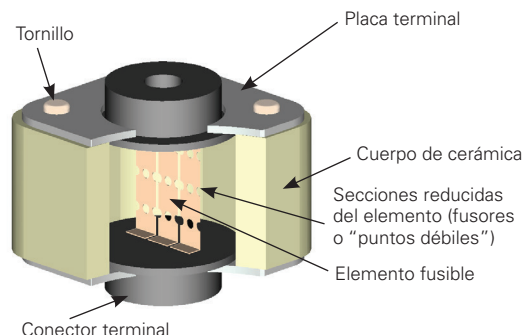


Figura A1. Construcciones de fusibles ultrarrápidos: cuerpo cuadrado y cuerpo redondo

Funcionamiento del fusible

El funcionamiento del fusible depende principalmente del equilibrio entre la velocidad de calor generado en el elemento fusible y la velocidad de calor disipado hacia las conexiones externas y la atmósfera circundante. Para valores de corriente de hasta su clasificación en operación continua, su diseño garantiza que todo el calor generado se disipará sin exceder las temperaturas máximas preestablecidas del elemento y otros componentes del fusible.

En condiciones de sobrecarga sostenida, la velocidad de calor generado es mayor que la velocidad de calor disipado, lo que produce un incremento en la temperatura del elemento fusible. El incremento de temperatura en las secciones reducidas (fusores o "puntos débiles") de los elementos será más alto que en otros lugares, y una vez que la temperatura llega al punto de fusión del material del elemento, comenzará a formarse un arco eléctrico y se "quemará" hasta abrir el circuito. El tiempo que tarda el elemento fusible en fundirse y abrirse es inversamente proporcional al nivel de corriente.

El nivel de corriente que causa que el fusible se abra en un tiempo de 4 horas se denomina corriente de fusión mínima, y la relación de corriente de fusión mínima y corriente nominal se conoce como factor de fusión del fusible. En condiciones más altas de sobrecarga o cortocircuito, hay poco tiempo para disipar el calor del elemento, y la temperatura en las secciones reducidas (fusores) alcanza el punto de fusión casi instantáneamente. En estas condiciones, el elemento comenzará a fundirse mucho antes de que la corriente de falla prospectiva (CA) haya alcanzado su primer pico importante.

El tiempo transcurrido desde el inicio del cortocircuito hasta la fusión del elemento se denomina tiempo de prearco. La interrupción de una corriente más alta da como resultado la formación de un arco eléctrico en cada sección reducida, con el arco presentando una resistencia más alta. El calor generado por los arcos vaporiza el material del elemento fusible; y el vapor se combina con el cuarzo del relleno para formar una sustancia no conductora, similar a la roca, llamada fulgurita. Los arcos también queman el elemento fusible en su parte más alejada de las secciones reducidas para incrementar la longitud y resistencia eléctrica del arco.

El efecto acumulativo da como resultado que los arcos se extingan en muy poco tiempo y se aisle completamente el circuito. Bajo tales condiciones extremas de sobrecarga y cortocircuito, el tiempo total transcurrido desde el inicio de la falla hasta la interrupción total del circuito es muy corto, generalmente unos pocos milisegundos. Por tanto, se ha limitado la corriente a través del fusible. Dicha limitación de corriente se logra a niveles tan bajos como cuatro (4) veces la clasificación de corriente continua, normal del fusible.

El tiempo transcurrido desde el inicio del arco hasta su extinción se denomina tiempo de arco eléctrico. La suma del tiempo de prearco más el tiempo de arco es el tiempo total de interrupción de la falla (ver Figura A2). Durante el prearco y el arco se libera una cantidad de energía que depende de la magnitud de la corriente. Los términos energía de prearco y energía de arco se usan de manera similar a los tiempos correspondientes. Dicha energía es proporcional a la integral de la corriente al cuadrado multiplicada por el tiempo que fluye dicha corriente; frecuentemente se abrevia I^2t , donde "I" es el valor RMS de la corriente prospectiva, en amperios, y "t" es el tiempo, en segundos, que fluye la corriente.

Para valores de corriente altos, el tiempo de prearco es demasiado corto para que se pierda calor de las secciones reducidas del elemento (es un proceso adiabático) y, por tanto, el valor I^2t del prearco es constante. Sin embargo, el valor I^2t del arco también depende de las condiciones del circuito. La información publicada se basa en las peores condiciones posibles y se mide a partir de pruebas reales. Este aspecto se tratará detalladamente más adelante.

El arco produce una tensión eléctrica a través de las secciones reducidas del elemento fusible (fusores), que se denomina tensión de arco; aunque depende del diseño del elemento, también es determinada por las condiciones del circuito. Esta tensión de arco excede la tensión del sistema. El diseño del elemento fusible permite controlar la magnitud de la tensión de arco dentro de los límites especificados. El uso de un número determinado de secciones reducidas (fusores) en el elemento fusible, conectadas en serie, ayuda a controlar el proceso de arco y la tensión de arco resultante.

Por tanto, un fusible bien diseñado no solo limita el nivel pico de corriente de falla, también garantiza que la falla sea interrumpida en un tiempo extremadamente corto y asegura que la energía que llega al equipo protegido sea considerablemente menor que la energía disponible.

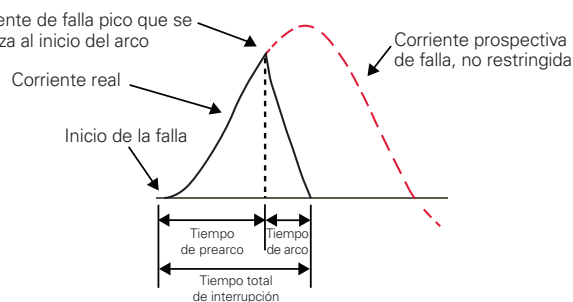


Figura A2. El tiempo de prearco más el tiempo de arco es igual al tiempo total de interrupción de la falla

Semiconductores de potencia

Los dispositivos semiconductores de potencia a base de silicio (diodos, tiristores, Tiristores Desactivables por Compuerta [GTO], transistores y Transistores Bipolares de Compuerta Aislada [IGBT]) han encontrado un número cada vez mayor de aplicaciones en rectificación, inversión y regulación de circuitos de potencia y control. Su ventaja es la capacidad de manejar una cantidad considerable de potencia en un tamaño físico muy pequeño. Debido a su masa, relativamente pequeña, su capacidad para soportar sobrecargas y sobretensiones es limitada y, por tanto, requieren medios de protección especiales.

En aplicaciones industriales, se producen corrientes de falla de muchos miles de amperios si ocurre un cortocircuito en algún lugar del sistema. Los dispositivos semiconductores pueden soportar estas altas corrientes solo por un periodo de tiempo extremadamente corto. Los altos niveles de corriente provocan dos efectos nocivos en los dispositivos semiconductores:

1. La distribución de corriente no uniforme en las uniones p-n del silicio genera densidades anormales de corriente que causan daños.
2. Se crea un efecto térmico proporcional al valor de la corriente, RMS, al cuadrado (I^2) multiplicado por el tiempo (t) que fluye dicha corriente, y se expresa como I^2t o A^2s (amperios al cuadrado por segundo).

Por tanto, el dispositivo de protección contra sobrecorriente debe:

- Interrumpir de forma segura corrientes de falla prospectivas muy altas en tiempos extremadamente cortos.
- Limitar la corriente permitida que puede pasar a través del dispositivo protegido.
- Limitar la energía térmica (I^2t) que deja pasar el dispositivo durante la interrupción de la falla.

Desafortunadamente, la interrupción ultrarrápida de altas corrientes también crea altas sobretensiones. Si un rectificador de silicio está sujeto a estas altas tensiones, fallará debido al efecto de ruptura. Por tanto, el dispositivo de protección contra sobrecorriente seleccionado también debe limitar la sobretensión durante la interrupción de la falla.

Hasta ahora, se ha considerado principalmente protección contra altas corrientes de falla. Con el fin de lograr la máxima utilización del dispositivo protegido, en combinación con una confiabilidad total, el dispositivo de protección contra sobrecorriente seleccionado:

- No debe requerir mantenimiento.
- No debe operar a corriente nominal normal o durante condiciones normales de sobrecarga transitoria.
- Debe operar de la manera predeterminada durante condiciones anormales.

El único dispositivo de protección contra sobrecorriente que cuenta con todas estas cualidades (y está disponible a un costo económico) es el moderno fusible ultrarrápido (también conocido como "fusible semiconductor" o "fusible I^2t ").

Si bien los fusibles para circuitos derivados y los fusibles suplementarios poseen todas las cualidades mencionadas (con excepción de los fusibles especiales, ultrarrápidos, UL, Clase J), no funcionan con la suficiente rapidez para proteger los dispositivos semiconductores.

B: Características de los fusibles ultrarrápidos

En qué se diferencian los fusibles ultrarrápidos

Los fusibles ultrarrápidos están diseñados especialmente para reducir al mínimo el valor de I^2t , la corriente pico de paso libre y la tensión de arco eléctrico. Para garantizar la rápida apertura del circuito y la interrupción de la falla se requiere una rápida fusión del elemento fusible; para lograrlo, el elemento del fusible ultrarrápido tiene secciones reducidas (fusores) de diseño diferente al de un fusible industrial de capacidad similar y, por lo general, tiene temperaturas de operación más altas.

Debido a las temperaturas más altas y tamaño más pequeño de los elementos, los fusibles ultrarrápidos suelen tener requisitos de disipación de calor más altos que otros tipos de fusibles. Para ayudar a disipar el calor, el material del cuerpo (o barril) del fusible es a menudo de grado más alto y con un mayor índice de conductividad térmica.

Los fusibles ultrarrápidos se usan principalmente para proteger a los semiconductores de los daños cortocircuitos. Sus altas temperaturas de operación frecuentemente restringen el uso de aleaciones de elementos con temperaturas de fusión más bajas, para ayudar durante las sobrecargas. Como resultado, los fusibles ultrarrápidos generalmente no son de "rango completo" (actúan únicamente en condiciones de cortocircuito o sobrecarga) y tienen una capacidad limitada de protección contra sobrecorrientes de niveles bajos.

Muchos fusibles ultrarrápidos son físicamente diferentes a los fusibles para circuitos derivados y a los fusibles suplementarios, y requieren acondicionamientos de montaje adicionales para evitar la instalación de fusibles de reemplazo incorrectos.

Factores de aplicación

La protección de semiconductores requiere tomar en cuenta una serie de parámetros del dispositivo y los fusibles. Cada parámetro tiene asociado un número de factores de influencia (ver Tabla B1). La forma en que se presentan y la manera de interpretarlos se tratarán en las páginas siguientes. Dichos parámetros y factores de influencia deben aplicarse y considerarse con la debida referencia a los requisitos específicos del circuito y la aplicación; y se tratan en las secciones sobre cómo seleccionar la clasificación de voltaje y la clasificación de corriente, y sus aplicaciones.

Tabla B1. Factores a considerar en la selección de fusibles ultrarrápidos.

Parámetro	Factores que afectan el parámetro		Información proporcionada	
	Fusible	Diodo o tiristor*	Fusible	Diodo o tiristor*
Corriente RMS de estado estable	Temperatura ambiente, montaje, cercanía de otros aparatos y otros fusibles, tipo de enfriamiento empleado	Temperatura ambiente, tipo de circuito, operación en paralelo, tipo de enfriamiento empleado	Corriente nominal máxima bajo las condiciones especificadas, factores ambientales, reclasificación por enfriamiento forzado, calibre del conductor	Curvas completas (generalmente se mencionan las corrientes medias)
Potencia disipada en estado estable	Función de corriente	Función de corriente	Máximo mencionado para las condiciones especificadas	Información completa
Capacidad de sobrecarga	Precarga, sobretensiones de carga cíclica, tolerancias de fabricación	Precarga, sobretensiones de carga cíclica	Curvas nominales de tiempo-corriente para fusibles inicialmente fríos. Recomendaciones para el cálculo de los ciclos de servicio	Curvas de sobrecarga, también impedancias térmicas transitorias
Capacidad de interrupción	Niveles de tensión/cortocircuito, CA o CD	—	Clasificación de interrupción	—
Clasificaciones I^2t	Precarga, I^2t total depende de la impedancia del circuito, la tensión aplicada y el punto de inicio del cortocircuito	Duración de la falla de precarga	Para fusibles inicialmente fríos: curvas I^2t total para las peores condiciones, I^2t de prearco, tiempo de interrupción del fusible	Valor de medio ciclo o valores para diferentes duraciones de pulso
Corriente pasante pico	Precarga, corriente de falla (la tensión eléctrica tiene un efecto de segundo orden)	Duración de la falla de precarga	Curvas para las peores condiciones de eslabones fusibles inicialmente fríos	Corriente pico de fusión
Tensión de arco eléctrico	El valor pico depende de la tensión aplicada, la impedancia del circuito y el punto de inicio del cortocircuito	Clasificaciones de tensión pico inverso (no repetitivo)	Tensiones máximas de arco graficadas contra la tensión aplicada	Clasificación de tensión pico inverso (no repetitivo)

* La protección de transistores es más compleja y será descrita en la sección acerca de protección IGBT.

¿Qué significa este símbolo?



El término "fusible semiconductor" utilizado para fusibles ultrarrápidos es engañoso. Aunque los fusibles ultrarrápidos frecuentemente muestran los símbolos de fusible y de diodo en su etiqueta (como se indica), no se utiliza material semiconductor en su construcción. Dichos símbolos están ahí únicamente para indicar que su aplicación es para protección de dispositivos "semiconductores."

Factores de influencia

Temperatura ambiente

Los fusibles para protección de semiconductores pueden requerir ajustar (reducir) de sus clasificaciones en temperaturas ambiente por encima o por debajo de 21 °C (70 °F). Las clasificaciones del fusible ajustadas a otras temperaturas ambiente se pueden encontrar por medio de las gráficas de reducción.

Entre los factores que influyen en la temperatura ambiente se encuentran: montaje deficiente del fusible, tipo de gabinete y proximidad con otros dispositivos generadores de calor y fusibles. Para cada aplicación, debe determinarse la máxima clasificación del fusible ultrarrápido, utilizando la temperatura ambiente del lugar donde estará instalado, como se describe en la sección acerca de la selección de la clasificación de corriente.

Temperaturas de operación del fusible

Las temperaturas de operación varían según el tipo de construcción y los materiales del fusible. Los fusibles de tubo de fibra tienden a calentarse más que los fusibles de cerámica. En general, para fusibles con cuerpo de cerámica a plena carga bajo condiciones IEC, el incremento de temperatura es de 70-110 °C (158-230 °F) en las terminales y de 90-130 °C (194-266 °F) en el cuerpo de cerámica. Comúnmente, la constante de carga para fusibles con cuerpo de porcelana es 1.0 y para fusibles con cuerpo de fibra de vidrio es 0.8. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las mediciones de temperatura pueden ser engañosas al determinar si un fusible en particular es adecuado para una aplicación dada. Para mayor información, consulte la sección *Determinación de las clasificaciones de amperaje de los fusibles*, página 11.

Enfriamiento forzado

En muchas instalaciones, los diodos y tiristores son sometidos a enfriamiento forzado por una corriente de aire para maximizar sus clasificaciones. Los fusibles pueden elevar sus clasificaciones de manera similar si se colocan en una corriente de aire. Sin embargo, las velocidades de aire superiores a 5 m/s (16.5 pies/s) no producen ningún aumento sustancial en sus clasificaciones. Para más información, consulte las secciones acerca de la elección de la corriente nominal y las hojas de datos.

Corrientes media, pico y RMS

Se debe tener cuidado al coordinar las corrientes del fusible con las corrientes del circuito. Las corrientes de fusibles generalmente se expresan en "valor cuadrático medio" (RMS), en tanto que las corrientes de diodos y tiristores se expresan en "valor medio".

Características de tiempo-corriente

Representan el tiempo y los niveles de corriente necesarios para que el elemento fusible se funda y se abra. Se obtienen utilizando la misma configuración que la prueba de aumento de temperatura, con el fusible a temperatura ambiente antes de cada prueba. Para fusibles de circuitos derivados y fusibles suplementarios, los tiempos nominales de fusión se grafican contra valores de corriente RMS de hasta 10 ms. Para fusibles ultrarrápidos, se utiliza el tiempo virtual de fusión (t_v) y se traza hasta 0.1 ms. La fórmula para determinar el tiempo virtual de fusión se encuentra en el glosario.

El tiempo de fusión más el tiempo de arco eléctrico se denomina tiempo total de interrupción; para tiempos de fusión largos, el tiempo de arco eléctrico es insignificante.

Carga cíclica / sobretensiones

Los efectos de la carga cíclica, o de las sobretensiones transitorias, se pueden tener en cuenta coordinando los valores eficaces de corriente, RMS, y la duración de las sobretensiones con las características de tiempo-corriente. Al utilizar las características publicadas, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los valores de corriente tienen una tolerancia de 10%.
- Para tiempos inferiores a 1 segundo, las constantes del circuito y los momentos de ocurrencia de falla afectan las características de tiempo-corriente. Los tiempos nominales mínimos se publican de acuerdo a las corrientes, RMS, sim.
- La precarga a la clasificación de corriente máxima reduce el tiempo de fusión real. Las condiciones cíclicas se detallan en la sección acerca de la selección de la corriente nominal.

Desempeño de cortocircuito

La zona de operación de cortocircuito del fusible generalmente se considera operativa en tiempos menores a 10 ms (1/2 ciclo, alimentación de 60 Hz, circuitos de CA). Es en esta zona de operación de cortocircuito donde los fusibles ultrarrápidos son limitadores de corriente. Ya que la mayoría de las aplicaciones de fusibles ultrarrápidos están en circuitos de CA, su información de desempeño generalmente se da para operación en CA. Donde sea aplicable, se utilizan corrientes prospectivas, RMS, sim.

Clasificaciones I^2t

La I^2t de prearco eléctrico (fusión) tiende a ser un valor mínimo cuando el fusible es sometido a corrientes altas (este valor se encuentra en las hojas de datos). La I^2t de interrupción total está en función de la tensión aplicada, la corriente de falla disponible, el factor de potencia y el punto de la onda de CA donde se inicia el cortocircuito. Los valores de I^2t de interrupción total mostrados son para la peor de estas condiciones.

La mayoría de los fabricantes de semiconductores de potencia dan clasificaciones I^2t para su producto, que no deben ser excedidas durante la fusión, en todo momento por debajo de 10 ms. Estadísticamente son los valores más bajos para los cuales se ha probado el dispositivo.

Para una protección efectiva del dispositivo, el valor I^2t total del fusible debe ser menor que la capacidad I^2t del dispositivo.

Corrientes pico del fusible

En condiciones de cortocircuito, los fusibles ultrarrápidos son esencialmente limitadores de corriente (la corriente pasante pico a través del fusible es menor que la corriente de cortocircuito pico). Sus características de "corte" (la corriente pasante pico contra la corriente prospectiva, RMS, sim.) se encuentran en las hojas de datos. Las corrientes pasantes pico deben coordinarse con la información de diodos o tiristores, además de los valores I^2t .

Tensión de arco eléctrico

La tensión de arco producida durante la apertura del fusible varía con la tensión del sistema eléctrico. Las curvas que muestran las variaciones de la tensión de arco eléctrico en relación con la tensión del sistema se incluyen en las hojas de datos. Cuidado especial se debe tener al coordinar la tensión de arco eléctrico, pico, del fusible con el límite de tensión transitoria, pico, del dispositivo semiconductor.

Calibre del cable

Las clasificaciones de corriente, RMS, asignadas a los fusibles Bussmann series consideran cables de calibre estándar en cada extremo del fusible durante las pruebas de clasificación, y se basan en una densidad de corriente entre 1 y 1.6 A por mm². El uso de cables de mayor o menor calibre afectará la clasificación de corriente del fusible.

Protección de empaque

Algunos dispositivos semiconductores son tan sensibles a las sobrecorrientes y las sobretensiones que los fusibles ultrarrápidos podrían no actuar con la suficiente rapidez como para evitar el daño parcial o total del dispositivo protegido. Sin embargo, los fusibles ultrarrápidos continúan empleándose para reducir al mínimo los efectos de las sobrecorrientes cuando el silicio o los cables de conexión de bajo calibre se funden. Sin el uso de fusibles ultrarrápidos, el empaque que rodea al silicio puede fracturarse, lo que podría dañar el equipo y/o lesionar al personal.

C: Información de desempeño de los fusibles

La información de desempeño de los fusibles ultrarrápidos se puede encontrar en diversas curvas y documentos. Esta información generalmente se encuentra en lo que se conoce como hoja de datos u hoja de especificaciones. A continuación se presenta un resumen de la información que contiene.

Curva característica de tiempo-corriente

La curva de tiempo-corriente, también llamada curva TCC, proporciona información fundamental para la etapa de selección y determinación del fusible. Ver Figura C1.

El eje horizontal representa la corriente de cortocircuito prospectiva (I_p), en amperios, RMS, sim. El eje vertical representa el tiempo virtual de prearco eléctrico (t_v), en segundos, como se especifica en la norma IEC 60269. El tiempo de fusión de un fusible puede determinarse en función del valor conocido de corriente de falla disponible. En la práctica, los tiempos virtuales mayores a 10 ms son equivalentes a tiempo real (t), y los tiempos por debajo de este valor se basan en una interrupción adiabática, instantánea del fusible, derivada de los valores mínimos de prearco eléctrico, que se analizan más adelante.

Con estos tiempos virtuales, usando la I_p y el t_v directamente de la curva de tiempo-corriente del fusible, se puede calcular su integral de fusión ($I_p^2 \times t_v$) para el valor real de la corriente prospectiva (ver Figura C1). El siguiente procedimiento muestra dos ejemplos (I_1 e I_2) para determinar en el fusible el efecto de una sobrecarga o un cortocircuito:

- Primero, se debe conocer la corriente de falla / sobrecarga real, ya sea en forma de curva (Figura C2, $I_1 = f(t_r)$ e $I_2 = f(t_r)$), o de la Ecuación C1:

$$I_{rms}(t_1) = \sqrt{\frac{\int_0^{t_1} i^2 dt}{t_1}}$$

Ecuación C1. Corriente de falla / sobrecarga

- Calcular la corriente RMS con respecto al tiempo. El valor RMS para un tiempo dado se determina empleando la ecuación C1 (la corriente RMS, sim., para ondas sinusoidales estándar está dada por $I_{pico}/\sqrt{2}$).
- Trazar los valores RMS de corriente como coordenadas (I_{RMS} , t) en la curva de tiempo-corriente del fusible, como se muestra en la Figura C1.
- Si la curva trazada interseca la curva de fusión del fusible (I_{RMS2} en la Figura C1), el fusible se funde en el tiempo del punto de intersección, en tiempo real (t).
- Si la curva trazada no interseca con la curva de fusión del fusible (I_{RMS1} en la Figura C1), el fusible no se abrirá.

En este caso, la distancia horizontal mínima (expresada en % de I_p) entre la curva trazada y la curva de fusión del fusible indica qué tan bien funcionará el fusible cuando encuentre una sobrecarga.

El procedimiento anterior junto con lo señalado acerca de las sobrecargas en la sección para seleccionar la corriente nominal determinarán si el fusible puede soportar el tipo de sobrecarga en cuestión.

Esto puede realizarse incluso si los ejes de la curva de fusión están en I_p y t_v . Se puede demostrar que si se reasignan los ejes: $I_p \Rightarrow I_{RMS}$ y $t_v \Rightarrow t_r$, no cambia la forma de la curva de fusión.

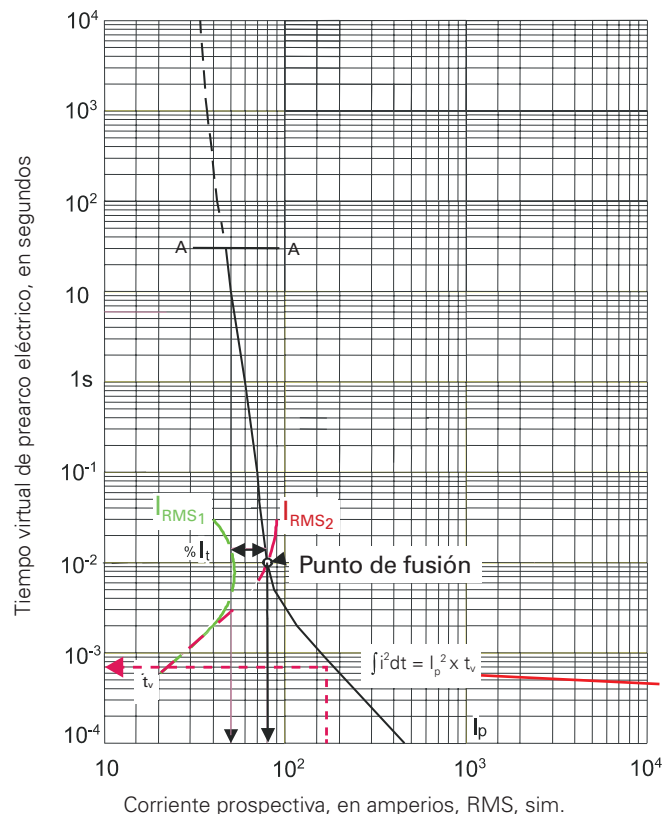


Figura C1. Curvas de tiempo-corriente

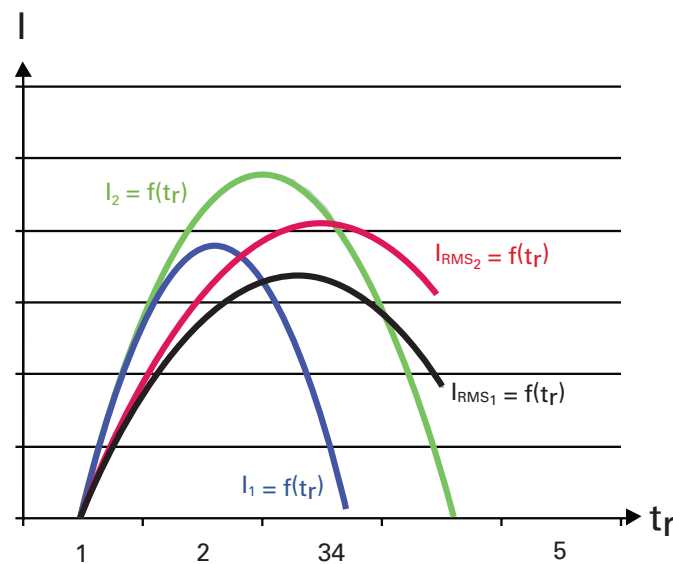


Figura C2. Curvas de sobrecarga y corriente de falla

Curva A-A

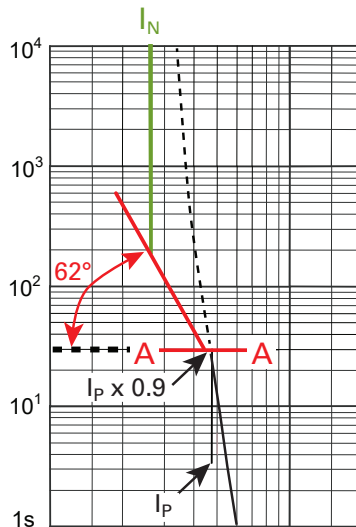


Figura C3. Curva A-A

Como parte de la curva de fusión para fusibles Tipo aR únicamente, se proporciona la gráfica de la "curva A-A". La fusión o la carga más allá de este punto en la curva de fusión no está permitida. Esto se debe al riesgo de sobrecarga térmica que podría reducir la capacidad de interrupción del fusible y no actuaría en la zona A-A.

A menudo, la curva A-A se representa solo con una línea horizontal. Para trazar la curva A-A completa para un fusible dado, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- La corriente de cortocircuito prospectiva (I_p) para un tiempo igual a la intersección de la curva A-A y la curva de fusión real debe multiplicarse por 0.9 ($I_p \times 0.9$) y marcar ese punto en la curva A-A (Figura C3).
- A partir de ese punto se traza una línea recta a sesenta y dos grados (62°) hasta intersectarse con la línea vertical de corriente nominal (I_N) del fusible.

Esto completa la curva A-A (observe que 62° solo es válido si la relación de década de la gráfica es 1:2, que es típica para fusibles estándar IEC; a diferencia de una relación de década de la gráfica de 1:1, que es común para fusibles americanos).

Información de la integral de interrupción (factores K y X)

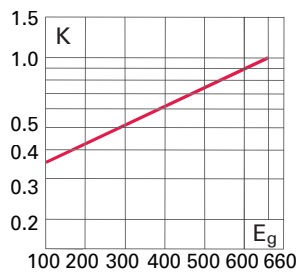


Figura C4. Curva factor K

Comúnmente, el valor máximo de I^2t en condiciones de cortocircuito será la integral de interrupción I^2t_{ci} del fusible para 10 ms, dada a una tensión de trabajo aplicada (E_g) igual a la clasificación de voltaje (U_N) del fusible, a un factor de potencia de $\cos \phi = 0.15$ y a un nivel de cortocircuito de 10-15 veces la corriente nominal.

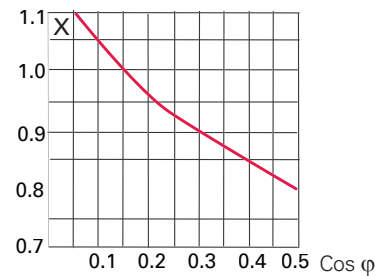


Figura C5. Curva factor X

El valor de I^2t_{ci} del fusible (a una temperatura ambiente de 20°C (68°F)) debe compararse con la integral I^2t_{scr} de fusión del semiconductor, a 10 ms, equivalente (normalmente dada a 125°C (257°F)), para garantizar la protección. E incluso si $I^2t_{ci} = I^2t_{scr}$, puede esperarse un margen de seguridad razonable (fusible frío versus SCR caliente). Si el fusible interrumpe a una tensión menor que la señalada y con un factor de potencia diferente, entonces se deben usar dos factores de corrección junto con el valor I^2t_{ci} dado.

La integral de interrupción resultante, I^2t_{ci} , será igual a:

$$I^2t_{ci} \times K \times X$$

(Los factores K y X se encuentran en las figuras C4 y C5, respectivamente.)

El valor de I^2t_{scr} del dispositivo deberá compararse con el resultado obtenido.

Curva I^2t

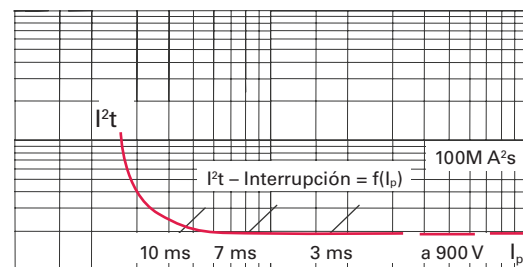


Figura C6. Curva I^2t

También se puede presentar una curva I^2t (o a solicitud del usuario). Muestra la I^2t de interrupción y el tiempo en función de la corriente de cortocircuito prospectiva para una tensión de sistema dada (Figura C6). Esto facilita la coordinación selectiva entre el fusible y el semiconductor a proteger u otros dispositivos en la trayectoria de cortocircuito.

Curva de paso libre, pico

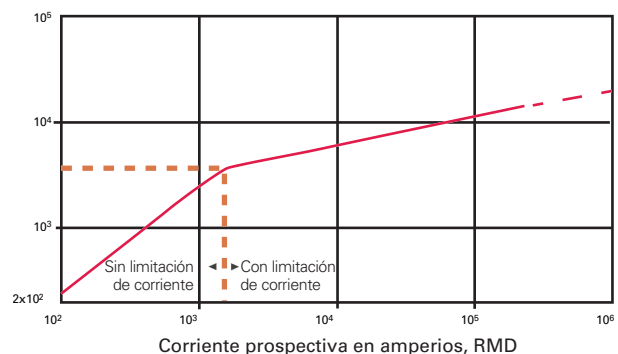


Figura C7. Curva de paso libre, pico

C: Información de desempeño de los fusibles

Por su diseño y su propósito, los fusibles ultrarrápidos son dispositivos con limitación de corriente. Esto significa que reducirán la posible corriente de cortocircuito y las fuerzas térmicas y mecánicas destructivas a un nivel aceptable si se produce un cortocircuito. En la práctica, la corriente de cortocircuito se da como el valor RMS, sim., de la corriente de falla disponible, denominada I_p . La corriente máxima pico, real, asim., depende del factor de potencia (P. F.) del circuito. Para un P. F. = $\cos \varphi = 1.0$ a 0.15 , o 100% a 15%, el valor pico estará entre:

$$\sqrt{2} \times I_p \text{ y } 2.3 \times I_p$$

De la curva pasante pico en la Figura C7, se puede observar que es necesaria una cierta cantidad de I_p , relativa a la I_N del fusible, antes de producirse el efecto de limitación de corriente.

Curva característica de tensión de arco eléctrico

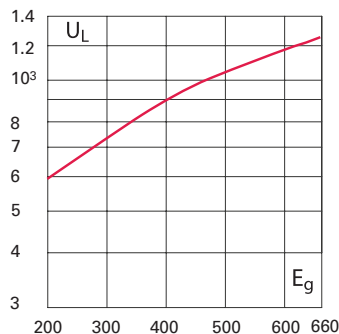


Figura C8. Curva de tensión de arco eléctrico

La tensión de arco eléctrico, pico, del fusible y el voltaje pico inverso del semiconductor siempre deben estar coordinados.

Se genera una tensión de arco debido a las restricciones (fusores) del elemento fusible especialmente diseñadas que están inmersas en arena para extinción del arco eléctrico. Esto fuerza la corriente a cero durante el arco eléctrico y, finalmente, se establece el aislamiento. Este aislamiento permanente se acumula en las restricciones del elemento y se convierte en fulgurita, una mezcla de metal y arena formada durante el proceso de arco eléctrico.

Para una clasificación de voltaje de fusible dada, el voltaje pico de arco eléctrico (U_L) depende principalmente del nivel de tensión de trabajo (E_g) aplicada, RMS, de acuerdo con la Figura C8.

Curva de corrección por disipación de potencia

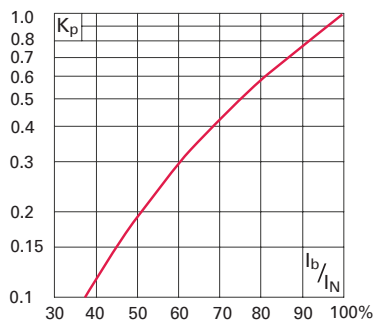


Figura C9. Curva de corrección por disipación de potencia

La disipación normal de potencia se da para cada fusible en condiciones específicas. Para calcular la disipación a una corriente de carga inferior a la corriente nominal, la disipación de potencia nominal debe multiplicarse por el factor de corrección K_p. Este factor se da en función de la corriente de carga I_b, RMS, en porcentaje de la corriente nominal, ver Figura C9.

D: Determinación de las clasificaciones de voltaje de los fusibles

La clasificación de voltaje del fusible es la tensión máxima de CA, CD o CA/CD para la cual está diseñado. La mayoría de los fusibles comerciales están clasificados para voltajes, RMS, de CA (45-62 Hz), a menos que se indique lo contrario en la etiqueta del fusible.

Para una adecuada aplicación, la clasificación de voltaje del fusible debe ser menor o igual a la tensión del sistema. Todos los fusibles ultrarrápidos, Bussmann series, están diseñados según las normas UL 248-13, IEC 60269 1 y 4 o BS88. Esto permite a los diseñadores seleccionar un fusible ultrarrápido que pueda usarse en cualquier parte del mundo.

Clasificación de tensión IEC

La IEC requiere que las pruebas de tensión de CA se realicen a 110% de la tensión nominal (con excepción de 105% para 690 V), con factores de potencia entre 10% y 20%.

Prácticamente, esto permite usar el fusible a la tensión nominal de cualquier parte del mundo sin temor de exceder las tolerancias máximas de las condiciones de prueba. Los porcentajes adicionales toman en cuenta las fluctuaciones de tensión del suministro que se encuentran en algunos convertidores.

Clasificación americana de tensión

La clasificación americana de tensión requiere que todos los fusibles se prueben únicamente a su voltaje nominal, RMS, con factores de potencia entre 15% y 20%. En muchos casos, se elige un fusible con un voltaje nominal muy superior a la tensión del sistema.

Bajo algunas condiciones del circuito, puede haber fluctuaciones normales de $\pm 10\%$. Es una buena práctica tener esto en cuenta al seleccionar fusibles tipo americano, ya que no se prueban a ninguna tensión por arriba de su clasificación.

Selección práctica del voltaje nominal

En la mayoría de los circuitos convertidores, la naturaleza y dimensión del voltaje es evidente, y la selección de voltaje se puede hacer de inmediato.

En general, un fusible por sí solo debería ser capaz de abrirse e interrumpir el circuito a la tensión máxima del sistema. Si se aplican dos fusibles en serie en la misma trayectoria de cortocircuito, cada fusible debe estar clasificado para la tensión del sistema.

Dependencia de la frecuencia

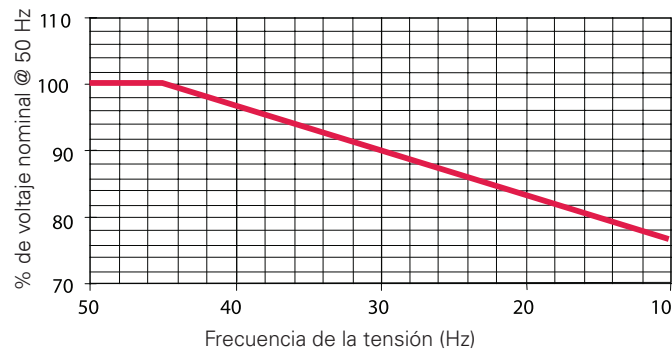


Figura D1. Voltaje nominal versus frecuencia

El voltaje nominal de CA indicado en los fusibles ultrarrápidos, Bussmann series, es válido a frecuencias de 45 a 1000 Hz. Por debajo de 45 Hz, consulte la Figura D1. El proceso de interrupción a frecuencias de CA más bajas (menores a las mostradas en la Figura D1) tiende a comportarse más como tensión de CD y la clasificación de voltaje debe cumplirse con lo que se describe en el apartado Aplicaciones en CD de esta guía.

D: Determinación de las clasificaciones de voltaje de los fusibles

Combinaciones CA/CD posibles

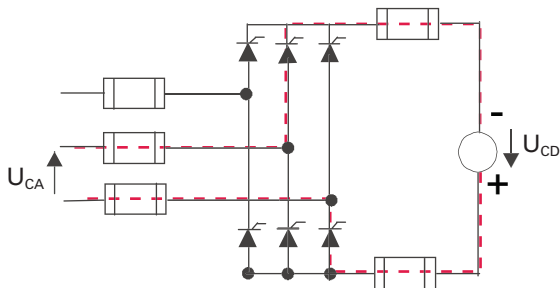


Figura D2. Circuito puente de seis pulsos

Incluso en convertidores relativamente simples, como el puente de seis pulsos y otros (ver Figura D2), existe la posibilidad de que se requiera que el voltaje nominal del fusible sea mucho mayor que la tensión CA de suministro.

Esto se debe a que el convertidor es regenerativo (es decir, capaz de devolver energía al suministro). Aquí, en caso de una falla de conmutación, la tensión de alimentación de CA (U_{CA}) y la tensión de CD de salida se superpondrán. Para soportar este aumento de tensión, el voltaje nominal (U_N) del fusible debe ser:

$$U_N \geq 1.8 \times U_{CA}$$

Para mayor información, consulte la sección *Fusibles para protección de dispositivos regenerativos*, a partir de la página 20.

Fusibles de CA en circuitos de CD

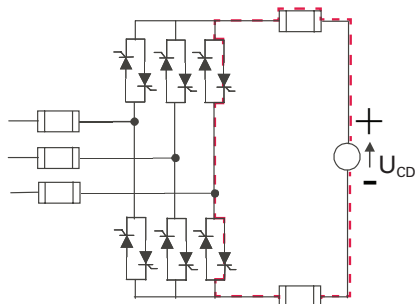


Figura D3. Fusibles de CA en un circuito CD de accionamiento de motores

Si se emplean fusibles de CA en circuitos de accionamiento y motores de CD, el proceso de selección se vuelve más complejo (ver Figura D3).

Los parámetros determinantes serán la tensión CD del sistema, la corriente mínima de cortocircuito y la constante de tiempo (L/R) máxima.

Para mayor información, consulte la sección *Fusibles de CA en aplicaciones de circuitos CD*, a partir de la página 18.

Fusibles en circuitos CD oscilatorios

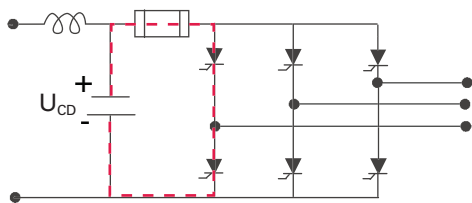


Figura D4. Fusibles de CA para protección de GTO e IGBT en el lado CD de inversores conmutados por voltaje.

Los fusibles de CA pueden usarse para protección y aislamiento de los GTO e IGBT en el lado CD de inversores conmutados por voltaje (Figura D4).

En caso de un disparo de CD con una alta relación di/dt de corriente de cortocircuito, es posible que la clasificación de CD sea mayor que la clasificación de voltaje de CA (ya sea IEC o UL).

Para mayor información, póngase en contacto con el departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

Fusibles en serie

No es común conectar fusibles en serie directamente. En condiciones de baja sobrecorriente, una pequeña variación en el desempeño del fusible podría provocar que uno de los fusibles se abriera antes que el otro y, por tanto, el fusible abierto debería ser capaz de interrumpir la tensión del sistema. En corrientes de falla más altas, ambos fusibles se abrirán, pero es poco probable que la tensión sea compartida por igual. Por tanto, si los fusibles se conectarán en serie, se debe observar lo siguiente:

- Deben estar disponibles en todo momento corrientes de falla suficientes con tiempos de fusión de 10 ms o menos.
- La clasificación de voltaje de cada fusible (U_N) debe ser al menos 70% de la tensión del sistema.
- Si la corriente de falla disponible solo puede producir tiempos de fusión mayores a 10 ms, entonces la clasificación de voltaje del fusible debe ser mayor o igual que la tensión aplicada.

E: Determinación de las clasificaciones de amperaje de los fusibles

El amperaje nominal del fusible es la corriente, RMS, que puede transportar de forma continua sin rebasar los límites de aumento de temperatura aplicables en condiciones bien definidas y de estado estable. Esto contrasta con los semiconductores, cuya corriente nominal se da como un valor medio o promedio. Muchas condiciones pueden afectar la capacidad de conducción de corriente del fusible. Para evitar el envejecimiento prematuro de los fusibles, seguir las partes 1, 2 y 3, a continuación, garantizará que la selección de corriente nominal sea segura.

Parte 1 — Selección básica

Esta parte cubre únicamente los criterios básicos de selección del amperaje nominal del fusible y no la influencia de sobrecargas y cargas cíclicas. La corriente de carga de estado estable, RMS, real, que pasa a través del fusible debe ser menor o igual que la corriente de carga permitida, máxima, calculada, llamada I_b .

$$I_b = I_n \times K_t \times K_e \times K_v \times K_f \times K_a \times K_b$$

Donde:

I_b = Corriente de carga permitida, RMS, continua, máxima*

I_n = Corriente nominal de un determinado fusible

K_t = Factor de corrección por temperatura ambiente (Figura E1)

K_e = Factor de corrección térmica (Figura E2)

K_v = Factor de corrección por enfriamiento de aire (Figura E3)

K_f = Factor de corrección por frecuencia (Figura E4)

K_a = Factor de corrección por gran altitud (Ecuación 1)

K_b = Constante de carga del fusible. (Comúnmente, 1.0 para fusibles con cuerpo de porcelana y 0.8 para fusibles con cuerpo de fibra de vidrio)

* Nota: Para períodos de 10 o más minutos de duración, el valor RMS de la corriente de carga no debe exceder este valor.

En caso de terminales de fusibles con enfriamiento por agua, consulte al departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

Densidad de corriente de la barra de alimentación

La densidad de corriente nominal de la barra de alimentación donde están montados los fusibles debe ser 1.3 A/mm² (la IEC 60269, Parte 4, la define de 1.0 a 1.6 A/mm²). Si la barra de alimentación tiene una densidad de corriente mayor a la mencionada, entonces debe reducirse la clasificación nominal del fusible. La Figura E2 muestra el factor de corrección térmica (K_e).

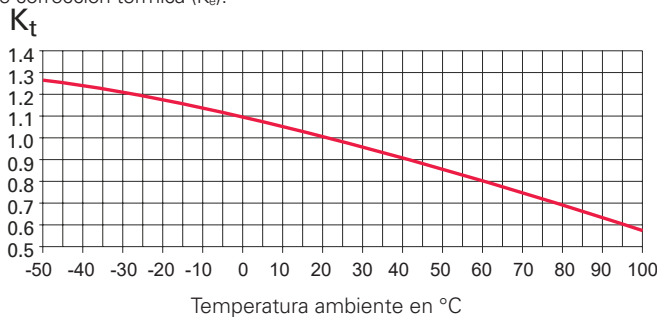


Figura E1. Factor de corrección por temperatura ambiente

La Figura E1 muestra la influencia de la temperatura ambiente sobre la capacidad de conducción de corriente del fusible.

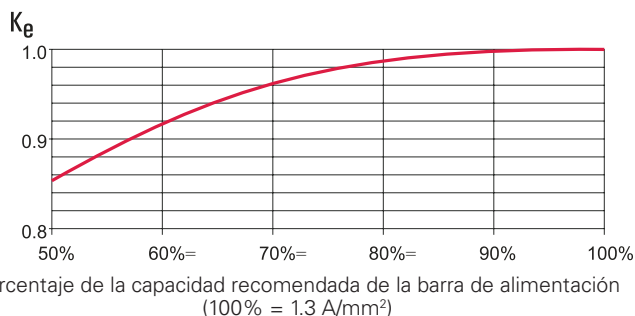


Figura E2. Factor de corrección térmica

Si dos conexiones no son iguales, el factor K_e equivalente se puede encontrar usando la siguiente fórmula:

$$K_e = \left(\frac{K_{e1} + K_{e2}}{2} \right)$$

Donde:

K_{e1} = Factor de corrección térmica por la barra de alimentación 1

K_{e2} = Factor de corrección térmica por la barra de alimentación 2

El montaje de fusibles dentro de un gabinete reducirá el enfriamiento por convección en comparación con las condiciones de prueba IEC. En este caso, se debe elegir un factor de corrección térmica (K_e) adicional, basado en el criterio. A menudo, para los fusibles montados en gabinete se considera un factor K_e , adicional, de 0.8.

Frecuencia de voltaje

Los fusibles bajo cargas de alta frecuencia (como en los inversores conmutados de voltaje) requieren atención especial. A frecuencias más altas, la capacidad de conducción de corriente del fusible puede verse reducida debido al efecto "skin" y la proximidad de los elementos portadores de corriente dentro del fusible. La utilización de la curva en la Figura E4 generalmente garantiza un margen suficiente (K_f).

Gran altitud

Quando se utilizan fusibles a grandes altitudes, la menor densidad de la atmósfera reduce el efecto de enfriamiento del fusible. Se debe aplicar un factor de corrección por altitud (K_a) a la clasificación continua del fusible cuando se usa a altitudes mayores a 2000 m. El factor de corrección K_a puede determinarse empleando la Ecuación E1.

Ecuación E1

$$K_a = \frac{I}{I_n} = \left(1 - \left(\frac{h-2000}{100} \times \frac{0.5}{100} \right) \right)$$

Donde:

I = Clasificación de corriente a gran altitud

I_n = Corriente nominal del fusible

h = Altitud en metros

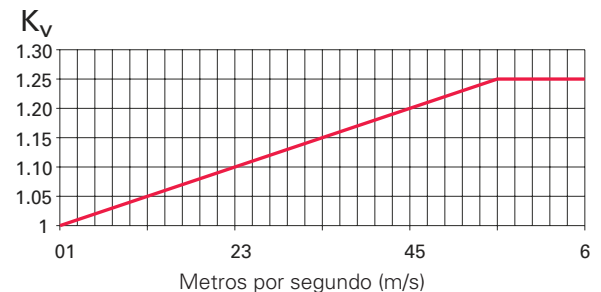


Figura E3. Factor de corrección por enfriamiento de aire forzado

La Figura E3 muestra la influencia del enfriamiento por aire forzado en el fusible.

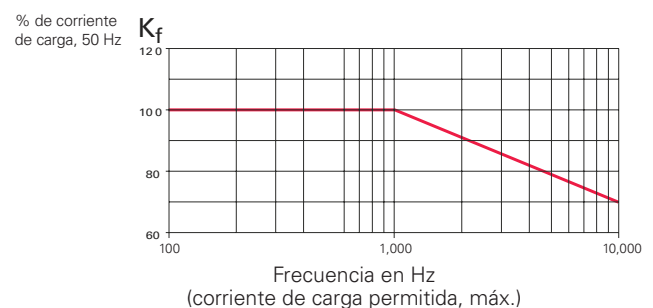


Figura E4. Factor de corrección por frecuencia de tensión

E: Determinación de las clasificaciones de amperaje de los fusibles

Ejemplo 1

Un fusible de 200 A de cuerpo cuadrado de porcelana es aplicado a una temperatura ambiente de 40 °C (04 °F) y alambrado con cables cuya sección transversal es de 120 mm². El enfriamiento por aire forzado se aplica a una velocidad de 4 m/s y la frecuencia de la corriente de carga es de 3000 Hz.

¿Cuál es la corriente de estado estable, permitida, RMS, máxima (I_b)?

Para calcular con precisión la carga permitida correcta del fusible de cuerpo cuadrado, es necesario evaluar cada factor de corrección para la aplicación.

De la fórmula para determinar la corriente y los factores de corrección mostrados en las figuras E1 a E4, tenemos:

$$I_b = I_n \times K_t \times K_e \times K_v \times K_f \times K_a \times K_b$$

Donde:

$$I_n = 200 \text{ A}$$

$$K_t = 0.9 \text{ para una temperatura ambiente de } 40 \text{ °C (Figura E1)}$$

$$K_e = 0.98 \text{ a } 78\% \text{ (Figura E2)}$$

$$\begin{aligned} \text{Densidad de corriente} &= 200 \text{ A}/120 \text{ mm}^2 \\ &= 1.54 \text{ A/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ de densidad} &= 1.3/1.54 \\ &= 78\% \end{aligned}$$

$$K_v = 1.2, \text{ para un enfriamiento por aire forzado de } 4 \text{ m/s (Figura E3)}$$

$$K_f = 0.85, \text{ para una frecuencia de } 3000 \text{ Hz (Figura E4)}$$

$$K_a = 1, \text{ a nivel del mar, por debajo de } 2000 \text{ metros (Ecuación E1)}$$

$$K_b = 1.0, \text{ constante de carga de fusible con cuerpo de porcelana}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\begin{aligned} I_b &= 200 \times 0.9 \times 0.98 \times 1.2 \times 0.85 \times 1 \times 1 \\ &= 180 \text{ A, RMS} \end{aligned}$$

En otras palabras, el fusible de 200 A solo debe someterse a un máximo de 180 A, RMS, en las condiciones descritas de estado estable.

Comprobación de la corriente de carga permitida

La corriente de carga de estado estable, máxima, permitida (I_b) de un fusible se puede comprobar haciendo mediciones de tensión simples en condiciones reales de operación. Esto debe hacerse después de instalar el fusible en su lugar de operación y cargarlo con el valor I_b calculado:

$$E_2/E_1 \times (0.92 + 0.004 \times T_a) \leq N$$

Donde:

E_1 = Caída de tensión a través del fusible después de 5 segundos

E_2 = Caída de tensión a través del fusible después de 2 horas

T_a = Temperatura del aire al inicio de la prueba, en °C

N = Constante (si está disponible, de la hoja de datos, comúnmente 1.5 o 1.6)

Parte 2 – Influencia de las sobrecargas

La corriente de sobrecarga máxima, $I_{m\acute{a}x}$, a la que puede someterse el fusible del Ejemplo 1 depende de su duración y su frecuencia de ocurrencia.

Las duraciones de sobrecarga se dividen en dos categorías:

1. Sobrecargas de más de 1 segundo.
2. Sobrecargas de menos de 1 segundo (llamadas cargas de impulso).

La Tabla E1 contiene las guías generales de aplicación. En la expresión $I_{m\acute{a}x} < (\text{factor de porcentaje}) \times I_t$, I_t es la corriente de fusión correspondiente al tiempo t de duración de la sobrecarga, como se lee en la curva de tiempo-corriente del fusible. Los límites establecidos permiten determinar la $I_{m\acute{a}x}$ para una clasificación de fusible dada o, por el contrario, la clasificación de corriente de fusible necesaria para una sobrecarga dada, expresada por:

$$I_{m\acute{a}x} < (\text{factor de porcentaje}) \times I_t$$

En la Figura E5 se dan ejemplos típicos de ciclos de carga que incluyen corrientes de sobrecarga.

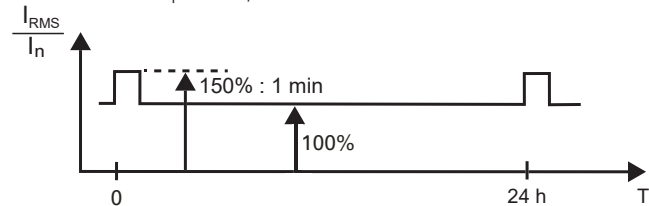
El factor de porcentaje para cada sobrecarga debe verificarse contra la curva de fusión del fusible seleccionado, siguiendo los lineamientos de la Parte 1.

Hay una cierta confusión en considerar una sobrecarga o una situación de carga puramente cíclica. En particular, los tres ejemplos que se muestran en la Figura E5 son típicos de este problema y, por seguridad, este ejemplo debe considerarse como una carga cíclica según los lineamientos de la Parte 3 de esta sección.

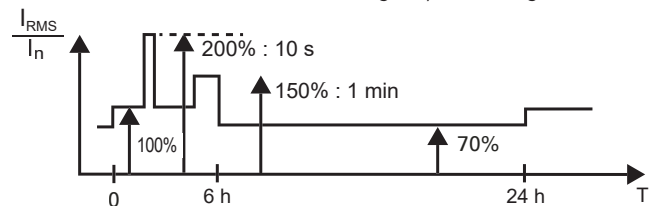
Tabla E1. Influencia de sobrecargas

Frecuencia de ocurrencia	Sobrecargas (> 1 s)	Cargas de impulso (< 1 s)
Menos de 1 vez por mes	$I_{m\acute{a}x} < 80\% \times I_t$	$I_{m\acute{a}x} < 70\% \times I_t$
Menos de 2 veces por semana	$I_{m\acute{a}x} < 70\% \times I_t$	$I_{m\acute{a}x} < 60\% \times I_t$
Varias veces al día	$I_{m\acute{a}x} < 60\% \times I_t$	$I_{m\acute{a}x} < 50\% \times I_t$

Procesos electroquímicos, etc.



Servicio de subestaciones de industria ligera y tracción ligera



Servicio industrial, servicio pesado

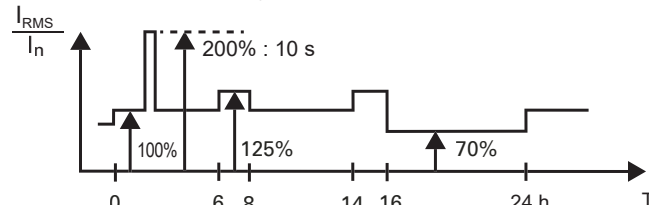


Figura E5. Ciclos típicos de carga

Ejemplo 2

Se ha seleccionado un fusible de 200 A, que estará sujeto a sobrecargas temporales de 300 amperios durante 5 segundos; estas sobrecargas ocurren de tres a cinco veces al día. De la curva de tiempo-corriente del fusible, que se encuentra en la Figura E8, observamos que la corriente de fusión (I_t) correspondiente a una sobrecarga con duración de 5 segundos ($t = 5 \text{ s}$) es $I_t = 750 \text{ A}$.

De la Tabla E1, la fórmula para la corriente de sobrecarga máxima ($I_{m\acute{a}x}$) se puede encontrar con base en una sobrecarga con ocurrencia de 3 a 5 veces por día, con duración de 5 segundos; se muestra a continuación. La aplicación de la corriente de fusión (I_t) del fusible de 200 A producirá la siguiente corriente de sobrecarga máxima:

$$\begin{aligned} I_{m\acute{a}x} &< 60\% \times I_t \\ &< 60\% \times 750 \text{ A} \\ &< 450 \text{ A} \end{aligned}$$

Lo cual significa que pueden soportarse sobrecargas temporales de hasta 450 A y que el fusible de 200 A seleccionado funcionará correctamente en esta aplicación.

E: Determinación de las clasificaciones de amperaje de los fusibles

Parte 3 – Carga cíclica y márgenes de seguridad

La carga cíclica que produce la fatiga prematura de los fusibles se define como las variaciones regulares o irregulares de la corriente de carga, con magnitud y duración suficientes para cambiar la temperatura de los elementos del fusible, de tal forma que las sensibles restricciones (fusores) se fatigarán. Con el fin de evitar esta situación, se pueden realizar cálculos para garantizar que haya un margen de seguridad adecuado para el fusible seleccionado.

Si bien el uso de las siguientes reglas empíricas cubre la mayoría de las situaciones de carga cíclica, es imposible establecer reglas generales para todas las aplicaciones. Para aplicaciones no incluidas en esta sección, póngase en contacto con el departamento de ingeniería de aplicaciones en ventasbusmannmexico@eaton.com.

Regla 1: $I_b > I_{RMS} \times G$

Donde:

I_b = Corriente de carga, máxima permitida, con base en los lineamientos presentados en la Parte 1 — Selección básica.

I_{RMS} = Valor RMS de la corriente durante la carga cíclica

G = Factor de carga cíclica (en la mayoría de los casos se garantiza un margen suficiente utilizando un factor de 1.6)

Algunos factores de carga cíclica, G , se encuentran en los ejemplos de la Figura E7, o pueden proporcionarse a solicitud.

Por tanto, la clasificación requerida del fusible puede encontrarse utilizando la siguiente fórmula:

$$I_n \geq \frac{I_{RMS} \times G}{K_t \times K_e \times K_v \times K_f \times K_a \times K_b}$$

Regla 2: $I_{pulsio} < I_t \times B$

Después de seleccionar el fusible utilizando los lineamientos mencionados, se requiere comprobar si los pulsos de carga cíclica individuales (cada uno expresado en coordenadas (I_{pulsio}, t_{pulsio})) tienen un margen de seguridad suficiente en relación con la corriente de fusión del fusible durante cada pulso. I_t representa la corriente de fusión del fusible correspondiente a cada duración de pulso ($t = t_{pulsio}$), y el factor de pulso cíclico, B , se puede obtener de la Figura E6 para un periodo (T) de una situación de carga cíclica.

Esto garantiza una vida útil adecuada del fusible cuando está sujeto a las cargas cíclicas encontradas en las aplicaciones.

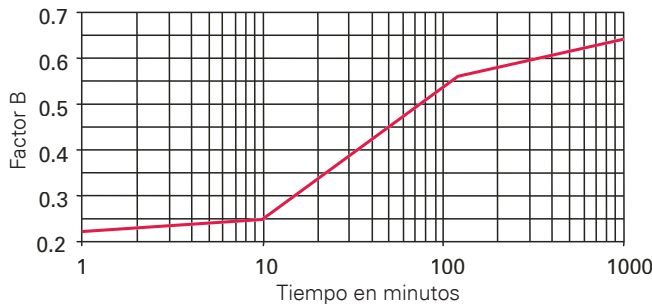
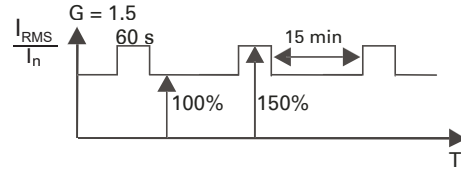
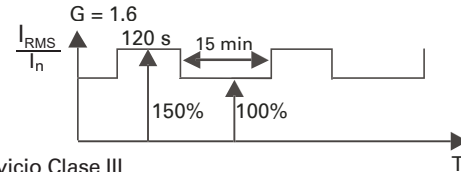


Figura E6. Factor de pulso cíclico, B

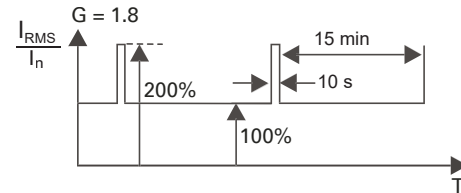
Servicio Clase I



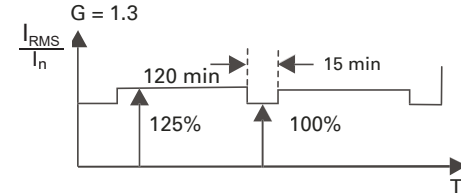
Servicio Clase II



Servicio Clase III



Servicio Clase IV



Subestaciones de tracción media y minería

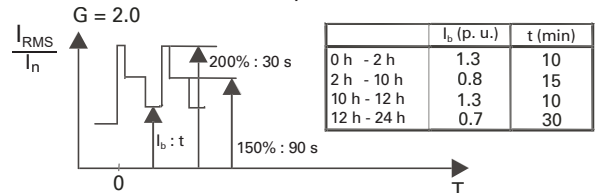


Figura E7. Ejemplos de perfiles de carga cíclica y clase de servicio

Ejemplo 3

Un fusible de 200 A está sometido a una carga cíclica de 150 A durante 2 minutos, seguida de 100 A durante 15 minutos.

De los ejemplos de la Figura E7, esta situación requiere un factor de carga cíclica $G = 1.6$. El valor RMS de la carga cíclica durante un periodo $T = 17$ minutos se determina mediante la siguiente fórmula RMS:

$$\sqrt{\frac{(150^2 \times 2) + (100^2 \times 15)}{17}} \approx 107 A_{RMS}$$

Asumiendo que no hay factores de reducción de corriente del fusible (es decir, $K_t \times K_e \times K_v \times K_f \times K_a \times K_b = 1$), la corriente de carga, máxima permitida (I_b) para el fusible de 200 A será:

$$\begin{aligned} I_b &> I_{RMS} \times G \\ &> 107 \times 1.6 \\ &> 171 A \end{aligned}$$

Aunque un fusible de 200 A puede ser suficiente, es necesario verificar el factor de seguridad (B) para garantizar que el pulso mantenga una distancia de seguridad suficiente con respecto a la curva de fusión del fusible. Esto se obtiene aplicando la Regla 2, $I_{\text{pulso}} < I_t \times B$, Parte 3. Utilizando la Figura E6 para un período de tiempo total de $T = 17$ minutos, entonces $B = 0.32$.

Dado un t_{pulso} de 2 minutos para la situación de carga cíclica, se encuentra $I_t = 440$ A a partir de la curva de corriente de tiempo para el fusible de 200 A (Figura E8).

$$I_{\text{pulso}} < I_t \times B$$

$$< 440 \text{ A} \times 0.32$$

$$< 141 \text{ A (¡no se cumple el requisito de 150 A!)}$$

El resultado concluye que la aplicación con una I_{pulso} de 150 A excede la curva de fusión del fusible y debe seleccionarse una clasificación de fusible más alta: 250 A.

Fusibles en paralelo

Hay muchas aplicaciones que emplean fusibles en paralelo.

Ya que el área superficial de 2 fusibles pequeños suele ser mayor que el área superficial de un fusible más grande y de igual clasificación nominal, el efecto de enfriamiento también es mayor. Esto permite una solución I^2t más baja, lo que proporciona una protección más adecuada del dispositivo o una solución de menor disipación de potencia (pérdida de watts).

Para conexión en paralelo, solo deben utilizarse fusibles con el mismo número de catálogo y clasificación (fusibles con el mismo número de catálogo básico y clasificación, pero uno de ellos con indicador de fusible como única excepción).

El montaje de los fusibles debe permitir un flujo de corriente y de calor uniforme en las conexiones. En instalaciones grandes, la mejor práctica es instalar fusibles en paralelo lo más cerca posible entre ellos, con valores de resistencia en frío iguales.

El valor I^2t de fusibles en paralelo está dado por:

$$I^2t \times N^2$$

Donde:

N = Número de fusibles conectados en paralelo

El montaje debe garantizar una distancia entre fusibles adyacentes de al menos 5 mm (0.2").

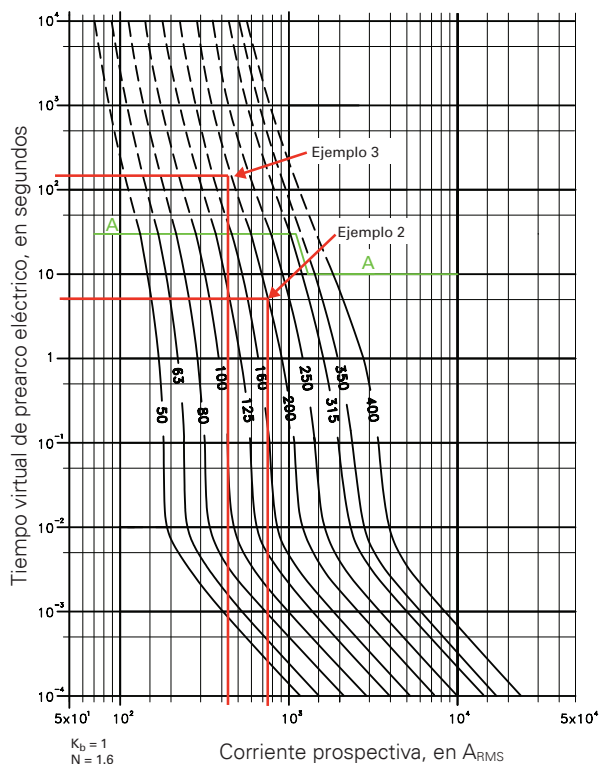


Figura E8. Curvas de tiempo-corriente de los ejemplos 2 y 3

Los semiconductores de potencia protegidos por fusibles ultrarrápidos se utilizan en muchas aplicaciones, tales como variadores de CA, variadores de CD, tracción, arrancadores suaves, relés de estado sólido, electrólisis, hornos de inducción e inversores. La alimentación puede ser suministrada por la red eléctrica, generadores locales o baterías.

Las configuraciones de circuito para estas aplicaciones varían mucho. Algunos circuitos típicos se ilustran en la página siguiente junto con información relativa a cómo determinar los niveles de corriente RMS y de corriente de carga relevantes para la instalación de fusibles.

Todos estos ejemplos de circuitos pueden requerir algunos amperios o miles de amperios. En cualquier caso, los principios de operación del circuito suelen ser los mismos. Sin embargo, los niveles de protección involucrados dependen de múltiples necesidades, que incluyen protección contra:

- Accidentes
- Lesiones al personal
- Integridad de semiconductores y otros componentes, etc.

Algunos aspectos de los circuitos ejemplificados y su protección son comunes a muchas aplicaciones. Estos se tratarán aquí con detalles más específicos, que se cubren en las siguientes secciones.

En general, las aplicaciones se agrupan en aplicaciones para CA y aplicaciones para CD; en los circuitos modernos, muchas aplicaciones emplean ambos tipos de corriente.

Las aplicaciones que utilizan inversores de CD a CA (variadores de CA de velocidad variable y fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS)) comúnmente consideran sus requisitos de fusibles en dos partes. Primero, el convertidor de CA a CD y luego, la sección del inversor. Esta guía trata primero la parte de CA y después los interruptores y los sistemas rectificadores de CD.

Corrientes RMS en arreglos puente común

Los circuitos más comunes implican rectificadores que convierten corriente alterna (CA) en corriente directa (CD).

Hay varias formas de configurar transformadores de alimentación y dispositivos rectificadores. Para los fines esquemáticos de estos ejemplos, los dispositivos semiconductores están representados por diodos (aunque también podrían ser tiristores o GTO que permitirían controlar la tensión o la corriente de salida).

Hay lugares comunes para aplicar fusibles ultrarrápidos en los circuitos rectificadores. La corriente RMS en estos lugares del circuito varía en función de la cantidad de corriente cíclica que fluya. Esto se describe para diodos, aunque estos valores pueden ser diferentes en circuitos controlados (con tiristores o GTO). Sin embargo, no exceden a los valores mostrados, ya que es similar al dispositivo controlado que está constantemente en estado activo (ON).

Los arreglos más comunes se muestran aquí.

Los pros y contras de aplicar fusibles ultrarrápidos en los lugares designados se considerarán en detalle más adelante.

El circuito en la Figura F1 no es frecuente en sistemas electrónicos de potencia. La salida de media onda sería ineficiente, con una gran distorsión reflejada en el suministro.

Circuitos rectificadores típicos

Los fusibles son dispositivos RMS que se basan en una salida de corriente de carga CD promedio de 100%, lo cual permite determinar las corrientes de carga RMS relevantes I_1 , I_2 e I_3 .

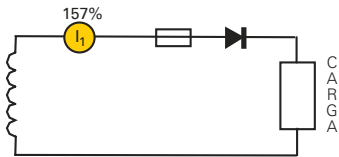


Figura F1. Una fase, media onda

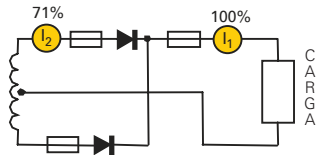


Figura F2. Una fase, onda completa, derivación al centro

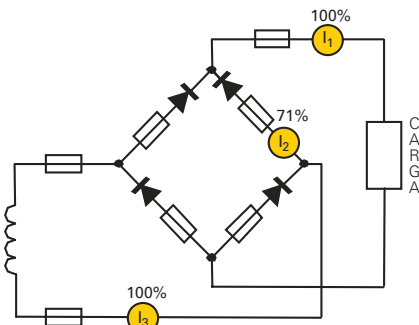


Figura F3. Una fase, puente

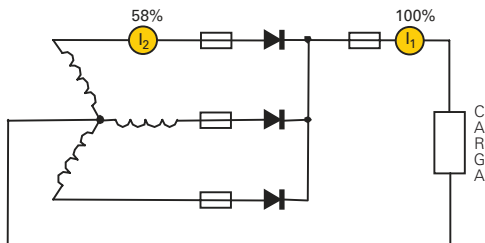


Figura F4. Tres fases, estrella (Y)

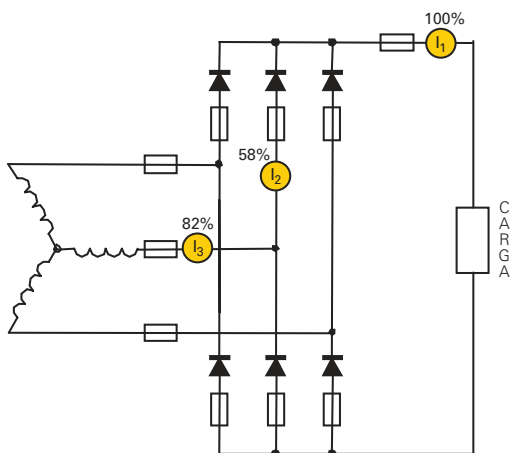


Figura F5. Tres fases, puente

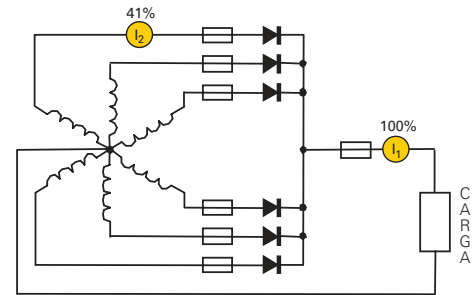


Figura F6. Seis fases, estrella

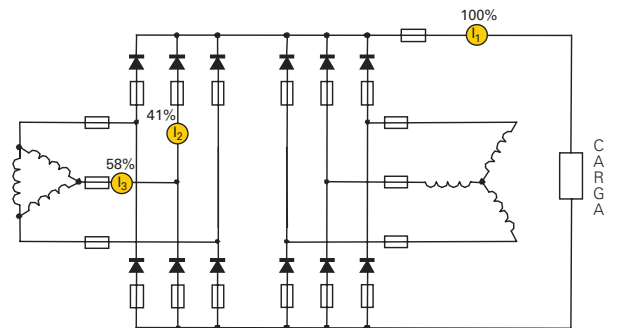


Figura F7. Seis fase, paralelo (sin IPT)

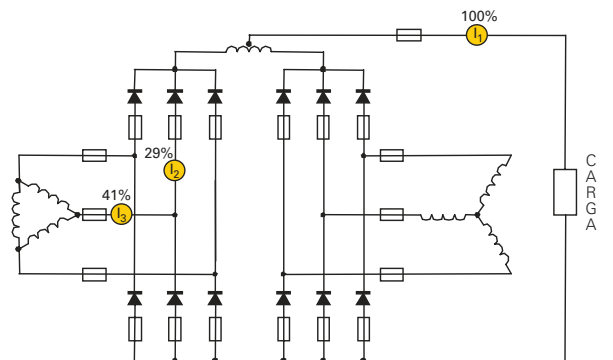


Figura F8. Seis fases, paralelo (con IPT)

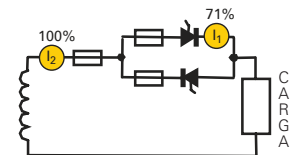


Figura F9. Una fase, antiparalelo, control de CA

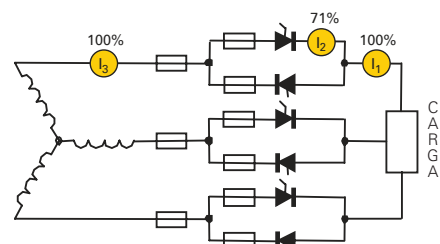


Figura F10. Tres fases, antiparalelo, control de CA

G: Protección con fusibles para circuitos rectificadores

En principio, un fusible debe conducir de forma ininterrumpida toda la corriente requerida por la aplicación y cualquier sobrecarga transitoria esperada. Cuando ocurre un cortocircuito, el fusible debe limitar la energía que pasa a través del dispositivo semiconductor para que no se dañe.

Fallas internas y fallas externas

Como se puede observar en los diagramas de la página 15, los fusibles se pueden colocar en diferentes puntos del circuito. Los fusibles pueden conectarse en serie con los dispositivos semiconductores, en las líneas de suministro y, algunas veces, en las líneas de salida. Únicamente los fusibles colocados en los brazos del puente permitirán la máxima capacidad de conducción de corriente en estado estable de los semiconductores, ya que ahí se encuentra la mínima corriente RMS del fusible.

En el diseño de equipos rectificadores de alta potencia, hay dos tipos de cortocircuito que deben tenerse en cuenta:

- **Falla interna.** Cortocircuito de una celda rectificadora individual. No es común la falla en la apertura de un circuito rectificador de potencia de silicio. Sin embargo, este tipo de cortocircuito se puede determinar mediante el uso de circuitos de detección (ver figuras G1 y G2).
- **Falla externa.** Cortocircuito o carga excesiva en las terminales de salida del equipo (ver Figura G3).

Protección contra fallas internas

Con el fin de proteger las celdas rectificadoras en buen estado en caso de una falla interna, deben conectarse fusibles en serie con cada celda rectificadora.

Consideraciones acerca de rectificadores con trayectorias paralelas

Es importante destacar que al diseñar equipo de rectificación de alta potencia y alta corriente, la continuidad del suministro en caso de una falla interna es con frecuencia una característica deseable. El equipo debe diseñarse para proporcionar la salida requerida en todas las condiciones de carga, con uno o más dispositivos semiconductores sin funcionar de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Esto se puede lograr cuando cada brazo está formado por múltiples celdas rectificadoras (ver Figura G1).

Para garantizar la salida y operación continuas con una falla interna, el fusible conectado en serie en la celda rectificadora con falla debe abrirse e interrumpir la falla sin abrir los fusibles conectados en serie con otras celdas rectificadoras en funcionamiento dentro del brazo con falla.

Para cumplir con esta condición, la I^2t total de interrupción de un solo fusible debe ser menor que la I^2t de prearco eléctrico combinada de todos los fusibles en un brazo del puente del equipo, expresada como:

$$I^2t_2 < I^2t_1 \times n^2$$

Donde:

I^2t_2 = I^2t total de interrupción del fusible de la celda con falla

I^2t_1 = I^2t de prearco eléctrico de cada fusible en el brazo del puente

n = Número de trayectorias paralelas en cada brazo del puente del equipo

Para permitir el intercambio de corriente no uniforme en trayectorias paralelas, "n" debe reemplazarse por "n(1 + S)", donde "S" representa la distribución no uniforme, generalmente entre 0.1 y 0.2 (10% y 20%).

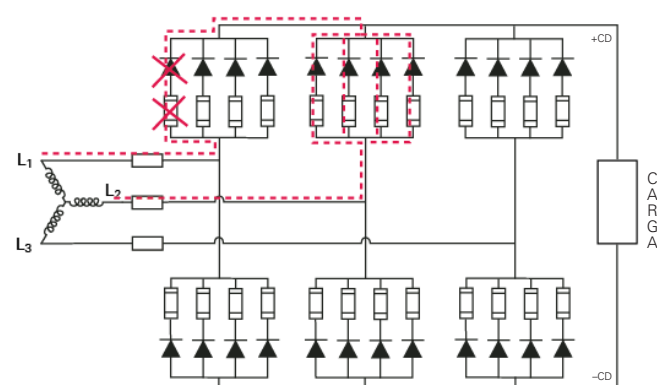


Figura G1. Falla interna

Además, si el diseño del equipo especifica que debe mantenerse la continuidad del suministro de energía en caso de que uno o más dispositivos semiconductores fallen, la "n" de la fórmula anterior debe sustituirse por "(n - x)", donde "x" representa el número de semiconductores con falla.

La experiencia ha demostrado que cuando "n" es menor que cuatro (4) (ver Figura G2), el tipo de protección mencionado suele ser difícil de lograr. En aplicaciones que utilizan tanto fusibles en la línea como en los dispositivos individuales, debe verificarse que cuando se produce una falla interna, el fusible del dispositivo se coordina selectivamente con el fusible de línea (es decir, la I^2t total de interrupción del fusible de la celda debe ser menor que la I^2t de prearco eléctrico del fusible de línea):

$$I^2t_2 < I^2t_1$$

Donde:

I^2t_2 = I^2t total de interrupción del fusible de la celda

I^2t_1 = I^2t de prearco eléctrico del fusible de línea

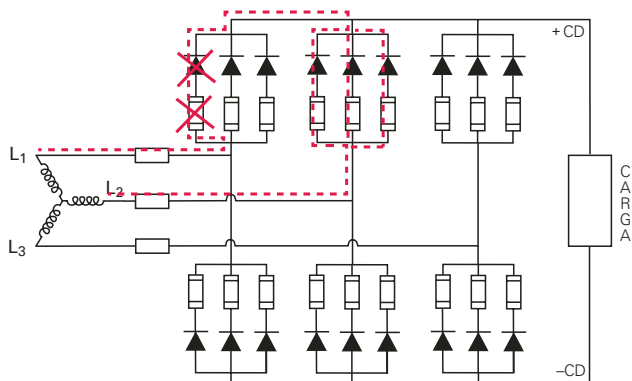


Figura G2. Falla interna, menos trayectorias paralelas

Protección contra fallas externas

En caso de una falla externa, no es conveniente tener abiertos todos los fusibles individuales del rectificador. Por tanto, es una práctica recomendable incluir un fusible en serie con la línea de suministro (ver Figura G3).

Para garantizar que el fusible de línea interrumpa antes que el fusible del dispositivo individual, la I^2t total de interrupción del fusible de línea debe ser menor que la I^2t de prearco eléctrico combinada de los fusibles de la celda utilizados en un brazo del puente del equipo, expresada como:

$$I^2t_1 < I^2t_2 \times n^2$$

Donde:

I^2t_1 = I^2t total de interrupción del fusible de línea

I^2t_2 = I^2t de prearco eléctrico del fusible de cada celda

n = Número de fusibles del dispositivo conectados en paralelo

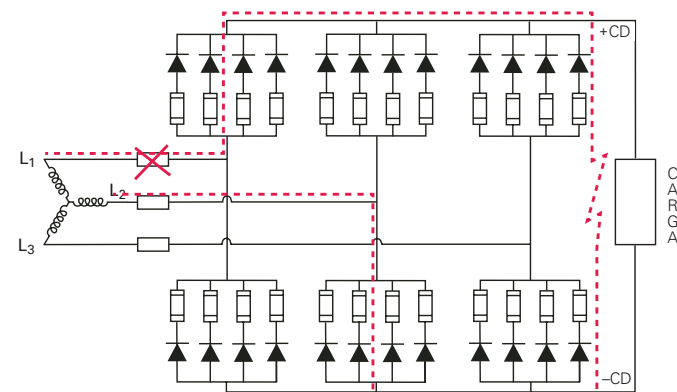


Figura G3. Falla externa

Interrupción del servicio en caso de falla del dispositivo

La mayoría de las fallas en equipos de rectificación y conversión de media y baja potencia entran en esta categoría. Los fusibles conectados en serie con los dispositivos semiconductores, o en las líneas de suministro, se utilizan para protección contra fallas internas y externas en las siguientes aplicaciones comunes:

- Impulsores de motores de velocidad variable
- Controles de calentadores
- Inversores
- Rectificadores de baja potencia

En los circuitos inversores, hay que tener especial cuidado para elegir las clasificaciones de tensión CD correctas para cada aplicación. También pueden producirse fallas de CD después de la falla del dispositivo en los circuitos puente cuando otras fuentes de energía alimentan la misma barra de alimentación de CD, o cuando la carga está constituida por motores, capacitores o baterías. El Ejemplo 1 de la sección de ejemplos resueltos ilustra la protección de un típico impulsor CD con tiristores.

Servicio continuo en caso de falla del dispositivo

En aplicaciones de rectificación a gran escala como la alimentación CD para operaciones electroquímicas, no se pueden tolerar interrupciones en el servicio.

Como ya ha sido mencionado, estas aplicaciones emplean varias trayectorias en paralelo ($n > 4$) en cada brazo del rectificador. Cada una de estas trayectorias son dotadas de fusibles de manera individual para aislar los dispositivos con falla (consultar la sección L: Ejemplos resueltos).

En aplicaciones que utilizan muchos fusibles, la detección de fusibles abiertos se facilita mediante el uso de indicadores de fusible que pueden accionar microinterruptores para monitoreo a distancia.

Protección de fusibles en sistemas CD

La inductancia en un circuito CD limita la tasa de incremento de corriente. El tiempo necesario para que la corriente alcance 63% del valor final se denomina "constante de tiempo", y comúnmente se expresa en términos de L/R (Figura H1).

La tasa de incremento de corriente influye en la tasa de entrada de energía que funde el elemento fusible. Esto incide tanto en las características de tiempo-corriente de fusión del fusible como en la corriente pasante pico. Para tiempos largos de operación (más de 1 segundo) el efecto de calentamiento de una corriente CA es el mismo que el de una corriente CD y las características se juntarán. La figura H2 muestra una típica curva pasante, pico, de CA y tiempo-corriente (rojo), junto con una curva pasante, pico, de CD y tiempo-corriente con constante de tiempo de 25 ms (verde) y otra de 80 ms (azul). Observe que las constantes de tiempo de CD más altas hacen que las curvas se desplacen hacia arriba para las curvas pasante, pico, y hacia la derecha para las curvas tiempo-corriente.

Muchos circuitos tienen una constante de tiempo entre 10 ms y 20 ms. Por tanto, las especificaciones de la IEC requieren realizar pruebas entre estos valores. Las constantes de tiempo mayores a 20 ms no se encuentran a menudo fuera de las aplicaciones de tracción de tercer riel, en donde las largas longitudes de riel dan relaciones de inductancia-resistencia extremadamente altas. Para consideraciones de cortocircuito, debe utilizarse el valor de la constante de tiempo del circuito en condiciones de cortocircuito. Este valor puede ser diferente a la constante de tiempo en condiciones normales de funcionamiento.

En muchos circuitos rectificadores (incluso en condiciones de falla), el fusible estará sometido a una tensión alterna. La tensión se reducirá a cero (o cerca de cero) de forma regular, según la frecuencia de la línea de alimentación. En estas condiciones, la extinción del arco dentro del fusible, en condiciones de falla, es asistida por la reducción periódica de la tensión a cero.

Cuando se emplea un fusible en una aplicación puramente de CD, la extinción del arco eléctrico del fusible no será favorecida por la reducción de tensión o las tensiones cero de la corriente alterna. La inductancia en el circuito almacena energía eléctrica. Esto influye en la manera en que el proceso de formación de arcos eléctricos en el fusible reduce la corriente en el circuito, y está más allá del propósito de esta guía.

La tensión a la que el fusible puede funcionar con seguridad depende de la constante de tiempo del circuito. Cabe señalar que cuando la constante de tiempo es baja, es posible que la clasificación de tensión CD sea mayor que la clasificación de tensión CA (según IEC o UL). Sin embargo, para la mayoría de los fusibles, la clasificación de voltaje CD es 75% o menos que la clasificación de voltaje CA, con la clasificación CD disminuyendo aún más a medida que aumenta la constante de tiempo del circuito.

La tensión de arco eléctrico generada por el fusible durante su operación también variará con respecto a la tensión del sistema. La variación de tensión de arco eléctrico con respecto a la tensión aplicada será diferente entre sistemas CA y sistemas CD. Sin embargo, en la mayoría de los casos, se puede utilizar la información proporcionada para sistemas de CA.

A menos que se incluyan características de diseño especiales, no se debe recurrir a los fusibles para interrumpir sobrecorrientes bajas en circuitos CD. El desempeño del fusible en este aspecto puede ser un factor limitante en la selección de fusibles.

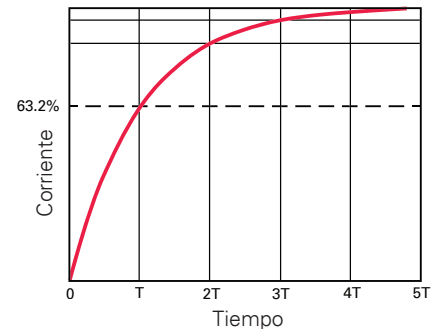


Figura H1. La constante de tiempo (L/R) en circuitos CD es 63%

Sistemas alimentados por CD

La mayoría de las aplicaciones que implican CD tienen alimentación CA, la cual es rectificada para alimentar a la carga. Esta carga puede ser pasiva, como una celda electrolítica, o tan compleja como un impulsor regenerativo.

Existen varios tipos de circuitos que requieren consideraciones especiales. Entre ellos se encuentran circuitos con baterías, capacitores y aquellos en los que el impulsor del motor es regenerativo. En los grandes sistemas electrolíticos, a menudo se requieren dispositivos y fusibles en paralelo. Los circuitos con baterías y capacitores se tratan en otra sección de esta guía, así como los impulsores regenerativos.

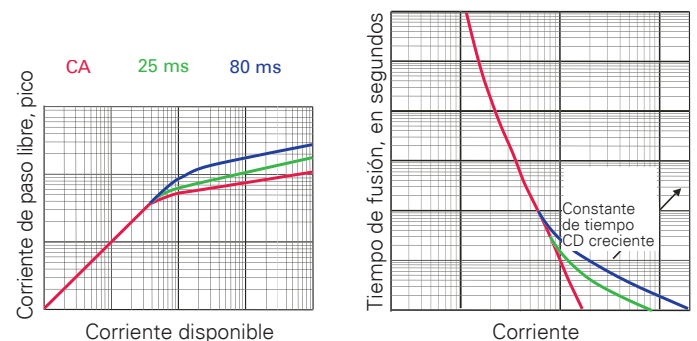


Figura H2. Las características de funcionamiento en CA y CD se unifican para tiempos de operación mayores a 1 segundo.

Batería como una carga eléctrica

En principio, los circuitos para recarga de baterías son similares a los sistemas electrolíticos.

Las configuraciones puente, estándar, se utilizan comúnmente en estos sistemas. Los fusibles pueden instalarse en la línea CA, en el brazo del puente o en la línea CD.

El uso de fusibles en el brazo del puente no solo proporciona la protección más eficaz al dispositivo semiconductor, sino también protege el puente contra las fallas internas del puente y las fallas en el sistema CD.

En circuitos de alta corriente, la regulación de la cantidad de corriente suele hacerse por control de fase usando tiristores. En sistemas de baja potencia, la corriente de falla puede ser limitada únicamente por la impedancia del secundario del transformador, y el rectificador estará formado únicamente por diodos.

En los sistemas que regulan la corriente por control de fase, pueden producirse altas corrientes de falla si el control de tiristores no funciona correctamente. La selección de fusibles para este tipo de circuito es similar a la de un impulsor CD (se trata en otra sección de esta guía).

Sin embargo, en un sistema formado únicamente por diodos, en caso de que una batería esté conectada con polaridad inversa, la corriente de falla pasará directamente a través de los diodos. La corriente de falla resultante solo estará limitada por la impedancia interna de la batería. Se requiere un rápido aislamiento para proteger los diodos y limitar la I^2t en el diodo.

También se debe considerar el posible servicio de pulso que puede ser obligado a realizar un cargador de baterías. Muchos circuitos controlados del cargador tienen una alta velocidad de carga durante un corto periodo de tiempo antes de aplicar una velocidad de carga continua más baja. En la sección acerca de cargas cíclicas, se proporciona información sobre el tema.

Batería como fuente única

El uso de baterías es muy amplio y está en constante aumento debido a las demandas de energía renovable, donde son comunes y esenciales como dispositivos para almacenamiento de energía.

Debido a sus características, proteger una batería (o baterías) es particularmente difícil en condiciones de falla. El problema se complica por la gran cantidad de fabricantes y tipos de baterías.

Por su extraordinario efecto limitador de corriente, los fusibles ultrarrápidos son una buena opción para protección de baterías en condiciones de cortocircuito.

Sin embargo, para que un fusible ultrarrápido funcione de manera eficaz, se requiere que la corriente de falla sea lo suficientemente alta para fundir rápidamente el elemento fusible. La velocidad de incremento de la corriente de falla (constante de tiempo) debe ser lo suficientemente alta para permitir que el fusible interrumpa el arco eléctrico de CD que se genera durante la interrupción de la falla. Las condiciones de falla de CD son difíciles para el fusible y, en algunos casos, una aplicación incorrecta puede causar falla por estrés del fusible. La corriente de falla en condiciones de cortocircuito está limitada drásticamente por la impedancia interna y el estado de carga de la batería. Si una batería está completamente cargada, puede haber suficiente energía para abrir el fusible, pero a medida que se reduce la carga de la batería, su nivel podría ser insuficiente para abrirlo.

Al igual que las constantes de tiempo mayores a 15 ms, una corriente de falla insuficiente podría causar una falla similar del fusible. Las corrientes de falla aplicadas al fusible que se encuentran por encima de la línea A-A (línea punteada) de la curva tiempo-corriente podrían ser motivo de preocupación.

Es esencial conocer todos los parámetros de la batería antes de seleccionar su fusible. Información detallada de la batería y la hoja de datos correspondiente deben obtenerse del fabricante. Podría ser necesario que el fusible seleccionado actúe únicamente cuando las baterías se encuentren en o por encima de cierto nivel de carga y que el fabricante pueda garantizar una constante de tiempo de cortocircuito.

Por supuesto, un fusible ultrarrápido solo proporcionará protección contra cortocircuitos. Para la protección del cable, se debe aplicar un fusible de uso más general, que sea capaz de funcionar en condiciones de baja sobrecarga. Esto causa otros problemas, ya que los fusibles suplementarios y los fusibles para circuitos derivados comúnmente no pueden manejar tensiones CD en el mismo nivel que los fusibles ultrarrápidos. Una sobrecarga sostenida de baja corriente a alta tensión CD puede requerir un fusible diseñado específicamente para aplicaciones de CD, con el fin de proporcionar una protección segura y confiable.

Póngase en contacto con el departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

La siguiente información se refiere específicamente a fusibles Typower Zilox estándar de 660, 690, 1000 y 1250 V_{AC} cuando se utilizan en aplicaciones de CD. Estos fusibles no han sido probados ni se les ha asignado capacidad para tensión CD, específicamente.

Se pueden emplear en circuitos donde ocurren fallas de CD y debe tenerse especial precaución en su selección. Se recomienda validar los fusibles después de seguir este proceso de selección (esto es solo una guía, los usuarios finales deben comprobar que los fusibles seleccionados son adecuados para su aplicación específica).

La capacidad de interrupción del fusible depende de una combinación de los siguientes parámetros:

- Tensión CD aplicada
- Constante de tiempo del circuito (L/R)
- Corriente prospectiva de cortocircuito, mínima ($I_{p, min}$) del circuito
- I^2t de prearco eléctrico del fusible seleccionado

Para aplicar correctamente un fusible, debe utilizarse un factor (F) relacionado con la I^2t de fusión para la corriente prospectiva.

Para determinar el factor F en la Figura I3, utilice las curvas en la Figura I1 o I2, que muestran la dependencia de la tensión CD aplicada, máxima, en L/R, con 3 niveles de I_p como parámetro, identificados como 1, 2 y 3. Seleccione la curva 1, 2 o 3 eligiendo la curva por encima del punto de la tensión disponible conocida y la constante de tiempo del circuito.

Si no hay curva por encima del punto de tensión L/R, se debe elegir un fusible con clasificación CA mayor a 1250 V. Para asistencia técnica, póngase en contacto con el departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

El factor F se encuentra en la Figura I3 en función de la constante de tiempo L/R del circuito y la curva seleccionada (1, 2 o 3) como parámetro.

Para verificar si el nivel mínimo de corriente disponible ($I_{p, min}$) en el circuito CD real está de acuerdo con la selección realizada en la Figura I1 o I2, se debe satisfacer la siguiente desigualdad:

$$I_{p, min} \geq F \times \sqrt{I^2t} \quad [A]$$

Donde I^2t es la integral de prearco eléctrico (con el fusible frío) en A²s del fusible en cuestión y, lo más importante, con capacidad de interrumpir esta corriente mínima.

En la Figura I4, la tensión de arco eléctrico, pico, máxima, del fusible, en el peor de los casos, se puede encontrar en función de la tensión CD aplicada.

Nota: Cuando los fusibles tienen una capacidad reducida de voltaje CA, la capacidad de voltaje CD se reducirá en un porcentaje similar. Por ejemplo, un fusible de 690 V, 2000 A, Tamaño 3, tiene una clasificación de voltaje CA de 550 V_{CA}, por lo que la clasificación de voltaje CD se verá reducida en 20% y será de 440 V_{CD}.

Estos fusibles no han sido validados específicamente y no se les ha asignado concretamente una capacidad de voltaje de CD.

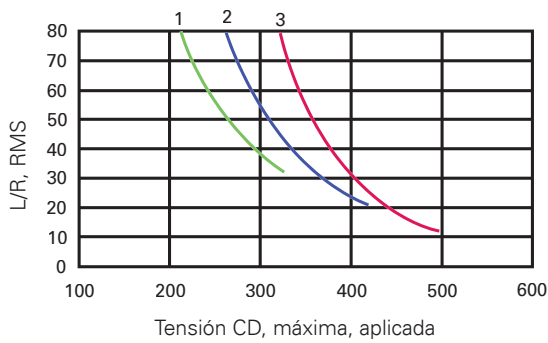


Figura I1. Fusibles Typower Zilox, 660-690 V_{CA}, tensión CD, máxima, aplicada

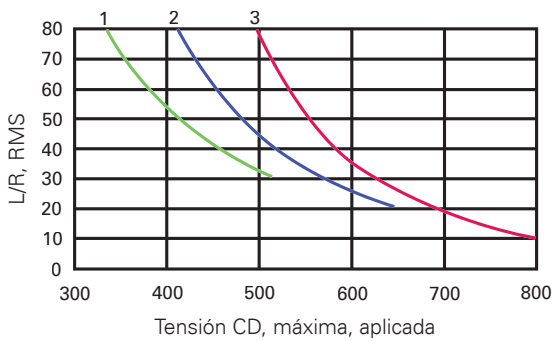


Figura I2. Fusibles Typower Zilox, 1000-1250 V_{CA}, tensión CD, máxima, aplicada

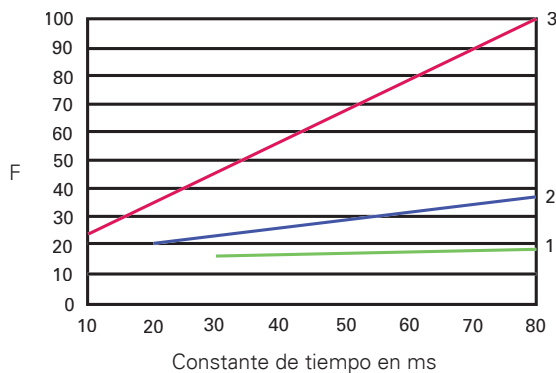


Figura I3. Factor F basado en la constante de tiempo del circuito en las figuras I1 e I2

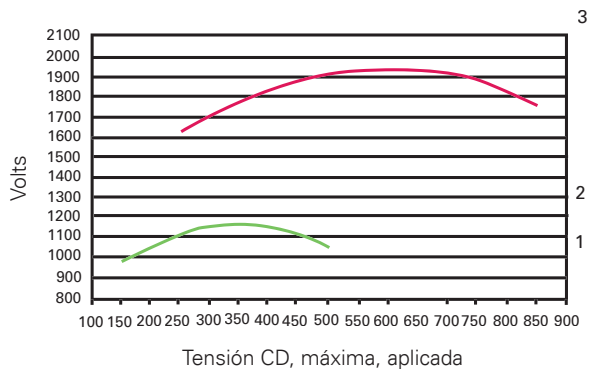


Figura I4. Tensión de arco eléctrico, pico, en el peor de los casos

Ejemplo de cálculo

El fusible Typower Zilox 170M6149 tiene las siguientes clasificaciones:

- 1250 V_{CA}
- 1100 A
- Tamaño 3/110
- 575,000 A²s (integral I²t de prearco eléctrico)

Tensión aplicada, E = 500 V_{CD}

Primero, la corriente de cortocircuito prospectiva y la constante de tiempo (L/R) deben determinarse en función de los parámetros del circuito que se muestran en la Figura I1 y las clasificaciones mencionadas del fusible Typower Zilox 170M6149.

Corriente prospectiva (I_p):

$$I_p = E/R$$

$$= 500 \text{ V} / 16 \text{ m}\Omega$$

$$= 31.3 \text{ kA}$$

Donde:

E = 500 V_{CD}, tensión aplicada

R = 16 mΩ, resistencia del circuito (Figura I5)

Constante de tiempo (L/R):

$$L/R = 0.64 \text{ mH} / 16 \text{ m}\Omega$$

$$= 40 \text{ ms}$$

Donde:

0.64 mH = inductancia del circuito (Figura I5)

16 mΩ = resistencia del circuito (Figura I5)

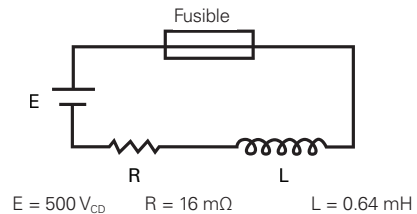


Figura I5. Circuito del ejemplo de cálculo

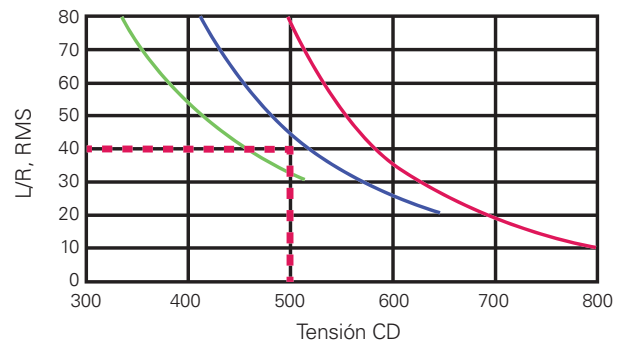


Figura I6. Tensión CD aplicada, máxima

De la Figura I6, a una tensión aplicada de 500 V_{CD} y una constante de tiempo (L/R) de 40 ms, la Curva 1 ha sido rebasada, lo cual significa que, para contar con un margen de seguridad, se debe usar la Curva 2.

Y de la Figura I7, se obtiene el factor F = 26.5 con base en el valor de la constante de tiempo (L/R) calculada (40 ms) y la Curva 2 seleccionada en el paso anterior. Junto con la I²t de prearco eléctrico (575,000 A²s) del fusible seleccionado, implica una corriente prospectiva mínima (I_{p, min}) de:

$$I_{p, min} = 26.5 \times \sqrt{575,000} \text{ A}$$

$$= 20,094.62 \text{ A}$$

$$= 20.1 \text{ kA}$$

Revisando los parámetros reales del circuito, se puede observar que la clasificación de interrupción del fusible seleccionado es suficiente, satisfaciendo los siguientes parámetros principales:

- La tensión CD aplicada, máxima, de 500 V_{CD} (se podría permitir hasta 280 V_{CD} con la constante de tiempo calculada).
- La constante de tiempo L/R de 40 ms (se podría permitir hasta 46 ms con la tensión CD aplicada, máxima).
- Se necesita una I_{p, min} de 20.1 kA (la corriente prospectiva real es 31.3 kA).

Se demuestra que la tensión de arco eléctrico, pico, del fusible, que se encuentra en la Figura I8 es menor que 1900 V.

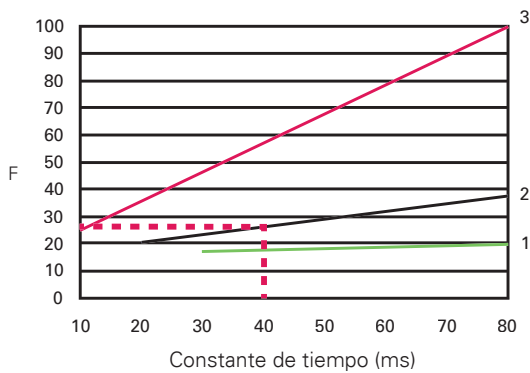


Figura I7. Constante de tiempo

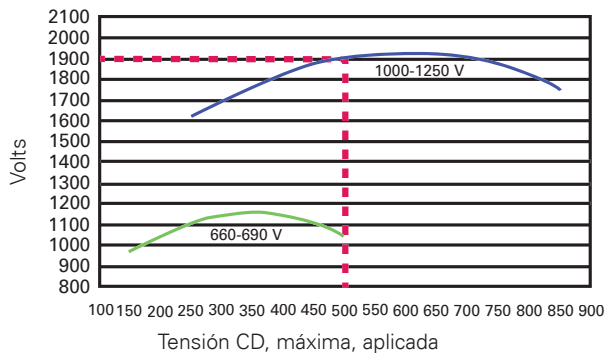


Figura I8. Tensión de arco eléctrico en las condiciones más desfavorables

En teoría, el fusible debería soportar de manera continua toda la corriente requerida y cualquier sobrecarga transitoria esperada. Cuando se produce un cortocircuito, el fusible debería limitar la energía que pasa a través del semiconductor para que no sufra daño alguno.

Para comenzar, deben conocerse los tipos de fallas que pueden ocurrir en el equipo antes de seleccionar la tensión nominal del fusible.

Los fusibles podrían aplicarse solo en la ubicación F2, o en las ubicaciones F1 + F3 del circuito (Figura J1).

En la operación de un circuito rectificador hay tres tipos de fallas posibles: fallas internas, fallas cruzadas y fallas externas (Figuras J1-J3).

Conclusiones acerca del modo rectificador

En fallas internas, cruzadas o externas, la corriente de cortocircuito pasará a través de dos fusibles en serie. Esto significa que los dos fusibles normalmente se ayudarán entre sí para eliminar la falla. Sin embargo, por seguridad, el voltaje nominal del fusible, U_N, debe ser mayor o igual que la tensión de alimentación CA, RMS (U_N ≥ U_{CA}) (poner especial atención a la falla de conmutación). Cuando se trata del cálculo de I²t y de la protección del semiconductor, es una ventaja contar con dos fusibles en serie.

En la trayectoria de cortocircuito, si la corriente prospectiva es muy grande, la I²t puede calcularse con una distribución casi igual del voltaje de falla. A niveles de corriente de falla más pequeños, no se considera una práctica segura usar una distribución igual del voltaje total de falla. El procedimiento común es usar 1.3 como factor de seguridad. De ahí que los valores I²t se encuentren a una tensión de alimentación CA, RMS, de:

$$\text{Tensión de } I^2t = U_{CA} \times 0.5 \times 1.3$$

$$= U_{CA} \times 0.65$$

En modo regenerativo, también puede haber tres tipos de falla (figuras J4-J6).

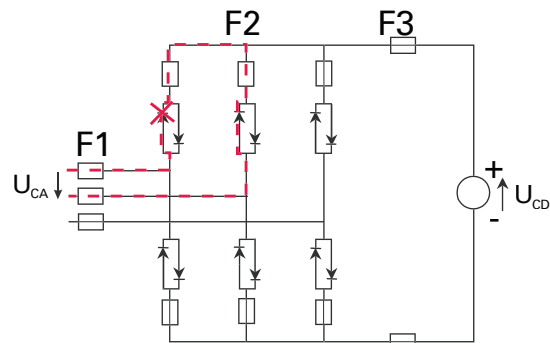


Figura J1. Falla interna – modo rectificador

Esta falla se debe a la pérdida de capacidad de bloqueo de un tiristor, dando origen a un cortocircuito de línea a línea CA.

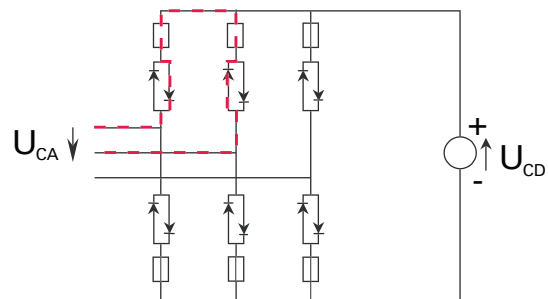


Figura J2. Falla cruzada – modo rectificador

Esta falla ocurre cuando el mal funcionamiento de uno de los tiristores del puente del inversor da como resultado un cortocircuito de línea a línea CA.

J: Fusibles para protección de drives regenerativos

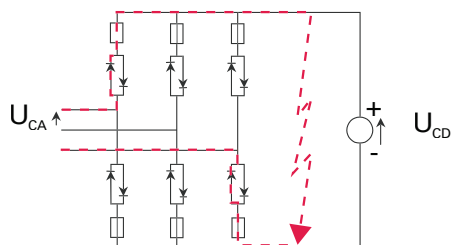


Figura J3. Falla externa — modo rectificador

Esta falla se debe a un cortocircuito en el lado de salida de CD (por ejemplo, arco eléctrico en un motor). La tensión de falla aplicada es nuevamente igual a la tensión línea a línea CA.

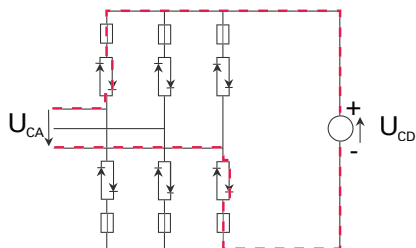


Figura J4. Falla de conmutación — modo rectificador

Esta falla se debe a la pérdida de capacidad de bloqueo de un tiristor mientras se produce una caída de tensión línea a línea a través de él, originando a un cortocircuito en el que la tensión CA se superpone a la tensión CD.

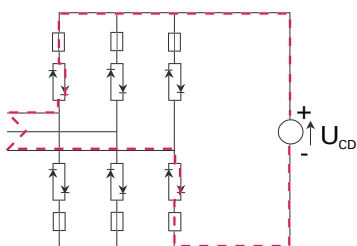


Figura J5. Pérdida de alimentación CA — modo regenerativo

Si falla la tensión CA, ocurre un corto en el motor, que actúa como generador, a través de los tiristores y el transformador.

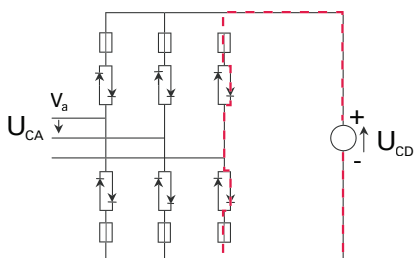


Figura J6. Disparo de CD — modo regenerativo

Esta falla ocurre debido al mal funcionamiento de un tiristor y da como resultado un cortocircuito CD.

Conclusiones acerca del modo regenerativo

Como puede observarse en los diagramas de circuitos con falla (figuras J4-J6), también hay dos fusibles en serie, pero el voltaje de falla es muy diferente.

Durante la falla de conmutación, el voltaje de falla es la suma del voltaje CA más el voltaje CD. En el peor de los casos (suponiendo un ángulo de disparo de 30 grados, mínimo), el voltaje pico será:

$$\text{Voltaje de falla, pico} = 0.866 \times 1.35 \times U_{CA} + U_{CA} \times \sqrt{2} \\ \approx 2.58 \times U_{CA}$$

Donde:

U_{CA} = Voltaje de alimentación CA, RMS, línea a línea

Como regla general, el voltaje de falla es media onda sinusoidal a una frecuencia más baja. El valor RMS del voltaje de falla será:

$$\text{Voltaje de falla, RMS} = 2.58 \times U_{CA} \times 1/\sqrt{2} \\ \approx 1.8 \times U_{CA}$$

Aunque este tipo de falla no es común, requerirá la reducción del voltaje nominal del fusible. Esto significa que el voltaje nominal del fusible debe ser:

$$U_N \geq 1.8 \times U_{CA}$$

Donde:

U_N = Clasificación de voltaje del fusible

Si es necesario calcular I^2t (principalmente para fallas internas únicamente), el cálculo del voltaje de I^2t con dos fusibles en la misma trayectoria de cortocircuito dará:

$$\text{Voltaje de } I^2t = 1.8 \times 0.5 \times 1.3 U_{CA} \\ \approx 1.2 \times U_{CA}$$

Para los otros dos tipos de falla del inversor, el voltaje de falla será únicamente voltaje CD y el voltaje máximo de falla de CD será:

$$U_{CD} = 0.866 \times 1.35 \times U_{CA} \\ \approx 1.1 \times U_{CA}$$

Un fusible de CA puede funcionar en condiciones de CD con alguna limitación en la tensión de línea, la corriente de falla disponible mínima y la constante de tiempo.

Consulte la sección *Fusibles de CA en aplicaciones de circuitos de CD*.

Durante la falla de disparo de CD (Figura J6), las únicas impedancias en el circuito están en el motor y en el brazo del inversor. La corriente de falla prospectiva mínima generalmente es muy grande y la constante de tiempo del circuito es pequeña (10 a 25 ms). En estas condiciones, con dos fusibles en serie, el valor de I^2t comúnmente es igual al valor obtenido bajo un voltaje CA de I^2t de:

$$\text{Voltaje de } I^2t = U_{CD} \times 1/\sqrt{2} \times 0.5 \times 1.3 \\ = 1/\sqrt{2} \times 1.1 \times 0.5 \times 1.3 \times U_{CA} \\ \approx 0.5 \times U_{CA}$$

Para estar seguros de los valores calculados, debe estar disponible toda la información del motor y otras impedancias en el circuito.

En caso de una disminución o pérdida total de la alimentación de CA, la situación empeora (Figura J5). El nivel de corriente de falla puede ser muy bajo y la impedancia del transformador da constantes de tiempo grandes.

Con el fin de seleccionar fusibles que puedan funcionar correctamente bajo estas condiciones, es necesario contar con información del motor y la impedancia del inversor, además de la del transformador.

Resumen de la selección de tensión para impulsores regenerativos

La combinación de tensión de línea y voltaje de carga requiere que:

Voltaje del fusible $U_N \geq 1.8 \times U_{CA}$ (línea a línea) — por ejemplo:

- Sistema de 110 V: fusible de 200 V
- Sistema de 380 V: fusible de 690 V
- Sistema de 690 V: fusible de 1250 V

Para mayor información, póngase en contacto con el departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

K: Fusibles para protección de equipo inversor

Existen muchos tipos de equipos inversores. Algunos simplemente convierten corriente CD a corriente CA (por ejemplo, los inversores PV) o corriente CA a corriente CD (esto también se puede realizar con un rectificador), o convierten corriente CA a corriente CD y nuevamente a CA (por ejemplo, impulsores de motores de velocidad variable, VFD, y fuentes de alimentación ininterrumpida, UPS).

Para su funcionamiento, los inversores VFD y UPS conmutan (ON-OFF) la corriente CD de manera predeterminada. Los primeros inversores que empleaban tiristores eran comúnmente tipo McMurray (Figura K1). Una vez activados (ON), los tiristores permiten el paso de corriente hasta que la caída de tensión a través de ellos se invierte, mediante de un gran número de componentes para conmutar los dispositivos. Los tiristores de conmutación también requieren protección.

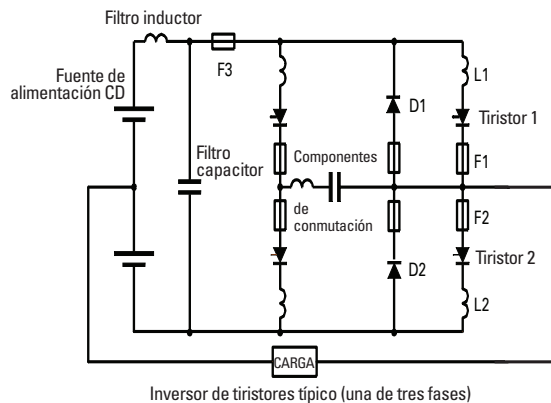


Figura K1. Inversor McMurray

Incluso con la protección del fusible F3 en el circuito CD, es mejor usar protección para los tiristores con los fusibles F1 y F2. Para garantizar la protección en estos circuitos, es necesario emplear los fusibles más rápidos disponibles (y continuar cumpliendo todo el dimensionamiento de corriente), que también tienen una clasificación de voltaje CD al menos tan alta como la tensión CD del circuito.

La clave para la selección de fusibles para inversores es elegir la velocidad más alta disponible que cumpla con los requisitos de dimensionamiento de corriente y voltaje.

Selección del voltaje

Los fusibles del inversor deben tener una clasificación de voltaje CD de al menos la tensión del circuito de alimentación. Aunque en la mayoría de las condiciones de falla habrá dos fusibles conectados en serie, estos no compartirán la tensión por igual. Además, en algunas situaciones de falla, la tensión en el circuito CD puede exceder hasta 30% el valor nominal durante un corto periodo de tiempo.

Selección de la corriente

Como se muestra en los diagramas del circuito inversor, en varios lugares se pueden instalar fusibles. Al igual que con los circuitos impulsores CD, el uso de fusibles de línea de CD da como resultado la más alta clasificación de corriente, y la protección más eficaz está determinada por la mejor ubicación de los fusibles en el circuito.

Ya que los circuitos inversores contienen componentes de alta frecuencia para conducir la corriente y los espacios físicos son compactos, los efectos de proximidad pueden influir en los fusibles, por lo que debe tenerse en cuenta un margen mayor en la capacidad de conducción de corriente.

Selección de la I^2t

Debido a la magnitud de la corriente de falla del capacitor y la baja inductancia del circuito, el índice de incremento de corriente podría ser muy alto. La elección del criterio adecuado para el cálculo de I^2t no es sencillo. Es posible que no esté disponible información del dispositivo para tiempos menores a 3 ms ni información del fusible para estas condiciones. El desempeño del fusible también variará ligeramente dependiendo del tamaño del capacitor, la inductancia y resistencia del circuito, además de la tensión CD de enlace.

Un fusible para la I^2t más baja que cumpla con los requisitos de dimensionamiento de la corriente será la mejor elección para garantizar la protección del dispositivo. Incluso si no se garantiza la protección del dispositivo, sin duda este fusible limitará el daño a todos los componentes del circuito.

Es especialmente importante seleccionar un fusible con baja I^2t si el capacitor tiene un valor bajo. Cuando se produce un cortocircuito en el inversor, la corriente aumenta rápidamente hasta un pico y luego disminuye, mostrando una forma de onda que es típica de la descarga de un capacitor. Es importante que el fusible se haya abierto e interrumpido la falla antes que la tensión en el capacitor haya disminuido a un valor bajo. Si el fusible funcionara a una tensión baja en el capacitor, podría no haber desarrollado suficiente resistencia de aislamiento para soportar la tensión CD del circuito cuando se restablezca el servicio.

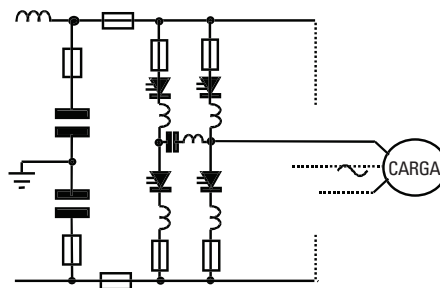


Figura K2. Circuito inversor GTO

Con el desarrollo del tiristor Desactivado por Compuerta (GTO), fue posible interrumpir (OFF) la corriente CD sin el uso de componentes de conmutación (como se requiere en el inversor McMurray, que usa tiristores). Cabe señalar que al simplificar los complicados circuitos de disparo, se lograron considerables ahorros de espacio y costos, y también las pérdidas de energía se redujeron.

Aunque los GTO son más caros que los tiristores, el costo adicional es compensado por la reducción de componentes. En términos de protección, hay poca diferencia en los parámetros de selección entre un inversor que usa tiristores y otro que usa GTO. Sin embargo, los circuitos GTO son por naturaleza más confiables, ya que tienen menos componentes de potencia a proteger.

El IGBT como dispositivo de conmutación

La llegada del Transistor Bipolar de Compuerta Aislada (IGBT) como dispositivo de conmutación ha hecho que los circuitos de control sean mucho más sencillos y se haya reducido la disipación de potencia en las secciones de conmutación de potencia. La mayor capacidad de frecuencia de conmutación y la facilidad de control permiten un uso más eficiente de las técnicas de modulación por ancho de pulso, así como una forma de onda de salida mejorada. Sin embargo, el circuito IGBT plantea diferentes problemas de protección.

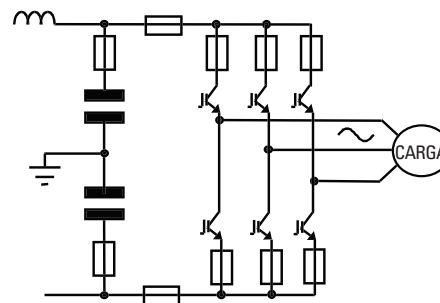


Figura K3. Circuito inversor IGBT

Para reducir las pérdidas por conmutación, la inductancia del filtro capacitor y los IGBT debe ser lo más baja posible. Esto se logra mediante una disposición cuidadosa de la barra de alimentación que con frecuencia excluye el uso de fusibles.

L: Ejemplos resueltos

Debido al diseño del elemento de conmutación de silicio, un módulo IGBT puede limitar la corriente solo durante un corto período de tiempo. Además, a menudo es posible detectar corrientes de falla y poner inactivo (OFF) el IGBT antes de que ocurra el daño. Sin embargo, si el IGBT no se pone en estado inactivo (OFF) antes de que el dispositivo se dañe, el silicio se fundirá y evaporará.

Existe otro tipo de falla con los módulos IGBT de plástico que ocurre antes de que el silicio se funda. Los cables internos de los IGBT y otros componentes están fabricados con cables de aluminio delgado. Estos cables se funden y se arquean en condiciones de falla, lo que provoca que la carcasa del módulo se desprenda de la base. Por tanto, la protección con fusibles también debe incluir la protección de los cables y la carcasa del módulo, así como de los dispositivos. Desafortunadamente, a menudo no se proporciona información de I^2t para módulos IGBT.

Protección de circuitos impulsores

Si se causan daños al dispositivo IGBT o a los cables de conexión, los circuitos de control de la compuerta pueden verse involucrados con la alta tensión y la corriente del circuito de alimentación. Para evitar, o limitar, el daño a los circuitos de control, se deben utilizar en los circuitos impulsores fusibles miniatura con una alta capacidad de interrupción. Los fusibles de tubo de vidrio con baja capacidad de interrupción no son adecuados.

Transistores bipolares de potencia y par Darlington

Es difícil proteger con fusibles los transistores de potencia. El transistor de potencia generalmente opera extremadamente cerca de sus límites de corriente y voltaje. Una pequeña desviación del área de operación segura afectará la funcionalidad del transistor e incluso un fusible ultrarrápido no reaccionará con suficiente rapidez para proteger el dispositivo. Sin embargo, al igual que los IGBT, cuando se pierde la funcionalidad del transistor, la corriente está limitada únicamente por la baja resistencia del silicio dañado. Esto da como resultado corrientes muy altas que fundirán cualquier cable de conexión, y en el caso de configuración de montaje a presión, fundirán el silicio. Los arcos eléctricos resultantes harán que falle el empaque, con resultados catastróficos. Y aunque los fusibles no pueden dar protección al dispositivo, es esencial utilizar fusibles para prevenir la ruptura de la carcasa y aislar el circuito.

Ejemplos resueltos

La información precedente se puede entender mejor mediante ejemplos típicos para seleccionar fusibles Bussmann series que cumplan con los requisitos de protección.

Ejemplo 1: Impulsor CD con tiristor

Información básica

Nota: No se incluye información de carga cíclica en este ejemplo.

- Impulsor de Frecuencia Variable (VFD) de 500 Hp
- Motor: Voltaje nominal de 660 V_{CD}, corriente máxima de 600 A, CD
- Transformador de alimentación de 750 kVA, impedancia de 5%
- Tensión de alimentación de 480 V_{CA}, RMS
- La protección contra sobrecarga es proporcionada por un circuito limitador de corriente (control directo del disparo del tiristor) con un tiempo de respuesta de 25 ms.
- Temperatura ambiente máxima de 40 °C (104 °F), ventilación por convección
- El circuito es un puente de 3 fases, con tiristores, 1 tiristor por brazo.
- Características del tiristor:
 - I^2t : 120,000 A²s
 - Voltaje pico inverso: debe soportar 1600 V (U_{rm})

Diseño básico

Para una protección óptima, se considerará la protección del dispositivo con seis fusibles (1 por tiristor).

Ya que los fusibles son únicamente para protección contra cortocircuito, se trata simplemente de coordinar las clasificaciones de corriente I^2t , corriente pico y las clasificaciones de corriente máximas, RMS, del fusible. La corriente máxima, RMS, a través de cada tiristor está dada por el factor correspondiente al diseño del circuito multiplicado por la corriente CD de carga (consultar el apartado Circuitos rectificadores típicos, Figura F5, I_2):

$$= 0.58 \times 600 \text{ A}$$

$$= 348 \text{ A}$$

Para este ejemplo, se requiere un fusible con cuerpo cuadrado. Del catálogo de fusibles con cuerpo cuadrado, 690 V, 400 A y tamaño 00, se selecciona inicialmente el fusible Bussmann series con número de catálogo 170M2621. De la gráfica de clasificación de temperatura (Figura E1, sección *Determinación de las clasificaciones de amperaje de los fusibles*), a 40 °C (104 °F) se requiere una reducción al 90%. No se requerirán otros factores de reducción térmica.

$$0.9 \times 400 \text{ A} = 360 \text{ A}$$

Como se determinó, la corriente máxima a través de cada tiristor es de 348 A, entonces la clasificación de corriente máxima permitida para el fusible seleccionado sería adecuada.

A continuación, se debe confirmar que la I^2t del fusible es inferior a la I^2t que soporta el dispositivo.

Para el fusible 170M2621, Bussmann series, seleccionado, la I^2t total es 125,000 A²s a 660 V. Al observar en la hoja de datos el factor para I^2t con respecto a la tensión aplicada, se encuentra que el valor de I^2t ajustado a 480 V (ver Figura L1) es menor que la I^2t que soporta el tiristor:

$$\begin{aligned} I^2t \text{ a } 480 \text{ V} &= K \times I^2t && \text{a la clasificación de voltaje del fusible} \\ &= 0.7 \times 125,000 \text{ A}^2\text{s} \\ &= 87,500 \text{ A}^2\text{s} && \text{muy por debajo de la que soporta el tiristor} \end{aligned}$$

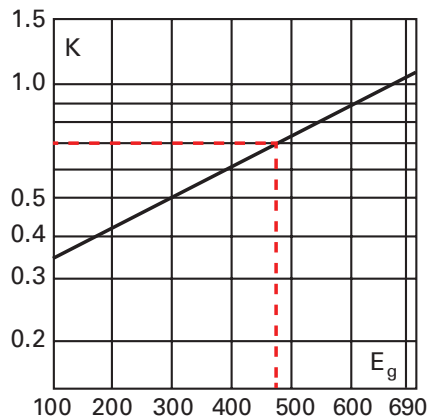


Figura L1. Referencia: Hoja de datos núm. 720013, Bussmann series. I^2t de interrupción total a tensión nominal

L: Ejemplos resueltos

Al observar la curva de tensión de arco eléctrico de la hoja de datos núm. 720013, Bussmann series, Figura L2, se confirma que la tensión de arco eléctrico de 1000 V del fusible es menor que la clasificación de voltaje pico inverso, 1600 V, del tiristor.

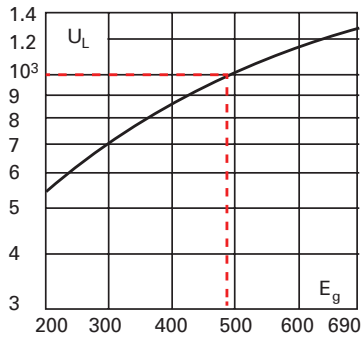


Figura L2. Referencia: Hoja de datos núm. 720013, Bussmann series. Tensión de arco eléctrico, pico, a la tensión aplicada

Por lo tanto, se confirma que el fusible 170M2621, Bussmann series, funciona en esta aplicación. Si la disipación de energía (pérdida de watts) del equipo es crítica y no hay restricciones de espacio, es posible usar una solución alterna.

Al seleccionar un fusible con una clasificación de corriente más alta y usarlo a una corriente mucho menor a su capacidad, la disipación de energía (pérdida de watts) será considerablemente menor. Para este ejemplo, podemos elegir un fusible de cuerpo cuadrado, 690 V, 500 A, tamaño 2 (por ejemplo, el fusible con número de catálogo 170M5010, Bussmann series). Aunque la I^2t es 145,000 A²s a 660 V, se reducirá a 101,000 A²s a 480 V, valor que también es menor a la I^2t que soporta el dispositivo.

La disipación de energía (pérdida de watts) del fusible 170M2621, Bussmann series, 400 A, aplicado a 348 A es:

$$\begin{aligned} \% \text{ de corriente de carga} &= \text{corriente de carga/clasificación de corriente} \times 100 \\ &= 348 \text{ A}/400 \text{ A} \times 100 \\ &= 87\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de watts a } 87\% &= K_p \times \text{pérdida de watts a } 100\% \text{ de la clasificación} \\ &\text{de corriente del fusible} \\ &= 0.75 \times 70 \text{ W} \quad [75\%, \text{ Figura L3}] \\ &= 53 \text{ W} \end{aligned}$$

Si el fusible de 500 A, cuerpo cuadrado, tamaño 2 se aplica a 348 A, entonces la pérdida real de watts calculada a continuación se reducirá a un valor por debajo de la disipación de energía ajustada que se encontró para el fusible 170M2621, Bussmann series, de 400 A:

$$\begin{aligned} \% \text{ de corriente de carga} &= \text{corriente de carga/clasificación de corriente} \times 100 \\ &= 348 \text{ A}/500 \text{ A} \times 100 \\ &= 70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de watts a } 70\% &= K_p \times \text{pérdida de watts a } 100\% \text{ de la clasificación} \\ &\text{de corriente del fusible} \\ &= 0.45 \times 75 \text{ W} \quad [45\%, \text{ Figura L3}] \\ &= 34 \text{ W} \end{aligned}$$

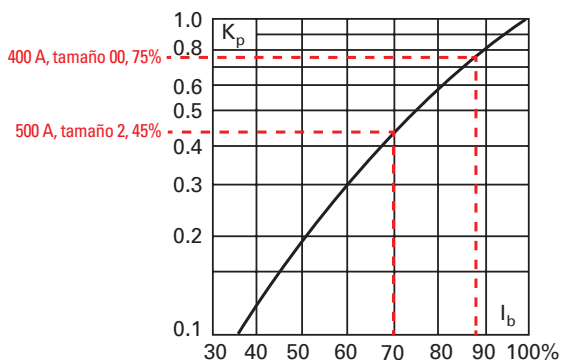


Figura L3. Referencia: Hojas de datos núm. 720013 y núm. 720014, Bussmann series, pérdida de watts al porcentaje de la corriente de carga de la corriente nominal.

Como se usan seis fusibles en este ejemplo, la energía total ahorrada al utilizar fusibles tamaño 2, físicamente más grandes, será:

$$\begin{aligned} &= (53 - 34) \times 6 \\ &= 114 \text{ watts} \end{aligned}$$

Ejemplo 2: Fuente de alimentación CD, alta potencia, alta corriente, con diodos redundantes

Un circuito rectificador debe proporcionar un suministro de 7,500 A, 80 V_{CD}, a partir de una fuente de 50 Hz.

Información básica

- Suministro de tensión nominal de 80 V_{CD}
- Salida de corriente máxima de 7,500 A
- Puente de diodos, 3 fases, con 6 diodos en paralelo por brazo
- Sobrecarga de 200% durante 1 minuto, 1 vez al mes
- Temperatura ambiente máxima de 55 °C (131 °F) con enfriamiento por aire forzado de 4 m/s
- Barras de alimentación de 1 A/mm²
- Clasificación de los diodos:
 - Clasificación media máxima (convección libre, se especifica disipador de calor): 1000 A
 - Clasificación I^2t , 10 ms, 1,000,000 A²s, soportan un voltaje pico inverso (U_{rm}): 500 V
 - Corriente de falla prospectiva de CA, máxima: 125,000 A, RMS, sim.

Requisitos de protección

Los fusibles deben proteger a los diodos contra fallas internas y aislar los diodos con falla sin interrumpir el suministro de alimentación.

Detalles de diseño

Los requisitos de protección para esta aplicación requieren fusibles para los dispositivos semiconductores; además, el diseño debe garantizar la continuidad en caso de falla de un dispositivo semiconductor de algún brazo del puente. La corriente RMS máxima a través de cada brazo del puente está dada por el factor correspondiente al diseño del circuito multiplicado por la corriente de carga de CD (ver Figura E5).

$$= 0.58 \times 7500 \text{ A}$$

$$= 4350 \text{ A (por brazo del puente rectificador)}$$

Ahora se puede calcular la corriente RMS máxima a través de cada diodo (o fusible) en un brazo del rectificador, considerando 1 diodo defectuoso, un intercambio no uniforme de corriente de 10% y 6 diodos en paralelo por brazo del puente:

$$= 4350 \text{ A}/((n - 1)/(1 + s))$$

$$= 4350 \text{ A}/((6 - 1)/(1.0 + 0.1))$$

$$= 966 \text{ A (por diodo de cada brazo del puente rectificador)}$$

El fusible seleccionado debe tener una clasificación de corriente superior a 966 A después de la aplicación de las reducciones térmicas (por alta temperatura ambiente y enfriamiento de aire forzado). En la sección *Determinación de las clasificaciones de amperaje de los fusibles* (página 11), encontramos los siguientes factores de corrección basados en la información de aplicación dada:

$$K_e = 1 \quad [\text{densidad de corriente de } 1 \text{ A/mm}^2, \text{ no requiere ajuste}]$$

$$K_t = 0.85 \quad [\text{Figura E1, temperatura ambiente de } 55 \text{ °C (131 °F)}]$$

$$K_v = 1.2 \quad [\text{Figura E3, flujo de aire forzado de } 4 \text{ m/s}]$$

L: Ejemplos resueltos

La corriente nominal (I_n) del fusible seleccionado debe ser:

$$I_n \geq I_{RMS} / (K_e \times K_f \times K_v)$$

$$\geq 966 \text{ A} / (0.85 \times 1.2 \times 1)$$

$$\geq 947 \text{ A}$$

Para esta aplicación de bajo voltaje, con un diodo de bajo voltaje pico inverso, se requiere un fusible de bajo voltaje UL para circuitos derivados o un fusible suplementario o un fusible norma británica.

Con base en una fuente de alimentación de 950 A, 240 V_{CA}, se requeriría el uso de tres fusibles en paralelo, UL o norma británica, de 350 A. Nota: El NEC 240.8 excluye la instalación en campo de fusibles en paralelo. Para evitar fusibles en paralelo, se debe elegir el fusible ultrarrápido estilo americano FWA, Bussmann series. Esta opción de fusible es la elegida para consideraciones de sobrecarga.

Sobrecarga

El fusible seleccionado también debe soportar una sobrecarga de 200% (el doble de la corriente de carga continua) durante 60 segundos, 1 vez al mes. Usando la Tabla E1, Parte 2, página 12, de esta guía de aplicación, es posible seleccionar un fusible de hasta 80% de la curva de tiempo-corriente a un tiempo de operación de 60 segundos:

$$I_{m\acute{a}x} < 80\% \times I_t$$

$$< 0.8 \times 3000 \text{ A}$$

$$< 2400 \text{ A}$$

O

$$I_t \text{ a } 60 \text{ s} > I_{RMS} \times 2 / 80\%$$

$$3000 \text{ A} > 2415 \text{ A} \quad \text{¡VERDADERO!}$$

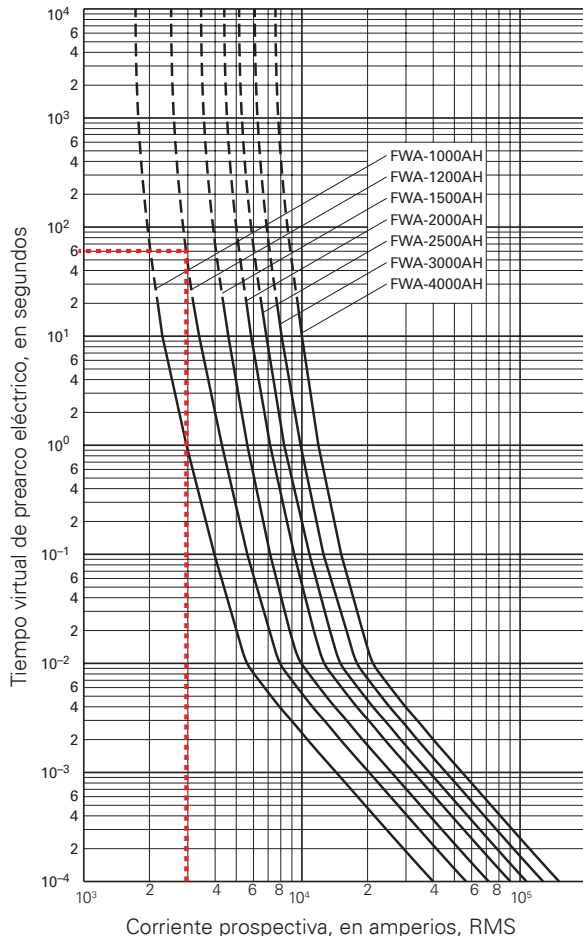


Figura L4. Referencia: Hoja de datos núm. 35785301, Bussmann series, curva de tiempo-corriente; tiempo de operación 60 segundos

Tensión de arco eléctrico

De la hoja de datos del fusible FWA-1200AH, Bussmann series, se puede observar que la tensión de arco eléctrico de 190 V es menor que la capacidad de voltaje inverso de 500 V de los diodos elegidos (Figura L5).

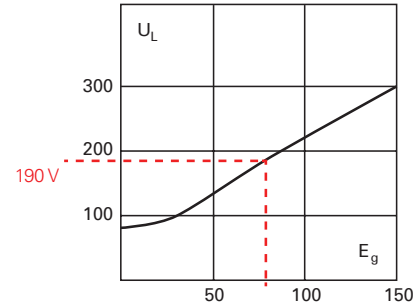


Figura L5. Referencia: Hoja de datos núm. 720001, Bussmann series, tensión de arco eléctrico a la tensión aplicada

Protección contra cortocircuito

La I^2t del fusible FWA-1200AH, Bussmann series, es 730,000 A²s a 130 V, que se reducirá de la siguiente manera (ver Figura L6):

$$I^2t \text{ a } 80 \text{ V} = K \times I^2t \quad \text{[a la clasificación de voltaje del fusible]}$$

$$= 0.75 \times 730,000 \text{ A}^2\text{s}$$

$$= 548,000 \text{ A}^2\text{s} \quad \text{[inferior a lo que soporta el tiristor]}$$

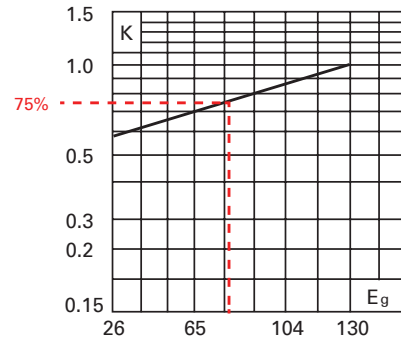


Figura L6. Referencia: Hoja de datos núm. 720001, Bussmann series, I^2t total de interrupción a la tensión aplicada

Para garantizar la continuidad de la alimentación cuando falla algún dispositivo, la I^2t total de interrupción del fusible en serie con el dispositivo con falla debe ser menor que la I^2t de prearco combinada (270,000 A²s cada uno) de los seis fusibles en serie con la falla (en un brazo diferente del puente):

$$I^2t \text{ de interrupción} < I^2t \text{ de pre-arco eléctrico} \times n^2$$

$$548,000 < 270,000 \text{ A}^2\text{s} \times 6^2$$

$$< 9,720,000 \text{ A}^2\text{s}$$

Esto confirma que el fusible seleccionado protegerá los dispositivos sugeridos.

Ejemplo 3: Aplicación de impulsor regenerativo

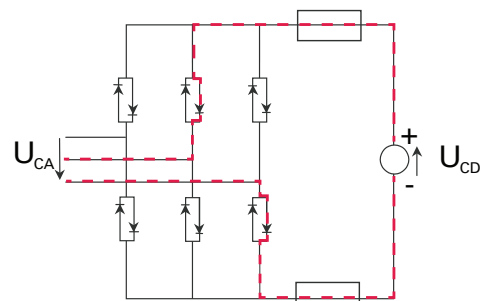


Figura L7. Ejemplo de circuito impulsor regenerativo (ver figuras J1 a J6, páginas 20 y 21)

Información básica (Figura L7)

- Impulsor de alta inercia, motor CD de 500 Hp
- Motor: voltaje nominal de 500 V_{CD}, corriente CD máxima de 750 A
- La energía es suministrada por una red eléctrica trifásica de 380 V_{CA}
- Las barras de alimentación están clasificadas entre 1 y 1.6 A/mm²
- Sistema de enfriamiento con temperatura ambiente de 35 °C (95 °F) sin enfriamiento por aire forzado

Aunque las sobrecargas esperadas serán cíclicas, los impulsores regenerativos no serían rentables si la carga no se detuviera periódicamente.

Por simplicidad, los detalles de la carga cíclica no se incluyen en este ejemplo. En la práctica, las reglas para la carga cíclica explicadas en esta guía deben seguirse y aplicarse a la clasificación de corriente, así como las clasificaciones descritas en este ejemplo. Un suministro de 380 V_{CA} proporcionará una tensión CD nominal de 500 V (comúnmente 135% de la tensión, RMS, de línea) a partir de un puente de seis pulsos.

Para maximizar el nivel de protección en esta aplicación, el mejor lugar para instalar cada fusible es en serie con cada semiconductor (dispositivo o brazo). La corriente RMS, máxima, a través de cada brazo del puente está dada por el factor adecuado para el diseño del circuito multiplicado por la corriente CD de carga (ver Circuitos rectificadores típicos, Figura F5, I₂):

$$= 0.58 \times 750 \text{ A}$$

$$= 435 \text{ A}$$

El único punto a considerar para la corriente continua, máxima, permitida será el factor K_t, por temperatura ambiente. Factor que ajusta la clasificación de corriente mínima del fusible:

$$K_t = 0.94 \quad [\text{Figura E1, temperatura ambiente de } 35 \text{ °C (95 °F)}]$$

$$I_n = I_r / K_t$$

$$= 435 \text{ A} / 0.94$$

$$= 462 \text{ A}$$

Se debe elegir el fusible con clasificación próxima mayor a 462 A. En la mayoría de los tipos de fusibles será de 500 A.

Consideración para la clasificación de voltaje

El peor de los casos para la clasificación de voltaje en un impulsor regenerativo es resultado de una falla de conmutación. Por tanto, el fusible requerirá una clasificación de voltaje CA de por lo menos:

$$= (0.866 \times 1.35 \times V_{CA} + 1.414 \times V_{CA}) \times 1/\sqrt{2}$$

$$= 1.8 \times 380 \text{ V}_{CA}$$

$$= 684 \text{ V}_{CA}$$

En este caso, podríamos seleccionar un fusible de 690 V_{CA}.

Consulte la sección *Fusibles para protección de impulsores regenerativos*, página 20.

La selección del fusible se basa en los requisitos de montaje, las restricciones físicas y las aprobaciones requeridas, entre otros aspectos.

Nota acerca de la clasificación de voltaje

Si un sistema impulsor debe cumplir con las tensiones estándar internacionales (no con las antiguas tensiones), el impulsor debe estar clasificado para un suministro de 400 V_{CA} con el voltaje CD mantenido al mismo voltaje utilizando el control por ángulo de fase de los dispositivos del puente. En este caso, puede ser necesario usar un fusible de mayor voltaje.

Durante muchos años, no hubieron estándares internacionales para fusibles ultrarrápidos. A medida que más fabricantes producían estos fusibles, muchos aspectos dimensionales se volvieron comunes. Los fusibles ultrarrápidos son ahora un producto maduro con estándares internacionales que abarcan dimensiones y métodos de prueba.

En Estados Unidos

Las dimensiones comunes se convirtieron en una "norma de la industria," pero hasta que se incluyeron en la norma EN 60269, no formaban parte de ninguna norma publicada. Las pruebas se realizaban según las especificaciones del cliente; o cuando se requería un fusible Reconocido UL, las pruebas realizadas eran similares a las de otras normas UL.

En la actualidad, la norma UL 248-13 define las condiciones y métodos de prueba. Aunque las normas UL y EN (IEC) son similares, existen pequeñas diferencias que están más allá del alcance de esta guía.

La diferencia principal entre las normas UL y las normas IEC es la clasificación de voltaje. Esta diferencia es común a muchas especificaciones eléctricas y se basa en un largo historial. Brevemente, las normas europeas requieren pruebas de voltaje con cierta tolerancia por encima del voltaje nominal del fusible, lo que garantiza un margen de seguridad. En Estados Unidos, la práctica requiere probar los fusibles a la tensión nominal. Por tanto, es una práctica de diseño usar la máxima tensión disponible para determinar el voltaje nominal de los componentes.

En Europa

Los requisitos de prueba de la norma BS88, Parte 4, 1976, son los mismos que los de la norma IEC 60269-4, con dimensiones incluidas, para fusibles ultrarrápidos de uso común en el Reino Unido. La norma IEC 60269-4 incluye condiciones de prueba para circuitos CA y CD que son más adecuadas para fusibles ultrarrápidos que para fusibles para circuitos industriales. La norma alemana VDE 0623, Parte 23, es específica para la prueba de fusibles ultrarrápidos. Las dimensiones se incluyen en la norma DIN 43620 (la misma que para fusibles industriales) y la norma DIN 43653 (cuerpo cuadrado europeo, ultrarrápidos). Los fusibles cilíndricos generalmente están dimensionados por la norma francesa NF C63211.

La versión más reciente de la norma EN 60269-4 incluye dimensiones de fusibles ultrarrápidos tomadas de todas las normas europeas y americanas previas, así como pruebas estandarizadas para fusibles utilizados en inversores de fuentes de voltaje (VSI). En la actualidad, esta norma reemplaza a todas las normas anteriores.

Gama de productos Bussmann series

Los diferentes tipos de construcción provienen de diversas partes del mundo. Como resultado, los fusibles ultrarrápidos Bussmann series se pueden agrupar en cuatro estándares reconocidos mundialmente:

- Estilo americano — Navaja tipo americano y extremo romo
- Norma europea — Cuerpo cuadrado
- Norma británica — Cuerpo redondo, BS88
- Fusibles de casquillo — Cilíndricos

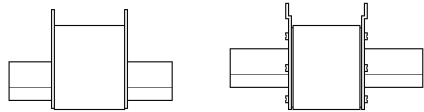
Estilo americano — Navajas tipo americano y extremo romo

Con el paso de los años, el mercado americano ha adaptado su propio tipo de montaje para fusibles ultrarrápidos. Aunque todavía no existe una norma publicada con este fin, la industria se ha estandarizado la distancia entre centros de montaje que aceptan fusibles Bussmann series de Eaton.

Anexo 1: Normas internacionales

En muchos sentidos, los fusibles estilo americano son similares a los fusibles estilo europeo. Se fabrican en versiones con navajas y contactos roscados, pero tienen dos diferencias principales: los fusibles estilo americano generalmente se fabrican en tubo de fibra mineral y la distancia entre centros de fijación varía según el voltaje nominal y la corriente nominal.

Norma europea



DIN 43620 - fusible tipo navajas



DIN 43653 - fusible con terminales para atornillar

A excepción de Reino Unido, en Europa se prefieren dos tipos de montaje para aplicaciones de fusibles ultrarrápidos: de navajas y de extremo romo.

Fusibles tipo navajas

Dos normas alemanas cubren la mayoría de montajes para los estilos habituales de fusibles ultrarrápidos tipo navajas, Bussmann series.

Son:

- El estilo DIN 43620 se utiliza para fusibles gG (antes denominado gL). También se utiliza para fusibles ultrarrápidos. Sin embargo, un fusible ultrarrápido comúnmente alcanza una temperatura más alta durante su operación continua que un fusible gG común. Como resultado, el fusible ultrarrápido estilo DIN 43620 no puede alcanzar una clasificación suficiente sin exceder los límites de temperatura del portafusible. Navajas con orificios para montar el fusible directamente en la barra de alimentación son la solución a este problema.
- La norma DIN 43653 llegó en 1973 con la posibilidad de montar el fusible directamente en la barra de alimentación. Al mismo tiempo, aparecieron los nuevos portafusibles. Para las clasificaciones de voltaje más comunes, los fusibles con navajas de acuerdo a la norma DIN 43653 siempre tendrán centros de fijación de 80 mm o 110 mm.

Fusibles con contactos roscados



Al igual que el estilo DIN 43653, el estilo de contacto con extremo romo se ha convertido en un estilo de fusible ultrarrápido muy eficiente y popular debido a su flexibilidad de instalación y su capacidad de conducción de corriente, que es la más eficiente de todos los tipos de fusibles. En la actualidad, es un estilo estándar en la industria y está incluido en la norma internacional IEC 60269-4-1.

Norma británica - BS88



No es sorprendente que este tipo de montaje haya encontrado su uso principalmente, pero no exclusivamente, en el Reino Unido y los países de la Comunidad británica (Commonwealth). Además, los fabricantes en Norteamérica han comenzado a especificar fusibles estilo británico (en particular, para aplicaciones de equipo UPS con tensiones de 240 V o menos) debido a su tamaño, rendimiento y costo. Las dimensiones señaladas en la norma BS88 para fusibles ultrarrápidos no son físicamente intercambiables con las de la norma para fusibles industriales.

Fusibles cilíndricos



Frecuentemente denominados fusibles de casquillo, este tipo de fusibles se usa y acepta internacionalmente. En la mayoría de los casos, los fusibles cilíndricos ultrarrápidos, Bussmann series, tienen dimensiones que cumplen con la norma IEC 60269. Estos fusibles han demostrado ser muy populares en aplicaciones con clasificaciones de hasta 660 V, 100 A, debido a su facilidad de instalación. Las dimensiones estándar son 8 mm x 31 mm, 10 mm x 38 mm, 14 mm x 51 mm y 22 mm x 58 mm, y se pueden instalar en portafusibles y bloques para fusibles Bussmann series.

Anexo 2: Sistema de referencia de fusibles

Con la amplia variedad de fusibles ultrarrápidos, Bussmann series, nuestro sistema de referencia se vuelve complejo. El uso de un sistema de referencia en Europa (excepto el Reino Unido), otro en el Reino Unido y un tercero en Estados Unidos es una realidad. Se han mantenido debates acerca de reemplazarlos a todos por uno solo. Sin embargo, debido a que todos los sistemas de referencia están bien establecidos en sus respectivos mercados, se tomó la decisión de mantenerlos.

A continuación se describen detalladamente los sistemas de referencia Bussmann series.

Fusibles ultrarrápidos europeos

Un fusible típico Bussmann serie de la gama de fusibles europeos con cuerpo cuadrado podría tener el número de catálogo 170M3473. Sin embargo, esto no proporciona ninguna guía acerca de las clasificaciones o el montaje de este fusible. Aquí, el usuario deberá conocer primero las clasificaciones. Sin embargo, el tipo de montaje también es importante, por lo que utilizamos una descripción de tipo para determinar de qué estilo se trata. Los fusibles según la norma alemana DIN 43620 siempre se clasifican por tamaño, por ejemplo, DIN 3, DIN 00, etc. Para otros fusibles, según la norma DIN 43653, de extremo romo o especiales, esta descripción indicará el tipo real en cuestión. Para la referencia señalada anteriormente, la designación de tipo será la siguiente:

1*BKN/50

Para interpretar este código de tipos, hemos elaborado la siguiente guía general, que cubre la mayoría de los fusibles europeos.

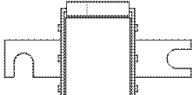
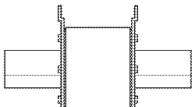
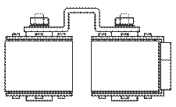
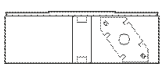
Posiciones del código de tipos del fusible

1	2	3	4	5	6	7
	1*		B	K	N	/80
Código principal	Opcional		Tipo de indicador		Distancia entre centros de fijación	
	Tamaño de cuerpo		Fijación mecánica	Posición de indicador		

Las siguientes tablas muestran las diferentes opciones para todas las posiciones del código de tipos mencionado.

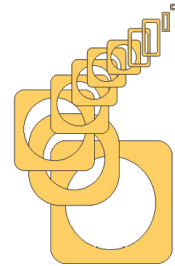
Posición 1 - Código principal

El código principal puede tener uno de los siguientes valores:

Ninguno	DIN 43653 u otro estilo	3KN/110	
DIN	DIN 43620	DIN 3	
2//	Dos fusibles en paralelo conectados con junta a tope	2//3BKN/100	
2	Dos fusibles en paralelo integrados entre placas	24BKN/85	

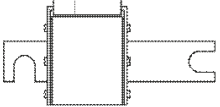
Posición 2 - Tamaño de cuerpo del fusible

0000	17 mm x 17 mm	0000U/80
000	21 mm x 36 mm	000/80
00	30 mm x 47 mm	DIN 00
0	35 mm x 45 mm	0S/55
1*	45 mm x 45 mm	1*BKN/90
1	53 mm x 53 mm	DIN 1
2	61 mm x 61 mm	2TN/110
3	76 mm x 76 mm	2//3SBKN/55
4	105 mm x 105 mm	4PKN/150
4+	115 mm x 115 mm	24+BKN/55
5	159 mm x 159 mm	5BKN/65

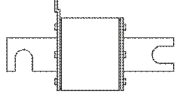
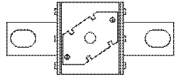



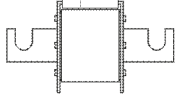

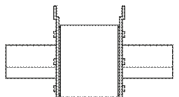


Posición 3 - Opcional

A lo largo de los años, muchos fusibles de cuerpo cuadrado han sido adaptados a las necesidades específicas del cliente. Por tanto, una gran cantidad de fusibles especiales, modificados de acuerdo a las necesidades específicas del cliente, ahora forman parte del catálogo Bussmann series. La posición 3 del código de tipos podría ser una S para especial. Para las referencias mencionadas, solicite a la División Bussmann un dibujo mecánico si aún no cuenta con él.

S	Fusible especial, hecho a medida	2SKN/210	
---	----------------------------------	----------	---

Posición 4 - Fijación mecánica

Ninguno	Navajas ranuradas tipo DIN 43653	2TN/110	
F	Navajas estilo americano o BS88	1*EKE/78	
B	Contactos roscados, rosca sistema métrico	3BKN/50	Rosca sistema métrico 
G	Contactos roscados, rosca inglesa	1GKN/50	Rosca inglesa 
D	Doble tornillo, contactos roscados, rosca sistema métrico	3DKN/65	2 x M? 
E	Navajas al ras	1EKN/86	
P	Montaje a presión	3PKN/85	
H	Navajas sin ranura (no DIN 43620)	3SHT	

Anexo 2: Sistema de referencia de fusibles

Posición 5 - Tipo de indicador

Es frecuente que un fusible tenga un indicador para señalar que está abierto. Algunos indicadores están integrados al fusible y otros tienen que instalarse de manera externa. Los indicadores también pueden activar microinterruptores de disparo, opcionales, para indicación a distancia. En la Posición 5 del Código de tipos, las siguientes opciones son estándar:

Ninguno	Indicador visual, estándar	1/80	
U	Sin indicador	2U/110	
K	Indicador tipo adaptador montado en el fusible, preparado para microinterruptor	3KN/100	
T	Indicador tipo tarjeta, preparado para microinterruptor	2TN/110	

Posición 6 - Posición del indicador

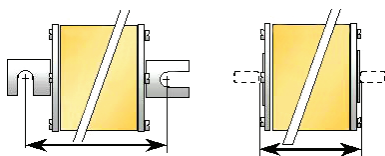
La posición del indicador varía de fusible a fusible. El montaje estándar es la llamada Posición N (norte) y las posiciones alternativas son E (este), W (oeste) y S (sur):

(Proyección europea)

N	Posición Norte (estándar)	2KN/110	
E	Posición Este	1FKE/78	
W	Posición Oeste	2KW/110	
S	Posición Sur	2SKS/110	

Posición 7 – Distancia entre centros de fijación

Indica la distancia entre centros para montaje o la longitud total de los fusibles con contactos de extremo romo, expresada en milímetros.



Fusibles ultrarrápidos BS88

Desde que los fusibles se produjeron por primera vez con las dimensiones que se estandarizaron en la norma BS88, Parte 4, la tecnología de fusibles ha mejorado. Ahora es posible fabricar fusibles con muchas características de operación diferentes. En estas dimensiones, los fusibles ultrarrápidos Bussmann series están disponibles en dos clasificaciones de velocidad: gama T y gama F. Los fusibles se pueden seleccionar de acuerdo con los siguientes códigos.

Para fusibles rango "T"

Posiciones del código de fusibles BS88

1	2	3	4
80	L	E	T
Clasificación de corriente		Diámetro de cuerpo de fusible	
		Clasificación de voltaje o tipo de fijación	Rango "T"

Posición 1 – Clasificación de corriente

Clasificación continua de corriente, en amperios

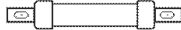
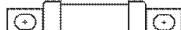



Posición 2 – Voltaje o tipo de fijación

L	Clasificación de voltaje de 240 V. Fijación según norma BS88, Parte 4	80LET	
A	Clasificación de voltaje de 660 V. Fijación de 80 mm	80AET	
C	Clasificación de voltaje de 660 V. Fijación de 110 mm	250CMT	
Ninguno	Clasificación de voltaje de 660 V. Fijación según norma BS88, Parte 4	20CT	

Posición 3 – Diámetro de cuerpo del fusible

En la norma BS88, Parte 4, los fusibles tienen diámetros distintos. La letra en la Posición 3 indica el diámetro del fusible. Con el fin de lograr una mayor clasificación de corriente del fusible, es posible conectar dos fusibles en paralelo. Para señalar que se usan dos barriles de fusible, la letra que indica el diámetro de cuerpo del fusible se repite (por ejemplo, dos fusibles con diámetro M conectados en paralelo sería LMMT).

Anexo 2: Sistema de referencia de fusibles

C	8.4 mm	6CT	
E	18 mm	35LET	
M	38 mm	315LMT	
EE	2 de 18 mm	140EET	
MM	2 de 38 mm	710LMMT	

Posición 4 — Rango "T"

El fusible rango "T", Bussmann series, tiene una "T" en la cuarta posición. Algunos fusibles de propósito especial con dimensiones "estándar" o con fijación especial pueden tener una letra alternativa en esta posición. Por ejemplo, 80LET es un fusible de 80 A, 240 V y 18 mm de diámetro. 160AET es un fusible de 160 A, 660 V, con dos barriles de 18 mm de diámetro y fijación de 80 mm.

Para fusibles rango "F"

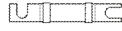
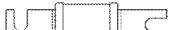

Posiciones del código de fusibles BS88

1	2	3	4
80	A	F	E
Clasificación de corriente	Rango "F"		Diámetro de cuerpo del fusible
	Voltaje y tipo de fijación		

Posición 1 – Clasificación de corriente

Clasificación continua de corriente, en amperios

Posición 2 – Voltaje y tipo de fijación

A	Clasificación de voltaje de 660 V. Fijación de 80 mm	20AFE	
C	Clasificación de voltaje de 660 V. Fijación de 110 mm	250CFM	
Sin marca	Clasificación de voltaje de 660 V. Fijación según norma BS 88, Parte 4	80FE	

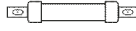
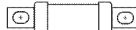



Posición 3 – Gama "F"

Los fusibles gama "F", Bussmann series (de acción más rápida que los fusibles gama "T") tienen una letra "F" en esta posición.

Posición 4 – Diámetro del cuerpo de fusible

En la norma BS88, Parte 4, los fusibles tienen diámetros distintos. El diámetro del fusible se indica por medio de una letra en la posición 4. Con el fin de lograr una mayor clasificación de corriente del fusible, es posible conectar dos fusibles en paralelo. Para señalar que se usan dos barriles de fusible, la letra que indica el diámetro de cuerpo del fusible se repite (por ejemplo, dos fusibles FM conectados en paralelo sería FMM).

Así, el 80FE es un fusible de 80 A, 600 V, con cuerpo de 18 mm de diámetro.

C	8.4 mm	6CT	
E	18 mm	35FE	
M	38 mm	200FM	
EE	2 de 18 mm	180FEE	
MM	2 de 38 mm	630FMM	

Fusibles ultrarrápidos americanos

Al igual que los fusibles europeos de cuerpo cuadrado y de cuerpo redondo, los fusibles americanos también cuentan con números de parte descriptivos. Aunque no existe un estándar dimensional americano reconocido para fusibles ultrarrápidos, existen estándares industriales aceptados que cumplen los fusibles Bussmann series.

Las siguientes tablas muestran las distintas opciones para todas las posiciones en el código de tipos.

Fusibles estándar — Tipo FW

Los fusibles pueden seleccionarse por medio de los códigos siguientes.

Posiciones del código para fusibles tipo FW

1	2	3	4	5	6
FW	X	-1000	A	H	I
Código principal	Clasificación de voltaje	Clasificación de corriente	Revisión técnica	Tipo de indicador	
				Tipo de fijación	

Posición 1 – Código principal

Todos los fusibles ultrarrápidos, estándar, tipo americano, Bussmann series, se designan con el prefijo FW.

Posición 2 – Clasificación de voltaje

Clasificación de voltaje CA del fusible

Código de letra	Volts	Ejemplo
A	130 o 150	FWA-80A
X	250	FWX-1A14F
H	500	FWH-175B
C	600	FWC-12A10F
P	700	FWP-15A14F
K	750	FWK-5A20F
J	1000	FWJ-20A14F
L	1250	FWL-20A20F
S	1500	FWS-15A20F

Anexo 2: Sistema de referencia de fusibles

Posición 3 – Clasificación de corriente

Para fusibles ultrarrápidos Bussmann series, generalmente es la clasificación de corriente en régimen continuo.

Posición 4 – Revisión técnica

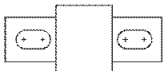


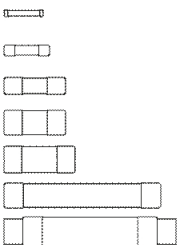
Representa el resultado de la mejora continua de los fusibles FW, Bussmann series; también representa su consolidación. Cuando existen varias revisiones vigentes, es necesario diferenciar cada revisión técnica sin cambiar los números de catálogo existentes. En coordinación con la industria de semiconductores, se utiliza un código de letras para este propósito. Por razones técnicas, en algunos casos es necesario mantener más de una revisión para algunas aplicaciones, pero la mayoría de las aplicaciones debe usar la revisión más reciente.

Posición 4	Descripción
Sin marca	Primera versión del producto
A, B, C, etc.	Versión mejorada más reciente FWP-10B

Posición 5 – Tipo de fijación

La mayoría de los fusibles FW tienen navajas centradas con orificios de montaje. Sin embargo, el montaje con contactos roscados es común, así como los tipos cilíndricos o de casquillo.

Nota: Cuando a la Posición 5 le corresponda la letra "F", la primera versión del producto se designará con la letra "A".

Vacío	Navajas estándar	FWX-90A	
H	Fijaciones con contactos roscados, rosca UNC	FWX-1000AH	
BB	Fijaciones con contactos roscados, rosca sistema métrico	FWA-2000ABB	
**F	Sin navajas, cilíndrico (de casquillo), donde ** es el diámetro en mm de las terminales del fusible	FWH-30A6F FWC-20A10F FWH-30A14F FWA-35A21F FWP-100A22F FWK-25A20F FWK-60A25F	

Posición 6 – Indicador

Por diseño, los fusibles FW, Bussmann series, no cuentan con indicación visual del estado del fusible.

Posición 6	Descripción
Vacío	Producto estándar
I	Indicación por medio de fusible con indicador, externo, adicional, tipo TI (Indicador de disparo) que señala que el fusible también acepta microinterruptores tipo MAI o tipo MBI (ver accesorios para estilo BS)
SI	Indicación mediante indicador externo que también acepta microinterruptor 170H0069

Fusibles especiales - Tipos SF y XL

Además de fusibles FW estándar, se ofrecen fusibles de propósito especial, así como versiones de mayor velocidad, como alternativa a algunos fusibles gama FW. Estos fusibles especiales se pueden seleccionar mediante los siguientes códigos.

Posiciones del códigos para fusibles tipos SF y XL

1	2	3	4	5	6	7
SF	75	X	1000		H	I
Código principal	Estilo	Revisión técnica	Tipo de indicador			
	Clasificación de voltaje	Clasificación de corriente	Tipo de fijación			

Posición 1 – Código principal

Los fusibles ultrarrápidos y los de propósito especial, tipo americano, Bussmann series, se designan con el prefijo SF o XL.

Posición 2 – Clasificación de voltaje

Generalmente, es una décima parte de la clasificación de voltaje CA del fusible. Para fusibles de propósito especial, consulte al departamento de Ingeniería de Aplicación en ventasbussmannmexico@eaton.com.

Posición 3 – Estilo

Posición 3	Descripción
F	Desempeño ultrarrápido. Frecuentemente, también significa un buen desempeño de voltaje CD.
X	Velocidad lenta, a menudo para aplicaciones de tracción.

Esto es únicamente un ejemplo de las letras utilizadas; también pueden emplearse otras.

Posición 4 – Clasificación de corriente

En fusibles ultrarrápidos estándar, comúnmente es la clasificación de corriente en régimen continuo. Para tipos especiales, esta posición puede ser solo una indicación de capacidad ya que, para aplicaciones especiales, muchas de estas designaciones se acuerdan con los OEM.

Posición 5 – Revisión técnica

Cuando se realiza una revisión técnica en productos fuera de la oferta principal de fusibles, es necesario diferenciar cada revisión técnica sin cambiar los números de catálogo existentes. En común con la industria de semiconductores, se utiliza un código de letras para este propósito. Por razones técnicas, puede ser necesario mantener más de una de estas revisiones para algunas aplicaciones, en tanto que la mayoría de las aplicaciones deben usar la revisión más reciente.

Posición 5	Descripción
Vacío	Primera versión del producto
A, B, C, etc.	Versión mejorada más reciente

Posición 6 – Tipo de fijación

La mayoría de los fusibles tipo SF y tipo XL tienen navajas centradas con orificios de montaje.

Posición 6	Descripción
Vacío	Navajas estándar
HP	Fijación al ras – rosca unificada
BB	Fijación al ras – rosca sistema métrico
Otros	De acuerdo con los fabricantes de equipo original (OEM)

Posición 7 – Indicador

Posición 7	Descripción
Vacío	Producto estándar
I	Indicación mediante un tipo externo adicional TI (Indicador de disparo), lo cual significa un fusible que también lleva microinterruptor tipo MAI o MBI (ver accesorios estilo BS).
M	Microinterruptor instalado

Anexo 3: Instalación, mantenimiento, información medioambiental y almacenamiento

Los fusibles ultrarrápidos son altamente sofisticados y requieren instalación y mantenimiento adecuados, lo que ayudará a garantizar un desempeño confiable durante toda la vida útil del fusible. Esta sección contiene información relacionada con los siguientes temas:

- Par de apriete y presión de contactos
- Alineación del montaje
- Materiales de la superficie de contacto
- Resistencia a golpes y vibraciones
- Servicio y mantenimiento
- Aspectos medioambientales

Par de apriete y presión de contactos

Los fusibles ultrarrápidos son dispositivos electromecánicos. Su correcto funcionamiento depende de la calidad de contacto entre el fusible y los cables o barras de alimentación, o entre el fusible y el portafusible. Esto no solo es importante para lograr un contacto eléctrico adecuado sino también para la correcta disipación de calor, porque los fusibles ultrarrápidos generan una gran cantidad de calor que se elimina parcialmente por conducción térmica a través de las conexiones del fusible. Una mala conexión térmica puede provocar el sobrecalentamiento del fusible y reducir su vida útil. Por tanto, es muy importante aplicar el par de apriete correcto al montar los fusibles.

Fusibles con contactos roscados

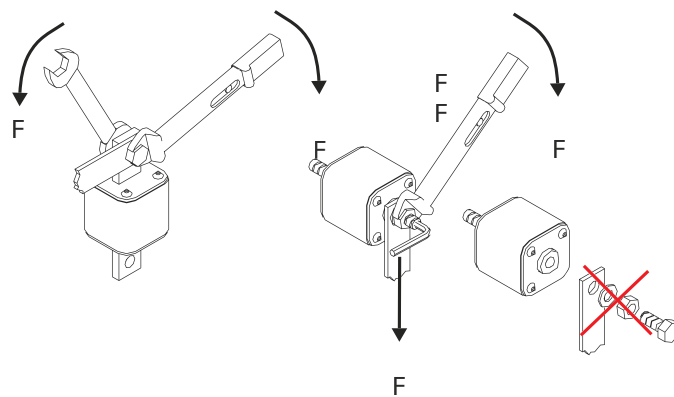
Para todos los tipos de fusibles de extremo romo, se recomienda tornillos de fijación prisioneros, de acero, grado 8.8, según la norma ISO 4026 / DIN 913 o ISO 4029 / DIN 916. Los tornillos prisioneros deben apretarse cuidadosamente aplicando un par de apriete de 5-8 N•m. Como regla general, el par de apriete en las tuercas está relacionado con la dimensión del orificio roscado en el contacto del fusible. Se recomienda una llave dinamométrica calibrada con una tolerancia máxima de $\pm 4\%$. A continuación se proporcionan los pares de apriete de tuercas recomendados:

Tamaño/tipo	Orificio roscado		Par de apriete (N•m)	
	mm	Pulgadas	Sin lubricante	Con lubricante [†]
00B	M8	—	20	10
1*B – 1*G	M8	5/16	20	10
1B – 1G	M8	5/16	20	10
2B – 2G	M10	3/8	40	20
3B – 3G	M12	1/2	50	40
23B – 23G	2 X M10	2 x 3/8	40	20
4B – 4G	4 X M10	4 x 3/8	40	20
24B – 24G	3 X M12	3 x 1/2	50	40
5B – 5G	5 X M12	5 x 1/2	50	40
FWX, FWA, KBC	—	3/8	40	20

† Lubricar con pasta #4, Rhodorsil.

Tipos especiales de contactos roscados

Los tipos especiales como el 4SB o el 24SB comúnmente tienen orificios roscados en un extremo y una placa en el otro extremo para montaje en barras de alimentación (enfriadas por agua). En este caso, los tornillos y las tuercas para el orificio roscado emplean los valores de par de apriete de la tabla, y la placa se monta en la barra de alimentación con un par de apriete de 50 N•m.



F: Establece el equilibrio

Fusibles con navajas de contacto

En general, este tipo de fusibles se divide en dos grupos principales: fusibles con navajas ranuradas, según DIN 43653, para montar directamente en barras de alimentación (o en portafusibles especiales), y fusibles con navajas sólidas, según DIN 43620, para montar en portafusibles con resorte.

Fusibles DIN 43653 con tarjeta atomillable en barra colectora

Los fusibles para montaje en barras de alimentación deben asegurarse con los tornillos/tornillos prisioneros, tuercas y arandelas lo más grande posible. Se recomienda el uso de arandelas. A los tornillos/tuercas debe aplicarse un par de apriete adecuado a su tamaño y resistencia a la tracción. Por ejemplo, M8, clase 8.8, 30 N•m (con lubricante) o 50 N•m (sin lubricante).

Fusibles DIN 43653 con tarjeta atomillable en bloques para fusibles

Los fusibles montados en bloques especiales deben apretarse de acuerdo con la especificación provista con los bloques.

A continuación, se detalla el par de apriete máximo para algunos bloques, Bussmann series:

Número de catálogo	Par de apriete, N•m (lb-in)	
	Tornillos para portafusible*	Tornillos para cables/fusibles
170H1007**	4 (35) — M6	—
170H3003 – 170H3006**	10 (88) — M8	—
	Tornillo para fijación del conductor	Tornillo para montaje del fusible
1BS101	13 (120)	8 (70)
1BS102	31 (275)	13 (120)
1BS103	31 (275)	19 (170)
1BS104	42 (375)	19 (170)
BH-1, 2, 3	—	—

* Rosca lubricada con pasta #4, Rhodorsil (Rhone-Poulenc)

** Para portafusibles 170Hxxxx, los valores anteriores se pueden aumentar 25% si no están estresadas las piezas de plástico.

Fusibles con navajas DIN 43620 en bloques para fusibles

Este tipo de portafusible está equipado con uno o más resortes para proporcionar la presión de contacto correcta en las navajas del fusible. No es posible apretarlo ni se recomienda. Para montar en el equipo el portafusible 170H3040-47, Bussmann series, aplicar un par de apriete máximo de 10 N•m.

Nota: La clasificación de amperios del portafusible puede no coincidir con la clasificación de amperios del fusible. En algunos casos, es posible igualar la pérdida de watts nominal del fusible y la corriente de carga máxima permitida para tener el portafusible correcto.

Fusibles de montaje a presión

Algunos de los semiconductores más comunes se pueden montar en una pila aplicando una fuerza de sujeción. Está disponible una gama de los llamados fusibles de montaje a presión ("Press Pack"), en tamaños de cuerpo 3P y 4P, lo que permite al usuario reducir la cantidad requerida de componentes. Esto se logra sujetando juntos el semiconductor y el fusible en un solo montaje dentro de una caja de enfriamiento por agua. La fuerza máxima de sujeción que puede soportar un fusible depende de muchos factores, tales como:

- Longitud del cuerpo del fusible y área de su sección transversal
- Gradiente de temperatura entre los contactos del fusible
- Condiciones de la carga eléctrica

Al sujetar un fusible en una aplicación, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- La fuerza de sujeción máxima aplicada a un fusible de montaje a presión no debe rebasar el valor establecido (ver la siguiente tabla), ya que podría dañar el cuerpo de cerámica.
- Para garantizar el contacto eléctrico y térmico seguros entre los contactos del fusible y la caja de enfriamiento por agua o la barra de alimentación, debe aplicarse una presión de por lo menos 2 N/mm² al área de contacto del fusible.
- Se puede aplicar una presión máxima de 15 N/mm² al área de contacto del fusible para garantizar una presión de contacto térmico seguro (tenga presente que la fuerza total no debe exceder las cantidades indicadas en la siguiente tabla).

Ejemplos de valores máximos de fuerza de sujeción

Tamaño	Enfriamiento en un extremo, kN	Enfriamiento en ambos extremos, kN
3P/55	22	30
4P/60	40	50
3P/80	30	40
4P/80	50	60

Nota: Una mayor fuerza de sujeción permitida se puede aplicar en algunos fusibles de montaje a presión, consulte al departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

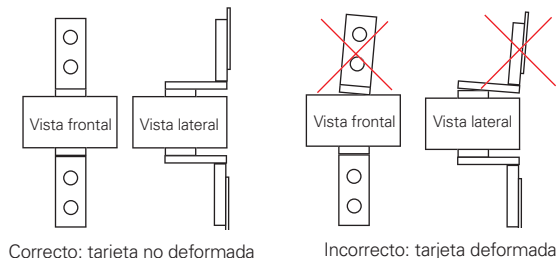
Si un fusible de montaje a presión se enfría con agua en un solo extremo, habrá una diferencia de temperatura (gradiente térmico) entre los contactos. Si la diferencia de temperatura entre extremos de contacto es superior a 55 °C, entonces los valores de sujeción de la tabla anterior no son válidos. Para fusibles que utilizan enfriamiento por agua en ambos extremos, se espera que la diferencia de temperatura entre los contactos del fusible sea insignificante, y los valores de la tabla siguen siendo válidos.

Hay fusibles de doble cuerpo para montaje a presión (24B y 24+B), Bussmann series. Consulte al departamento de ingeniería de aplicación (ventasbusmannmexico@eaton.com) antes de usar estos fusibles en su aplicación.

Alineación del montaje

En general, los fusibles ultrarrápidos Bussmann series se suministran listos para instalar.

Los fusibles no están diseñados como aisladores de montaje. Se debe evitar la tensión, la compresión y el par de apriete excesivos debido a la falta de alineación entre las navajas del fusible y las barras de alimentación (ver los siguientes ejemplos). Si es posible, el montaje debe iniciar con el fusible, seguido de los ajustes necesarios y la tolerancia de los componentes de la barra de alimentación.



Material de la superficie de contacto

Las partes conductoras de electricidad de los fusibles ultrarrápidos Bussmann series generalmente están chapadas para mantener una condición aceptable de la superficie. El estaño es el material más común para los contactos del fusible.

Contactos estañados

	Concentración – duración ppm – h	De acuerdo a la norma
H ₂ O	12.5 ppm – 96 h	IEC 68-2-43 Kd
SO ₂	25 ppm – 504 h	IEC 68-2-42 Kd

Las superficies de contacto de la mayoría de fusibles ultrarrápidos Bussmann series están electrochapadas con una capa de estaño de 5 µm. Este revestimiento proporciona un excelente contacto eléctrico y térmico en los portafusibles o entre cables-barras de alimentación de cobre puro o cobre-aluminio chapado con estaño-níquel o plata.

Muchas pruebas y más de 30 años de experiencia han demostrado que una superficie chapada con estaño, níquel o plata es mecánica y eléctricamente estable en todo el rango de temperatura de funcionamiento de los fusibles ultrarrápidos (es típico un incremento de temperatura de 130 °C (266 °F), máximo).

Resistencia a golpes y vibraciones

Los fusibles ultrarrápidos no deben ser sometidos a vibración excesiva. No obstante, los fusibles ultrarrápidos estándar pueden soportar vibraciones de hasta 5 g durante períodos prolongados y de hasta 7 g durante períodos cortos (descargas). Antes de usar fusibles en aplicaciones con vibraciones mayores, consulte al departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

Servicio y mantenimiento

Deben revisarse los siguientes puntos durante el mantenimiento de gabinetes eléctricos y aparataje:

- Verificar los pares de apriete y examinar el cuerpo de los fusibles de cerámica en busca de grietas visibles. Apretar o reemplazar según sea necesario.
- Verificar todos los indicadores de fusible. En caso de fusibles abiertos, reemplace todos los fusibles abiertos y todos los fusibles en buen estado que hayan sido sometidos a la misma corriente de falla o a una parte de ella. Incluso si la resistencia (Ω) de los fusibles en buen estado no muestra alguna alteración, los fusibles podrían haber sido afectados por la corriente de falla y deben reemplazarse para evitar molestas aperturas.

Aspectos medioambientales

En general, los fusibles ultrarrápidos están hechos con los siguientes materiales:

- Cerámica
- Fibra de vidrio
- Plata
- Cobre
- Latón
- Acero
- Arena de sílice

Acesorios como microinterruptores y portafusibles están hechos, en parte, con diversos materiales plásticos. Para mayor información acerca de materiales para fabricar fusibles, comuníquese con el departamento de ingeniería de aplicación en ventasbusmannmexico@eaton.com.

Almacenamiento

Los fusibles deben almacenarse en sus cajas originales, en condiciones de almacenamiento típicas para productos electromecánicos (sin suciedad ni polvo). Las condiciones de almacenamiento son:

- Temperatura: -40 °C a +85 °C (-40 °F a +185 °F)
- Humedad relativa: ≤ 70%

Amperio (A)

Unidad de medida de la intensidad del flujo de electrones en un circuito eléctrico; 1 amperio es la cantidad de corriente que fluirá a través de una resistencia de 1 ohm bajo una tensión eléctrica de 1 volt.

Capacidad de interrupción

Valor máximo de la corriente prospectiva, RMS, sim., que un fusible es capaz de interrumpir en las condiciones establecidas.

Características de tiempo-corriente

Representan el tiempo y la corriente necesarios para que el elemento fusible se funda y se abra. Se determinan empleando el mismo método de prueba que la prueba de incremento de temperatura, con el fusible a temperatura ambiente antes de cada prueba.

Carga eléctrica

Parte del sistema eléctrico que realmente usa la energía o realiza el trabajo requerido.

Carga inductiva

Carga eléctrica que tiene propiedades inductivas. Las formas comunes son motores, transformadores, equipo de control con devanados. Este tipo de carga requiere una gran cantidad de corriente cuando se energiza al inicio de su operación.

Carga resistiva

Carga eléctrica que se caracteriza por no tener ningún componente inductivo o capacitivo significativo. Cuando se energiza una carga resistiva, la corriente aumenta instantáneamente a su valor de estado estable, sin primero elevarse a un valor más alto.

Clases de fusibles

Las normas nacionales e internacionales han desarrollado especificaciones físicas básicas y requisitos de desempeño eléctrico para fusibles con clasificaciones de tensión que pertenecen a países determinados. La clase de fusible se refiere a la característica de interrupción diseñada del fusible. La siguiente clase de fusible, que se encuentra en la norma IEC 60269, se aplica a los fusibles ultrarrápidos.

- aR — Capacidad de interrupción de rango parcial (solo protección contra cortocircuitos) para protección de semiconductores de potencia (categoría de uso IEC).

Otras clases son:

- gG (gL) — Capacidad de interrupción de rango completo (protección contra sobrecarga y cortocircuito) para aplicaciones generales (categoría de uso IEC).
- gM — Capacidad de interrupción de rango completo (protección contra sobrecarga y cortocircuito) para protección de circuitos de motores (categoría de uso IEC).
- aM — Capacidad de interrupción de rango parcial (solo protección contra cortocircuito) para protección de circuitos de motores (categoría de uso IEC).
- gR — Capacidad de interrupción de rango completo (protección contra sobrecarga y cortocircuito) para protección de semiconductores de potencia (categoría de uso pendiente).
- gPV — Capacidad de interrupción de rango completo (protección contra sobrecarga y cortocircuito) para protección de sistemas fotovoltaicos (PV), por debajo de la clase gR.

Clasificación de amperios

Capacidad de conducción de corriente de un fusible. Se da en amperios, RMS (raíz cuadrática media, también llamada valor eficaz).

Clasificación de corriente continua

Nivel de corriente que causa la operación del fusible en un tiempo de cuatro horas.

Clasificación de Corriente de Cortocircuito (SCCR)

Corriente máxima de cortocircuito que un componente eléctrico puede soportar, sin que aparezcan daños excesivos, cuando se protege con un dispositivo de protección contra sobrecorriente.

Clasificación de interrupción

Ver Capacidad de interrupción.

Clasificación de voltaje

Tensión máxima, RMS, de circuito abierto, en la que se puede usar un fusible para interrumpir de manera segura una sobrecorriente. Exceder la clasificación de voltaje de un fusible afecta su capacidad de interrupción, de manera segura, de sobrecarga o cortocircuito.

Clasificación no disruptiva

Corriente máxima que puede soportar un componente eléctrico sin protección, durante un período de tiempo específico, sin que sufra un daño significativo. Ver Clasificación de Corriente de Cortocircuito (SCCR).

Constante de tiempo

La inductancia en un circuito CD limita la velocidad de incremento de corriente. El tiempo requerido para que la corriente alcance 63% del valor final a la tensión nominal se denomina "constante de tiempo", y frecuentemente se define como L/R, donde "L" representa la inductancia, en henrios, y "R" es la resistencia eléctrica, en ohms.

Corriente de corte

Valor máximo alcanzado por la corriente de falla durante la operación de interrupción del fusible. En muchos casos, el fusible limitará la corriente.

Corriente de cortocircuito

Puede considerarse como una sobrecorriente que excede un gran número de veces el valor de la corriente a plena carga normal de un circuito.

Corriente de paso libre, pico

Valor instantáneo de la corriente máxima que deja pasar un fusible con limitación de corriente cuando funciona en su rango de limitación de corriente.

Corriente de umbral

Corriente RMS, sim., disponible en el umbral del rango de limitación de corriente, donde el fusible se vuelve limitador de corriente cuando se prueba según los estándares de la industria. Este valor se puede leer en una gráfica pasante pico donde la curva del fusible se interseca con la línea A-B. El índice de umbral es la relación de la corriente de umbral entre la clasificación de corriente continua del fusible. Esta corriente se usa durante las pruebas según las especificaciones UL.

Corriente prospectiva de cortocircuito (I_p)

Corriente que fluiría en el circuito con falla si el fusible fuese reemplazado por un cable con impedancia infinitamente pequeña. Normalmente se da como valor RMS, sim.

Corriente RMS

También conocida como valor eficaz de corriente. Corresponde al valor instantáneo pico de una forma de onda sinusoidal dividida entre la raíz cuadrada de 2. El valor RMS de una corriente alterna es equivalente al valor de la corriente directa que produciría la misma cantidad de calor o energía.

Disipación de potencia/pérdida de watts

Potencia liberada por un fusible cuando conduce una carga de acuerdo con las condiciones establecidas.

Factor de fusión

Relación de la corriente de fusión mínima y la corriente nominal.

Factor de potencia

Relación de la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA) consumida por una carga. Corresponde al coseno (cos) del ángulo de fase entre la tensión y la corriente.

Falla de conmutación

Falla que ocurre en un impulsor regenerativo de CD a causa de la pérdida de capacidad de bloqueo de un tiristor, mientras que se produce una tensión directa línea-línea a través de él, lo que origina un cortocircuito donde la tensión de CA se superpone a la tensión de CD.

Fulgurita

En el ámbito de los fusibles, sustancia no conductora, similar a la roca, que se forma en el fusible durante la interrupción de un cortocircuito, cuando el material vaporizado del elemento fusible se fusiona con el relleno de arena de cuarzo.

Fusible

Dispositivo de protección contra sobrecorriente que contiene un elemento fundible para interrumpir el circuito en un evento de sobrecorriente.

Fusible con retardo de tiempo

Fusible con un retardo de tiempo incorporado que permite el paso de corrientes de arranque (temporales e inofensivas) sin abrirse, pero se abre en eventos de cortocircuito y sobrecarga sostenida.

Fusible de acción rápida

Fusible que se abre muy rápidamente en eventos de sobrecarga y de cortocircuito. Este tipo de fusible no está diseñado para soportar las corrientes de sobrecarga temporales asociadas con algunas cargas eléctricas, cuando es dimensionado cerca del valor de la corriente a plena carga del circuito.

Fusibles semiconductores

Fusibles utilizados para proteger dispositivos semiconductores de estado sólido. Comúnmente llamados fusibles ultrarrápidos y menos frecuente fusibles I²t. Ver fusibles ultrarrápidos.

Fusibles ultrarrápidos

Fusibles sin retardo de tiempo intencional en el rango de sobrecarga; diseñados para abrirse lo más rápido posible en el rango de cortocircuito. Estos fusibles se usan frecuentemente para proteger dispositivos de estado sólido.

I²t

También conocida como la integral de Joule. I²t es la integral de la corriente al cuadrado durante un intervalo de tiempo dado. La I²t de prearco eléctrico es la integral I²t durante el tiempo de prearco eléctrico del fusible. La I²t de operación es la integral I²t durante el tiempo de operación del fusible.

I²t (amperios al cuadrado por segundo)

Medida de la energía térmica desarrollada dentro de un circuito durante la operación del fusible. “I” representa la corriente pasante eficaz (RMS), al cuadrado, y “t” representa el tiempo de apertura, en segundos. Se puede expresar como I²t de fusión, I²t de arco eléctrico o la suma de ellas como I²t de interrupción.

I²t de arco eléctrico

Valor de I²t durante el tiempo de arco eléctrico bajo condiciones determinadas.

I²t total de operación (interrupción)

El valor de I²t total de operación es la suma del valor de I²t de prearco eléctrico más el valor de I²t de arco eléctrico, en condiciones determinadas.

IEC

IEC son las siglas de la International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional). Es una organización internacional no gubernamental, sin fines de lucro, que prepara y publica normas internacionales para las tecnologías eléctricas, electrónicas y afines, conocidas en conjunto como “electrotecnologías”.

Limitación de corriente

Operación del fusible relacionada únicamente con cortocircuitos. Cuando un fusible funciona en su rango de limitación de corriente, interrumpirá un cortocircuito antes del primer pico de corriente. Además, limitará la corriente pasante, pico, instantánea, a un valor considerablemente menor al que se obtendría en el mismo circuito si el fusible fuese reemplazado por un conductor sólido de impedancia similar.

Ohm

Unidad de medida de la resistencia eléctrica; 1 ohm es la cantidad de resistencia que permitirá que 1 amperio fluya bajo una tensión eléctrica de 1 volt.

Sobrecarga

Es un evento durante el cual una sobrecorriente excede la corriente a plena carga de un circuito que está en “buen estado”.

Tensión de arco eléctrico

Tensión eléctrica que ocurre entre las terminales de un fusible durante su operación. La magnitud de la tensión de arco eléctrico de un fusible dado depende de la tensión de alimentación.

Tensión de recuperación

Tensión que se puede medir en las terminales del fusible después de su operación.

Tiempo de arco eléctrico

Cantidad de tiempo que transcurre desde el instante en que el fusible se funde hasta que la sobrecorriente se interrumpe (se despeja) de forma segura.

Tiempo de fusión

Tiempo requerido para fundir el elemento fusible durante una sobrecorriente dada. (Ver tiempo de arco eléctrico y tiempo de interrupción.)

Tiempo de interrupción (tiempo total de operación)

Tiempo total entre el comienzo de la sobrecorriente y la interrupción del circuito a la tensión del sistema. El tiempo de interrupción es el total de la suma del tiempo de fusión más el tiempo de arco eléctrico.

Tiempo de prearco eléctrico

Tiempo transcurrido desde el inicio de la falla hasta la fusión del elemento fusible.

Tiempo total de interrupción

También conocido como I²t total de interrupción, es la medida total de la energía térmica desarrollada dentro de un circuito durante la interrupción de una corriente de falla. La I²t total de interrupción es la suma de la I²t de fusión más la I²t de arco eléctrico.

Tiempo virtual de fusión

Método para presentar tiempos de fusión de manera independiente de la forma de onda de corriente. Es el tiempo que necesitaría una corriente CD igual a I_p para generar la I²t de fusión. Para fusibles ultrarrápidos, se utiliza el tiempo virtual (t_v) de fusión y se traza a 0.1 ms. La fórmula para determinar las características de tiempo-corriente es:

$$t_v = \int \frac{i^2 dt}{I_p^2}$$

Donde:

t_v = Tiempo virtual de prearco eléctrico

i² = Corriente al cuadrado del fusible

dt = Diferencial de tiempo

I_p = Corriente de cortocircuito prospectiva

UL

UL son las siglas de Underwriters Laboratories, Inc., una organización no gubernamental, independiente, sin fines de lucro, que se enfoca en la seguridad de los productos. UL emite estándares y proporciona pruebas realizadas por terceros principalmente para los mercados de Estados Unidos.

El objetivo de esta guía de aplicación es presentar, de manera clara, amplia información técnica que ayudará al usuario final en el diseño de su aplicación. Eaton se reserva el derecho de modificar el diseño o la construcción de cualquiera de sus productos.

Eaton también se reserva el derecho de modificar o actualizar, sin previo aviso, cualquier información técnica contenida en esta guía de aplicación.

Una vez seleccionado el producto, el usuario debe probarlo en todas sus aplicaciones posibles.

Asistencia Comercial

Disponible para resolver sus dudas sobre productos y servicios Bussmann series, de lunes a viernes de 8:00 h a 18:00 h, horario del Centro de México.

- Lada sin costo
01800-8-FUSEMX (387369)
- E-mail:
ventasbussmannmexico@eaton.com
- Conmutador +52 1 55 5804-8200

Emergencias y pedidos fuera del horario habitual

Servicio de envío urgente. El cliente paga el precio estándar del producto, el cargo por flete urgente y una pequeña tarifa por servicio de emergencia. Durante el horario habitual, realice su pedido por medio del departamento de Asistencia Comercial.

my.Eaton.com

Proporciona información de la existencia de productos en tiempo real, precios netos, estatus de pedidos y rastreo de embarques. Entre a my.Eaton.com, o llame al 1-800-468-1793, opción #3, donde obtendrá ayuda para ingresar al sitio.

Ingeniería de Aplicación

El servicio de soporte técnico está disponible para todos los clientes, de lunes a viernes de 8:00 h a 18:00 h, horario del Centro de México.

- Lada sin costo
01800-8-FUSEMX (387369)
- E-mail:
ventasbussmannmexico@eaton.com
- Conmutador +52 1 55 5804-8200

Eaton
1000 Eaton Boulevard
Cleveland, OH 44122
United States
Eaton.com

División Bussmann
Poniente 148 núm. 933
Industrial Vallejo
Ciudad de México, 02300
Eaton.mx/bussmannseries

© 2020 Eaton
Todos los derechos son reservados.
Impreso en México.
Publicación núm. 11075
Marzo de 2020

Eaton, Bussmann, Typower y Zilox son marcas comerciales de Eaton, registradas en Estados Unidos y otros países. No se permite el uso de las marcas comerciales de Eaton sin el previo consentimiento por escrito de Eaton.

CSA es una marca comercial registrada de Canadian Standards Group.
IEC es una marca comercial registrada de International Electrotechnical Commission.
NEC es una marca comercial registrada de National Fire Protection Association, Inc.
NEMA es una marca comercial registrada de National Electrical Manufacturers Association.
UL es una marca comercial registrada de Underwriters Laboratories, Inc.

Para más información acerca de los productos Bussmann series de Eaton, llame al **01800-8-FUSEMX (387369)** o entre a: **Eaton.mx/bussmannseries**

Síganos en nuestras redes sociales para conocer la información más reciente de nuestros productos y de soporte.

