

CAPITULO IV

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS DE LOS FUSIBLES.

4.1. Definición del Fusible Eléctrico.

El fusible eléctrico es un dispositivo destinado a proteger una instalación eléctrica y sus componentes contra sobrecorrientes ocurridas aguas abajo de éste, mediante la fusión de uno o varios elementos destinados para este efecto, interrumpiendo el flujo de la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa el valor de la corriente de fusión del fusible dentro de un tiempo determinado.

Es conveniente utilizar el nombre “fusible eléctrico” para referirse a este elemento de protección, ya que además existe otra clase de fusible, el cual opera por el exceso de temperatura. El fusible térmico (Figura 4.1), conocido como **TCO** (Termal Cut-Off), es un dispositivo de protección que responde a la temperatura, interrumpiendo un determinado circuito eléctrico cuando el funcionamiento o la temperatura ambiental excede el grado termal del dispositivo, proporcionando así una protección contra calefacción excesiva. Es de amplia aplicación en pequeños motores.



Fig. 4.1. Fusible térmico.

Para comprender las distintas condiciones bajo las cuales puede estar sometido un fusible eléctrico, es conveniente definir claramente el significado de una sobrecarga y un cortocircuito.

La primera condición de operación de un fusible es la **sobrecarga**, la cual se define como un valor de corriente excesivo en relación con la nominal especificada en la etiqueta. Esta corriente fluctúa en un rango de unas 2 a 3 veces la corriente nominal. Son causadas por incrementos de corrientes de corta duración (peak), producto de la partida de motores o cuando se conectan los transformadores (corriente de Inrush).

Estas sobrecargas son de ocurrencia normal y no tienen efectos dañinos en los componentes del circuito cuando son por tiempos inferiores a los 10 segundos.

Otro tipo de sobrecarga es la producida por algún defecto en artefactos o cuando existen demasiadas cargas conectadas a un circuito. Estas corrientes son más duraderas y dañinas que las anteriores, ocasionan peligrosos aumentos de temperatura en los componentes del circuito, por lo tanto deben ser interrumpidas por el fusible siempre que éste sea adecuado para esta finalidad.

La segunda condición que puede ser causal de la operación de un fusible es el **cortocircuito**, y se define como la desaparición repentina de la aislación existente entre conductores de tensión diferente. La magnitud de estas corrientes supera las 6 veces la corriente nominal del fusible, llegando al orden de miles de amperes (KA). Es de vital importancia que los fusibles diseñados para este fin, interrumpan estas corrientes debido a los dañinos efectos térmicos y dinámicos.

El fusible, dependiendo de su forma, puede ser de fácil intervención o manipulación, y debido a la falta de conocimiento en las personas es común observar en algunas instalaciones la presencia de elementos extraños (puentes, alambres, clavos) en la

ubicación del fusible, con el fin de evitar la acción de reposición. Por lo tanto una correcta elección y dimensionamiento son muy importantes puesto que de otra manera el fusible no cumplirá su rol de protección.

4.2. Partes que Componen un Fusible.

Básicamente los fusibles eléctricos se componen de cinco partes y para su fabricación se utilizan varios tipos de materiales. Cada una de ellas cumple un rol específico y dependiendo del tipo de fusible y su aplicación es posible prescindir de alguna de ellas.

4.2.1. Cuerpo Fusible.

Se construyen de materiales aislantes de la electricidad y con un cierto grado de resistencia mecánica como por ejemplo el Vidrio, el papel Fishpaper, la Porcelana, la Esteatita, la Fibra de Vidrio, entre otros.



Fig. 4.2.1a. Fusible cuerpo de Vidrio.

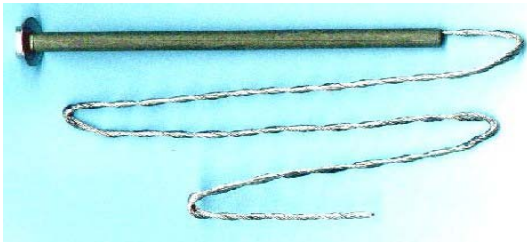


Fig. 4.2.1b. Fusible cuerpo papel Fishpaper.



Fig. 4.2.1c. Fusible cuerpo Cerámica.



Fig. 4.2.1d. Fusible cuerpo Esteatita.

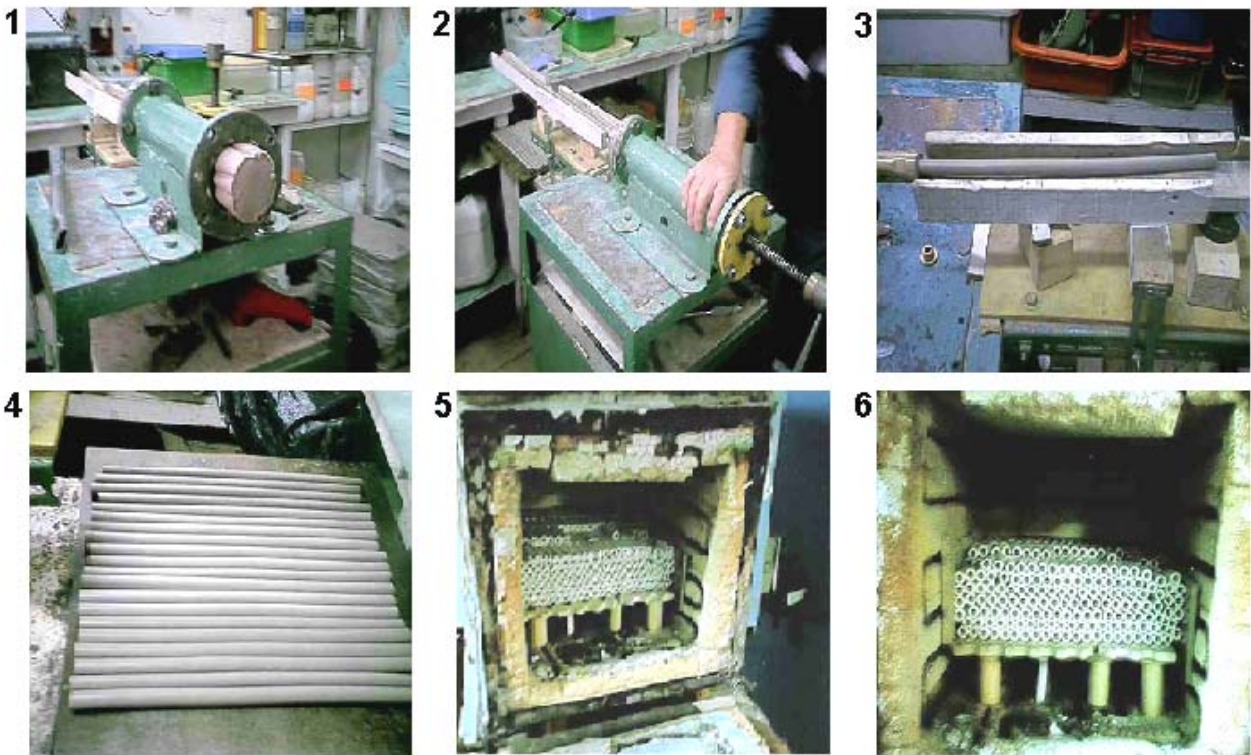


Fig. 4.2.1e. Proceso de fabricación de los cuerpos cerámicos para fusibles.

El Cuerpo cumple la función de proteger y aislar el elemento fusible ubicado en su interior, además debe ser capaz de soportar grandes presiones térmicas y mecánicas en el momento de operación del elemento fusible.

La cantidad de energía liberada en este instante, debe ser contenida en el interior del cuerpo y luego disipada en forma de calor al exterior con el fin de evitar la explosión del fusible, riesgos al personal y la instalación.

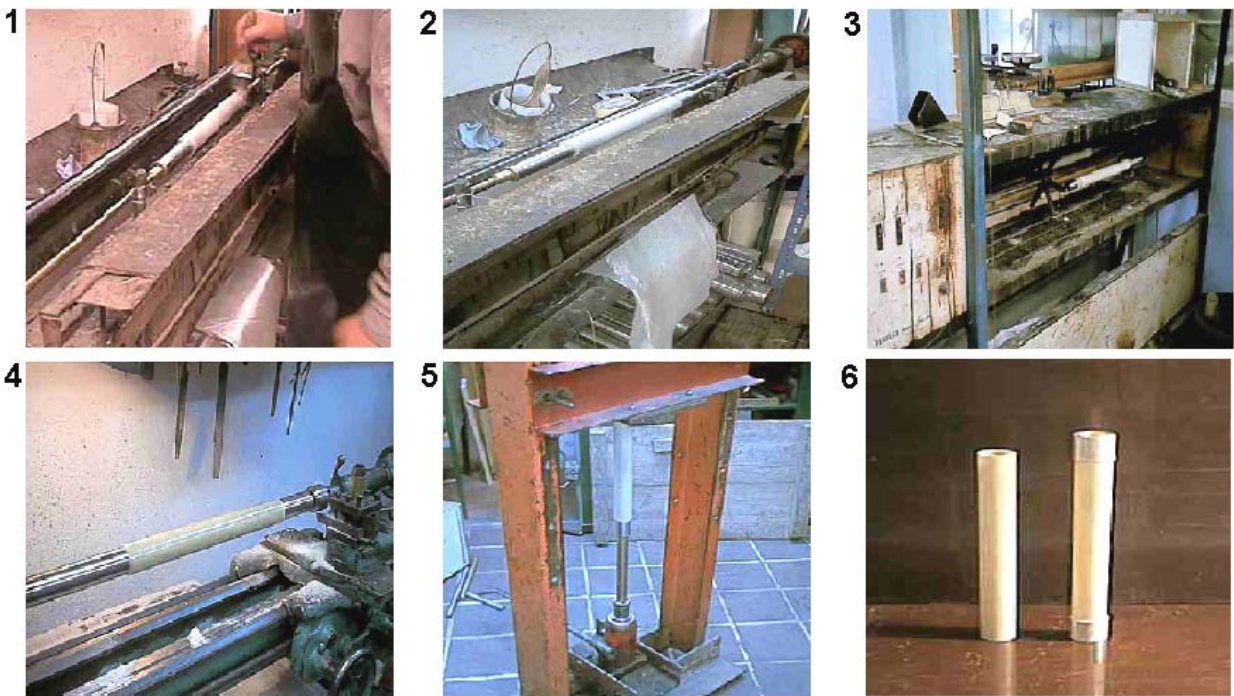


Fig. 4.2.1f. Proceso de fabricación de los cuerpos de fibra de vidrio

La onda de presión mecánica originada por la operación del fusible, choca contra las paredes internas del cuerpo en un lapso de tiempo de milisegundos hasta unos pocos segundos.

Posteriormente, el cuerpo fusible debe soportar la energía térmica desarrollada en su interior, la que se refleja en un incremento gradual de la temperatura y depende de la energía desarrollada durante la fusión, por tanto del valor de la intensidad de cortocircuito y de la disipación del cuerpo, terminales, portafusibles y cables de conexión.

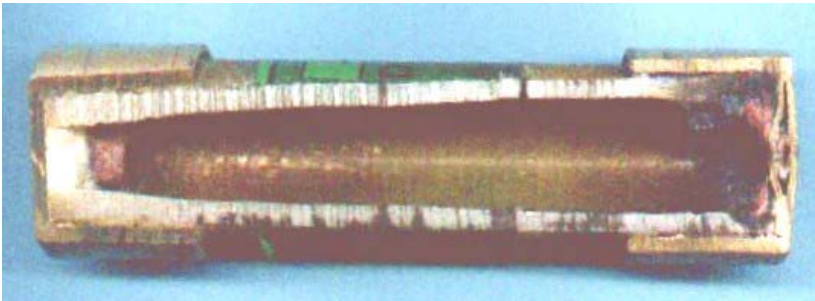


Fig. 4.2.1g. La energía térmica puede causar la destrucción del fusible si este no es capaz de soportarla, provocando riesgos para los equipos eléctricos y el personal.

4.2.2. Terminales.

Se construyen generalmente en piezas torneadas de cobre y bronce, terminados con un baño de plata electrolítica con una pureza de 99.99 % o también, dependiendo de la aplicación, con un baño de estaño.

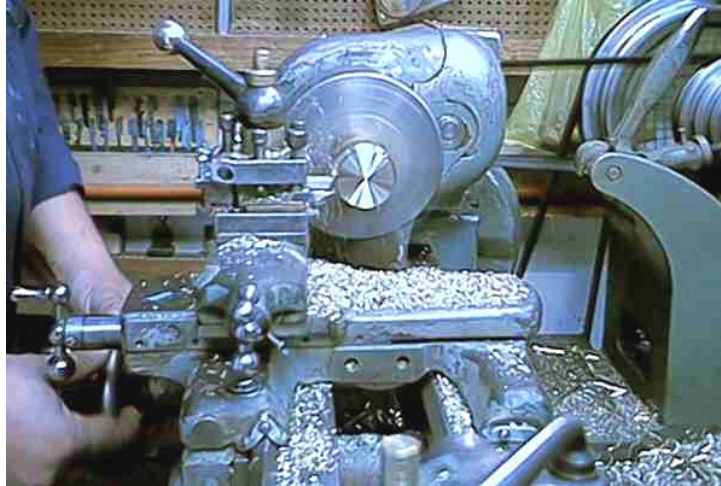


Fig. 4.2.2. Proceso de fabricación de las piezas terminales, trabajados milimétricamente en un torno de precisión.

Estos elementos cumplen la función de conectar eléctricamente el elemento fusible con el circuito a proteger y como elementos disipadores del calor desarrollado en la operación normal del fusible, por lo tanto es muy importante que estén bien unidos al fusible para evitar el calentamiento por efecto de resistencia de contacto. También como disipadores de energías de sobrecorriente.

La diferencia entre la plata y el estaño radica en la clase de óxidos que estos metales producen. La plata se oxida cuando está expuesta al oxígeno, pero el óxido de este metal es conductor, así que con el óxido de plata siempre existirá un buen contacto eléctrico. Por otra parte, el óxido del estaño forma una película delgada de óxido estánico, sobre el estaño que está expuesto al aire y esto origina una protección superficial sobre la pieza. Esto es favorable en lugares donde existen muchos agentes contaminantes que pueden atacar a las piezas metálicas, como por ejemplo en la minería.

La razón por la cual las piezas de cobre reciben un baño de plata o estaño, es que el óxido de cobre es un mal conductor. Los contactos con óxido de cobre pueden aislar, pueden conducir o pueden depurar.

4.2.3. Elemento Fusible.

Es el “corazón” de cada fusible eléctrico, controla las características de capacidad de interrupción frente a las sobre intensidades, bajo condiciones de funcionamiento del fusible.

Las características referidas al material de fabricación y las dimensiones del elemento fusible, se basan en el comportamiento registrado con el incremento de la corriente y el tiempo de respuesta (Característica $t-I$).

Un fusible puede tener uno o más elementos fusibles en su interior. Generalmente se fabrican con plata debido a sus grandes ventajas. Todos los óxidos que produce este metal son conductores, posee una gran maleabilidad lo cual facilita el trabajo para

trabajar en láminas, posee una baja resistividad y pocas pérdidas, su valor es relativamente económico, y es abundante.

También se fabrican con otros metales tales como el cobre, cobre bañado en plata para mejorar su capacidad conductiva y el zinc.

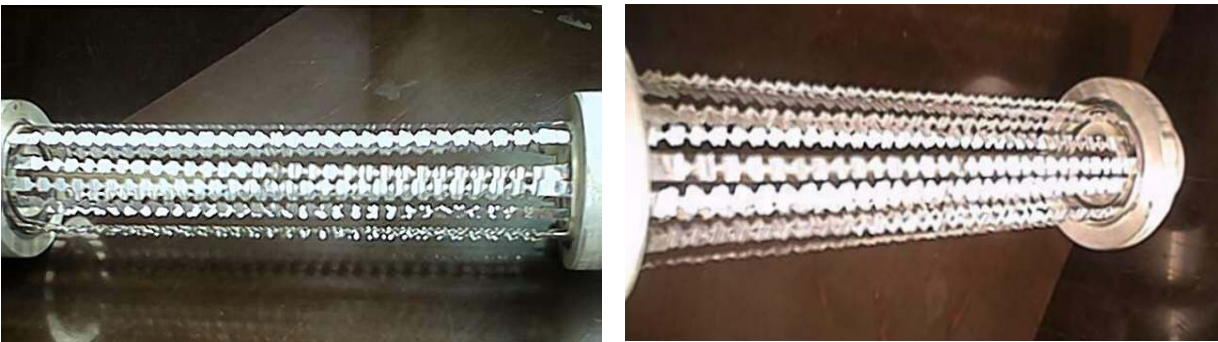
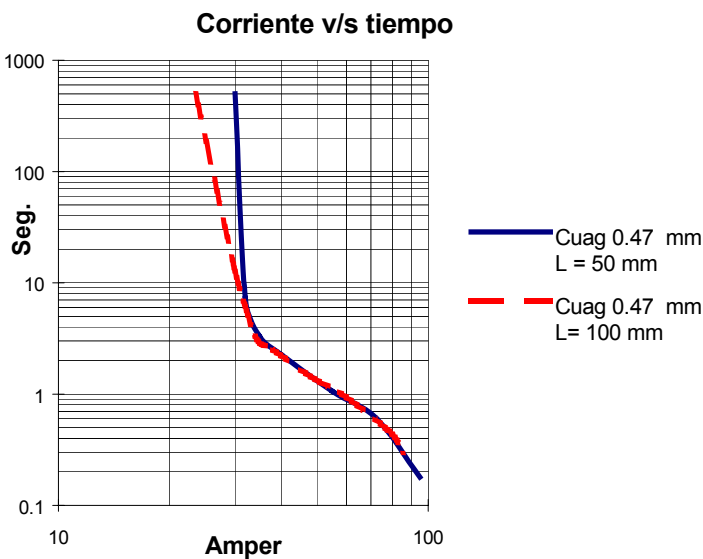


Fig. 4.2.3a. Fusible 12000 volts con 24 láminas fusibles distribuidas en un diámetro interior y otro exterior.

Los elementos fusibles utilizados son generalmente alambres y láminas. El uso de alambres permite calibrar la corriente que circula por el fusible solamente variando su diámetro. Actualmente el uso de alambres está aplicado solo en contados tipos de fusibles, como los de vidrio, los de reja y en general cuando no se requiere manejar corrientes muy altas. En la etapa de diseño es importante determinar el largo adecuado de los alambres fusibles, puesto que la resistencia interna es directamente proporcional a su longitud según la siguiente relación: $R = \frac{\rho \times L}{S}$

Por lo tanto la longitud de los alambres fusibles, influirá directamente en los tiempos de operación.

En el siguiente gráfico se muestra la curva de operación de un alambre Cuag (aleación Cobre y Plata) con diámetro de 0.47 mm, primero con una longitud de 50 mm y luego con 100 mm, sin cuerpo fusible y sin medio de extinción de arco.



Para una misma longitud mayor el de longitud mayor interrumpe primero que el de longitud menor, debido a que por efecto Joule disipa más calor, lo que afecta directamente en los tiempos de fusión.

En la parte baja de la curva, con corrientes más elevadas, los tiempos de fusión son casi iguales. Esto se debe a que la influencia de la temperatura en la operación del

fusible es casi nula producto de los rápidos tiempos de respuesta (régimen adiabático).

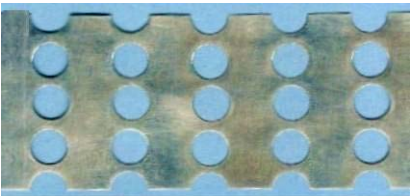
A diferencia de los alambres fusibles, el uso de láminas tiene la gran ventaja que es posible además de regular la corriente con la sección de la lámina, controlar la disipación de calor implementando una adecuada geometría en el diseño, para evitar la operación del fusible por excesiva acumulación de calor en condiciones de sobrecarga.



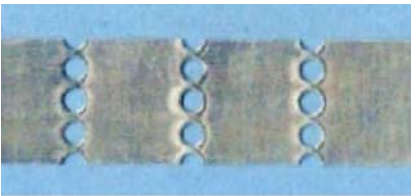
Fig. 4.2.3b. Máquina laminadora implementada para rebajar el espesor de las láminas a utilizar en fusibles.

Según los tiempos de operación que se desea lograr es posible diseñar fusibles para distintas aplicaciones. Para esto se utilizan distintos metales en la fabricación de los elementos fusibles puesto que cada uno posee cualidades físicas distintas al resto (temperatura de fusión, resistividad, etc.).

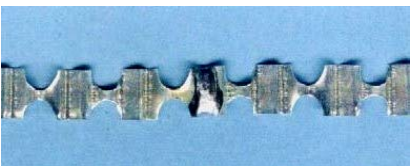
4.2.3.1. Tipos de láminas utilizadas en los fusibles según la geometría del diseño.



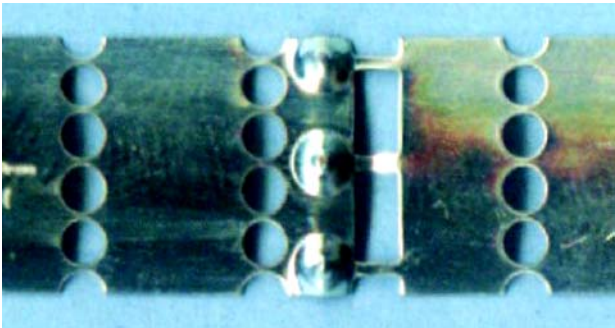
4.2.3.1a. Lámina Plata Ø perf. 5 mm



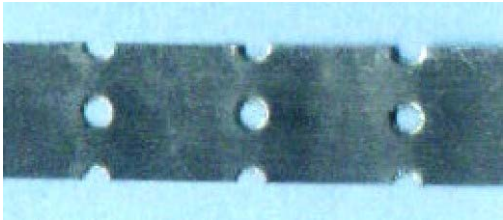
4.2.3.1b. Lámina Plata Ø perf. 2 mm.



4.2.3.1c. Lámina Plata ondulada con pastilla de difusión térmica.



4.2.3.1d. Lámina de Cobre Plateado. Zona de operación para sobrecarga.



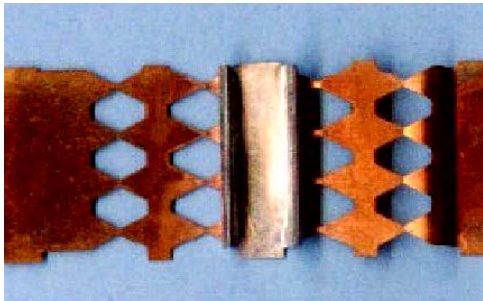
4.2.3.1e. Lámina de Zinc.



4.2.3.1f. Lámina Cobre. Perforación circular.



4.2.3.1h. Lámina Cobre. Perforación rectangular.



4.2.3.1g. Lámina de Cobre perf. hexagonal.
Zona de operación para sobrecarga.



4.2.3.1i. Lámina Cobre ondulada.
Perforación rectangular.

Dependiendo de la geometría utilizada para el diseño de un fusible, las láminas generalmente se trabajan con “perforaciones”. Una cantidad de perforaciones a lo largo de una lámina, da origen a lo que se conoce como “filas”.

Los espacios de material que quedan entre dos perforaciones se denominan “venas”, y a su vez, las zonas comprendidas entre las filas se llaman “estricciones”.

Lámina elemento fusible

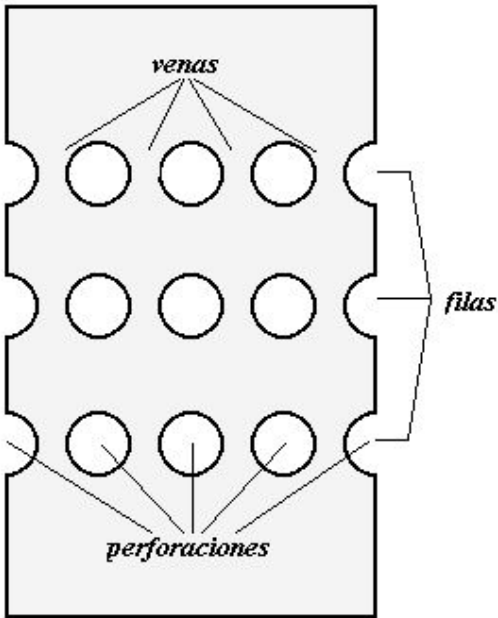


Fig. 4.2.3.c. A la izquierda, máquina utilizada para la perforación de láminas, modelo PB 1300. A la derecha, dibujo explicativo de una lámina con 4 venas, 3 filas y 5 perforaciones.

Estas configuraciones permiten en el momento de la sobre intensidad que en las venas se origine una alta densidad de corriente, mayor que en las estricciones.

En cortocircuitos de gran magnitud (> 10 veces I_n), se produce el corte en las venas en condición adiabática, con rápidos tiempos de fusión, consiguiendo limitar la intensidad.

Bajo condiciones de sobrecarga (hasta 5 veces I_n), el calor desarrollado en el fusible por la corriente que lo recorre, puede causar daño a los cables conductores, los terminales y un recalentamiento excesivo del cuerpo fusible.
Por este motivo es que hace muchos años, los fabricantes incorporan en el diseño de

los elementos fusibles una técnica que permite la operación del fusible bajo un régimen de sobrecarga, la cual aprovecha las ventajas producidas por un fenómeno conocido como “**Efecto M**”.

4.2.4. El Efecto M.

El “**Efecto M**”, o como se le denomina hoy en día, Tecnología de la Pastilla de Difusión (Difusión Pill Technology), fue descubierto por el físico profesor A. W. Metcalf en el año 1939. Dicho efecto consiste en la aplicación de soldadura de un bajo punto de fusión sobre el elemento fusible, con la finalidad de cambiar completamente los efectos térmicos de la zona recubierta con la pastilla de difusión. De esta manera es posible controlar la operación del elemento fusible y mejorar las características de tiempo-corriente en régimen de sobrecarga.



Fig. 4.2.4a. Lámina fusible con Pastilla de Difusión o Carga Térmica.

La aleación molecular entre la soldadura y el elemento fusible posee una resistencia más alta que los otros lugares sin soldadura. La combinación de dos materiales íntimamente ligados, da como resultado que la temperatura de fusión sea inferior a la de los elementos individuales, y ciertas aleaciones producen el efecto eutéctico, es decir, se obtiene un punto donde una composición de dos materiales solidifica como un elemento puro.



Fig. 4.2.4b. Imagen ampliada de la carga térmica.

Cuando la corriente de sobrecarga circula por el fusible, la resistencia producida por el “efecto M” aumenta progresivamente debido a que el calor necesario para derretir el elemento fusible es en función de la ley de Joule, disminuyendo la corriente requerida para provocar la fusión.

El calor desarrollado en la zona con soldadura si la corriente de sobrecarga continúa aumentando, creará “puntos calientes locales” sobre los cuales se originará la fusión del elemento fusible. En este caso los fenómenos térmicos ocasionados por el “efecto M” son irreversibles.



Fig. 4.2.4c. Lámina fusible que fue sometida a un régimen de sobrecarga.



Fig. 4.2.4d. La pastilla de difusión cambia los efectos térmicos del material.

4.2.5. Medio de Extinción del Arco Eléctrico.

La etapa de formación de arcos se origina luego de la fusión de una o varias filas de la lámina fusible en el momento de la operación. La gran cantidad de energía interna que posee el arco, crea altas presiones y temperaturas que finalmente deben ser soportadas por el fusible.

Para reducir los efectos destructivos que produce el arco, se emplea como medio de extinción de este fenómeno la Sílice.

Este material posee una buena capacidad de absorción de energía la que es intercambiada con el medio, posibilitando un rápido enfriamiento ayudando así a la extinción del arco. Además, la sílice llena todos los espacios, dejando sin aire y por lo tanto sin oxígeno el interior del cuerpo fusible.

La sílice utilizada en la fabricación de fusibles, debe estar libre de cualquier impureza orgánica y metálica. Además de estar completamente compactada al interior del cuerpo debe estar libre de humedad y tener una adecuada granulometría (tamaño de los granos), de lo contrario el fusible no será capaz de interrumpir en forma segura las elevadas sobre intensidades.

También es común en los fusibles, el uso de la sílice solidificada, la que permite incrementar el poder de corte en el momento de la operación.

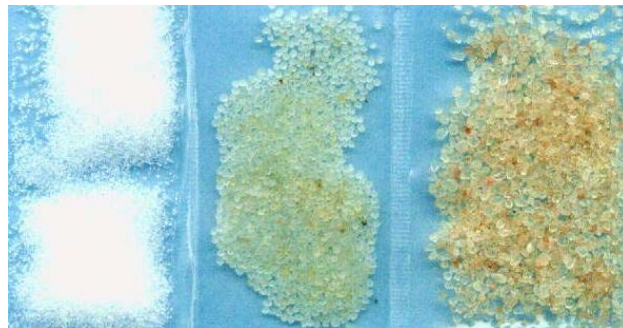


Fig. 4.2.5a. Tipos de sílice utilizadas en fusibles.

Dependiendo de la magnitud de la corriente de cortocircuito y de la geometría empleada en el diseño, el elemento fusible se vaporiza, y los gases liberados en este proceso se condensan sobre la sílice en el momento de la absorción de la energía. Esta última es calentada a tal punto que los granos se pegan unos a otros, formando cristales de piedra llamados “fulguritas”, los cuales son mezclas de arena y metal fundido, de apariencia similar al vidrio.

Otro medio de extinción utilizado actualmente es el Ácido Bórico, el cual actúa por la desionización del arco eléctrico para interrumpir la corriente en fusibles de alta tensión.

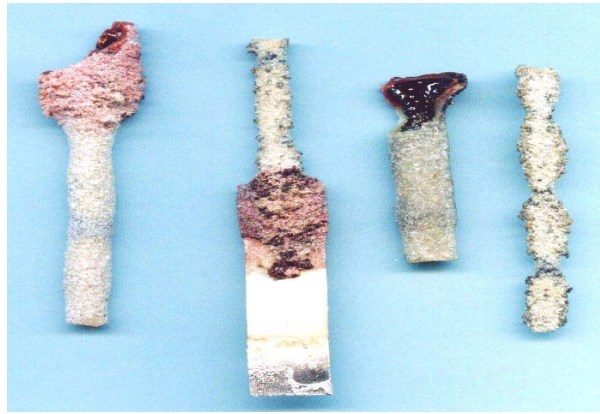


Fig. 4.2.5b. Trozos de láminas de plata con terminales de cobre mezclados con sílice (Fulgurita)

4.2.6. Indicador de Funcionamiento (Trigger Indicator).

Es un dispositivo visual que señala la operación del fusible. Los indicadores de funcionamiento hacen la indicación por medio de un señalizador incorporado en los fusibles, evitando así la necesidad de medir su resistencia para verificar la fusión.



Figura 4.2.6a. Fusibles con indicador de fusión incorporado y exterior.

Los **Actuadores** son otros dispositivos que indican la operación de un fusible. Algunos se encuentran incorporados en los fusibles como por ejemplo los “percutores” o “disparadores” (Trigger Actuator).

A pesar de que se encuentran en paralelo con el elemento fusible, no cumplen el mismo objetivo que los elementos destinados para proteger un circuito eléctrico. Son dispositivos mecánicos que se liberan durante el funcionamiento y pueden utilizarse como señalizador o para actuar sobre otros aparatos, ya sean alarmas o sistemas de indicación remota.

Existen también los Botones Actuadores, los cuales son dispositivos anexos a los fusibles y se encuentran en diversas formas a modo de accesorios.



Fig. 4.2.6b.
Fusible con botón Actuador.



Fig. 4.2.6c.
Fusible con Disparador.



Fig. 4.2.6c.
Disparadores exteriores.

4.3. Características Eléctricas de los Fusibles.

Además de definir correctamente y conocer las características físicas, mecánicas y constructivas de los fusibles, es muy importante determinar los parámetros eléctricos que identifican a estos elementos de protección.

4.3.1. Intensidad nominal (*I_n*).

Es la cantidad de corriente eléctrica (valor RMS) que el fusible es capaz de conducir indefinidamente sin desconectar. Como se ha descrito anteriormente, la circulación de una corriente eléctrica por un conductor, creará una determinada cantidad de calor por efecto Joule. Sin embargo, la circulación de una corriente igual o menor a la indicada como nominal en el fusible, no debe originar una cantidad de calor que provoque dentro de un tiempo determinado y en condiciones ambientales y de montaje favorables, la operación del fusible.

Este valor debe estar especificado en el fusible, y a cada uno de estos, se le designa un nivel de corriente por el fabricante, bajo condiciones específicas en las cuales fue probado.

Cuando se elige un valor de corriente para el fusible, hay que considerar el tipo de carga y un código para uso específico proporcionado por el fabricante.

Normalmente, para seleccionar la corriente nominal de un fusible es necesario conocer la corriente nominal que circula por el circuito, y ésta debe corresponder al 80 % de la corriente nominal del fusible. En el caso de los circuitos que poseen motores, la corriente nominal de los fusibles de doble elemento se dimensiona al 175%, y los fusibles sin retado de tiempo son dimensionados al 300% de la corriente de partida de los motores. Estos fusibles se utilizan principalmente para cortocircuitos.

La norma chilena **NCh2025/1** para fusibles de baja tensión, de capacidad de ruptura superior a 6 kA y fusión cerrada, indica la siguiente serie de valores de corriente nominal:

2-4-6-8-10-12-16-20-25-32-40-50-63-80-100-125-160-200-250-315-400-500-630-800-1.000-1.250 Amperes.

La norma internacional **ANSI / NEMA FU 1-1986**, establece los valores de corriente nominal, normalizados según la característica de Retardo de Tiempo.

En la tabla 4.3.1a se muestran las corrientes para los fusibles sin Retardo de Tiempo, y en la tabla 4.3.1b se indican las corrientes para los fusibles con Retado de Tiempo.

Tabla 4.3.1a. Rango de corriente para fusibles sin retardo de tiempo.

Rango Amperes	Valor de Corriente Amperes
0-30	1,3,6,10,15,20,25,30
31-60	35,40,45,50,60
61-100	70,80,90,100
101-200	110,125,150,175,200
201-400	225,250,300,350,400
401-600	450,500,600
601-800	601,700,800
801-1200	1000, 1200
1201-1600	1600
1601-2000	2000
2001-2500	2500
2501-3000	3000
3001-4000	4000
4001-5000	5000
5001-6000	6000

Tabla 4.3.1b. Rango de corriente para fusibles con retardo de tiempo.

Rango Amperes	Valor de corriente Amperes
0-30	1/10, 15/100, 2/10, 3/10, 4/10, 1/2,
	6/10, 8/10, 1, 1 1/2, 1 1/4, 1 4/10,
	1 6/10, 1 8/10, 2, 2 ¼, 2 1/2,
	2 8/10, 3, 3 2/10, 3 1/2, 4, 4 1/2,
	5, 5 6/10, 6, 6 1/4,
	7,8,9,10,12,15,17 1/2
	20,25,30
31-60	35,40,45,50,60
61-100	70,80,90,100
101-200	110,125,150,175,200
201-400	225,250,300,350,400
401-600	450,500,600
601-800	601,700,800
801-1200	1000, 1200
1201-1600	1600
1601-2000	2000
2001-2500	2500
2501-3000	3000
3001-4000	4000
4001-5000	5000
5001-6000	6000

La norma americana UL, reconoce un conjunto de valores de corrientes especiales para caracterizar a los fusibles para Media Tensión de alta capacidad de ruptura, denominado Clasificación R (R-Rated). En la siguiente tabla se muestran los valores de las corrientes nominales a una temperatura de 40 ° C.

Tabla 4.3.1c.

Tamaño	Valor de corriente a 40°	Corriente de Interrupción Mínima	Rango de interrupción monofásica Componente reconocida por UL	
			RMS Asim.	RMS Sim.
2R	70	190	80kA 5080V	50kA 5080V
3R	100	225		
4R	130	330		
5R	150	400		
6R	170	500		
9R	200	740		
12R	230	955		
18R	390	1440		
24R	450	1910		
36R	650	2810		
2R	70	190	80kA 5080V	50kA 5080V
3R	100	225		
4R	130	330		
5R	150	400		
6R	170	500		
9R	200	740		
12R	230	955		
18R	390	1440		
24R	450	1910		

4.3.1.1. Intensidad Convencional de Fusión (I_f).

Es el valor determinado de la corriente que provoca la fusión del fusible en un tiempo determinado (tiempo convencional).

4.3.1.2. Intensidad Convencional de no-Fusión (I_{nf}).

Es el valor determinado de la corriente que puede ser soportado por el fusible sin fundir.

4.3.1.3. Corriente Mínima de Fusión (I_3).

Es el valor mínimo de la corriente que causa la fusión e interrupción del fusible. Generalmente, este valor varía en un rango de 1.35 a 3 veces la corriente nominal del fusible.

Para interrumpir una corriente, no basta con que se produzca la fusión del elemento fusible, puesto que para corrientes inferiores a I_3 (Figura 4.31b), es probable que el fusible derrita, pero no necesariamente interrumpe la corriente debido a que el arco se mantiene hasta que una acción externa interrumpe la corriente.



Fig. 4.3.1. La fusión del elemento fusible no interrumpe totalmente la corriente, al estar sometido a grandes niveles de voltaje.

4.3.1.4. Corriente crítica (I_2).

Dependiendo del diseño del elemento fusible, el valor de la corriente crítica (Fig. 4.3.1.b) puede variar entre 20 y 100 veces la corriente nominal del fusible. Si el fusible interrumpe esta corriente, también podrá interrumpir con seguridad la gama de corrientes entre I_3 e I_1 .

4.3.4.5. Corriente máxima de ruptura (I_1).

Esta corresponde a la mayor corriente de falla que el fusible es capaz de interrumpir. En el momento de seleccionar un fusible, es necesario asegurarse que la corriente máxima disponible del sistema, sea igual o menor que el valor de corriente I_1 del fusible.



Fig. 4.31b. Zonas de operación de acuerdo a la magnitud de la corriente de falla.

4.3.2. Voltaje Nominal (*Vn*).

Es el máximo valor de tensión a que puede estar sometido el fusible. Cualquier otro valor de voltaje inferior al nominal especificado en la etiqueta, el fusible puede trabajar en condiciones normales de operación, por lo tanto *Vn* debe ser igual o superior al voltaje del circuito donde se aplicará el fusible. Por ejemplo, un fusible con un *Vn* de 600 volts puede ser usado en un circuito de 220 volts.

Este nivel de voltaje corresponde a la capacidad que tiene el fusible para extinguir rápidamente el arco de corriente después de que el elemento se ha fundido. Un fusible nunca debe ser aplicado en un circuito donde el voltaje sea superior al nominal del fusible, debido a que su cuerpo no resistirá la diferencia de potencial y su capacidad dieléctrica disminuirá entre los terminales hasta que se produzca su recalentamiento y posterior destrucción.

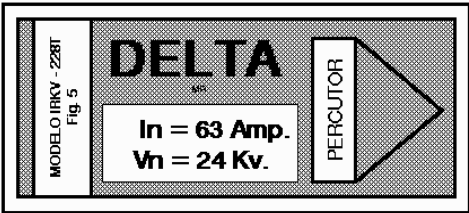


Fig. 4.3.2. Etiqueta de un fusible indica la corriente y el voltaje nominal.

La norma nacional NCh2025/1 (homologación de la norma IEC 269-1), establece los valores normales de tensiones nominales en corriente alterna para fusibles en la siguiente tabla.

Tabla 4.3.2a.

Serie I (Volts)	Serie II (Volts)
	120
	208
220 (230)	240
	277
380 (400)	415
500	480
660 (690)	600

Para corriente continua, los valores preferidos para las tensiones nominales son los siguientes: 110-125-220-250-440-460-500-600-750 V. El voltaje del dispositivo fusible puede tener un valor diferente de la tensión nominal del conjunto portafusible. En este caso, la tensión nominal del dispositivo fusible debe ser de valor igual o inferior al voltaje nominal del portafusible. También, la norma americana ANSI / NEMA normaliza los siguientes valores de voltaje en corriente alterna para fusibles, según su característica de Retardo de Tiempo.

Tabla 4.3.2b.

Valores de voltajes AC para fusibles con retardo de tiempo y sin retardo de tiempo
250V
300V
600V
Valores de voltajes DC para fusibles con retardo de tiempo y sin retardo de tiempo
125V
250V
300V
500V
600V

La mayoría de los fabricantes de fusibles para media tensión, utilizan unos rangos de voltajes para clasificar a los fusibles, por ejemplo:

Clase 3 / 7,2 kV – 6 / 12 kV – 10 / 17,5 kV – 10 / 24 kV – 20 / 36 kV.

4.3.3. Capacidad de Ruptura.

Es la máxima corriente de cortocircuito que el fusible es capaz de interrumpir a tensión nominal sin que en él se produzcan daños físicos. El valor de corriente de interrupción (Poder de Corte) es la máxima corriente de cortocircuito disponible que circula por un dispositivo de protección contra sobre intensidades y que puede interrumpir sin daño.

La operación segura requiere que el fusible siga estando intacto (sin explosión) y que no emita llama o soldadura fundida, que podrían ser un riesgo de incendios.

Este valor es asignado por el fabricante y es muy importante para los dispositivos protectores de cortocircuitos.

Una de las cualidades que distinguen a los fusibles de otros dispositivos de protección, es su alta capacidad de ruptura contenida en un pequeño volumen.

En la etapa del diseño y fabricación de los cuerpos fusibles, deben tenerse en cuenta numerosas características de calidad para que estos puedan garantizar el valor de la capacidad de ruptura que se les ha asignado.

Las láminas fusibles también influyen en la capacidad de ruptura en cuanto a la geometría y la ubicación dentro del cuerpo, y además de la pureza química, el tamaño, la forma de los granos y la densidad de la sílice utilizada como medio de extinción del arco.



Fig. 4.3.3. Corte transversal de un fusible quemado con 2000 A. El uso de un medio de extinción del arco inapropiado, reducirá la capacidad de ruptura del fusible.

4.3.4. Relación de velocidad (Speed Ratio).

Es la relación o el cociente entre la corriente de fusión a 0.1 segundos y la corriente de fusión a 300 segundos. Para corrientes superiores a 100 Amp. nominales, se reemplaza la corriente de 300 seg. por la de 600 seg. Este concepto es muy utilizado por la norma ANSI C37.42, 43 para fusibles de expulsión de AT.

4.3.5. Temperatura ambiente.

Esta característica se refiere a la temperatura del aire que rodea inmediatamente al fusible (según la NCh2025/1, aproximadamente a 1 metro de distancia) y no debe confundirse con la temperatura del medio ambiente.

La temperatura ambiente del fusible es considerablemente alta en algunos casos, debido a que puede estar montado en el interior de un panel de protecciones, o cerca de un componente que disipe mucho calor como resistencias, transformadores, etc. La temperatura del ambiente tiene incidencia en los tiempos de fusión del fusible y se debe tomar en cuenta sobre los 40° C y bajo los 10° C, aunque la norma chilena NCh2025/1, indica que la temperatura promedio en un período de 24 horas no debe ser superior a 35 ° C, y el valor mínimo del aire ambiente debe ser –5 ° C.

4.3.6. Reducción de la capacidad nominal (DERATING).

Para una temperatura ambiente de 25°C, se recomienda que los fusibles deben trabajar a no más del 75% de su corriente nominal establecida usando las condiciones controladas de prueba.

En algunos casos es necesario efectuar algunas modificaciones para evitar las variaciones de la capacidad nominal, por ejemplo el uso de porta fusibles cerrados, grandes resistencias de contacto, circulación de aire y cambios en el diámetro y el largo de los cables conectores.

4.4. Información general de fusibles suministrada por el fabricante.

La información técnica relacionada con un fusible, proporcionada por el fabricante, debe ser lo más clara y completa posible para facilitar una correcta comunicación con el usuario. De esta información dependerá el uso correcto de dichos elementos de protección, y de no ser exacta puede ocasionar gastos innecesarios y daños a componentes y equipos del circuito eléctrico.

Esta información está referida a los puntos mencionados a continuación.

1. Corriente Nominal (In).
2. Voltaje Nominal (Vn).
3. Capacidad de Ruptura (Irup.)
4. Tipo de corriente (AC o DC)
5. Frecuencia.
6. Clase.
7. Tipo de Fusión.
8. Normas.
9. Curvas de operación.

4.4.1. Curva característica de corriente en función del tiempo.

Una curva característica de tiempo-corriente para un fusible específico, generalmente se muestra como una línea continua que representa el tiempo en segundos, que tarda el fusible en interrumpir una determinada sobrecorriente. Estas curvas son representadas en papel logarítmico para facilitar su lectura.

Los valores de la corriente se indican el eje de las abscisas (x), incrementándose de izquierda a derecha, y en la ordenada (y) se muestra el tiempo de operación que generalmente comienza en 10 mili segundos (1/2 ciclo a 50 Hz), aumentando su valor desde abajo hacia arriba.

Existen dos tipos de curvas que indican la característica tiempo-corriente, donde el factor común en ambas es la corriente.

La primera y la más común es la curva de Pre-arco (melting), donde el eje “y” indica el tiempo que el fusible tarda en alcanzar la temperatura de fusión del elemento fusible.

La segunda curva corresponde al tiempo total de despeje del fusible (total clearing). Los tiempos indicados por esta curva, comprenden el tiempo de pre-arco y el de arco, es decir, el tiempo total que tarda el fusible en interrumpir la sobrecorriente.

Para interpretar una curva de operación de un fusible, se puede empezar la lectura por medio el eje de corriente para conocer el tiempo de operación, o a partir del eje de tiempo para determinar la cantidad de corriente en amperes, y solamente hay que interceptar la curva del amperaje nominal del fusible en cuestión para luego dirigirse hacia el eje de la variable a conocer. En la figura 4.4.1 se muestra una familia de curvas de operación para distintos amperajes. Si se desea conocer el tiempo que tarda en operar un fusible de 30 A, para una corriente de 150 A (punto A), hay que interceptar la curva (punto B) para obtener el tiempo en el eje ordenado (punto C), el cual corresponde a 10 segundos. Ahora si se requiere conocer la corriente de operación para un tiempo de 0.1 segundos (punto D), hay que interceptar la curva (punto E) y luego obtener la lectura en el eje de las abscisas, el cual indica una corriente de aproximadamente 300 A.

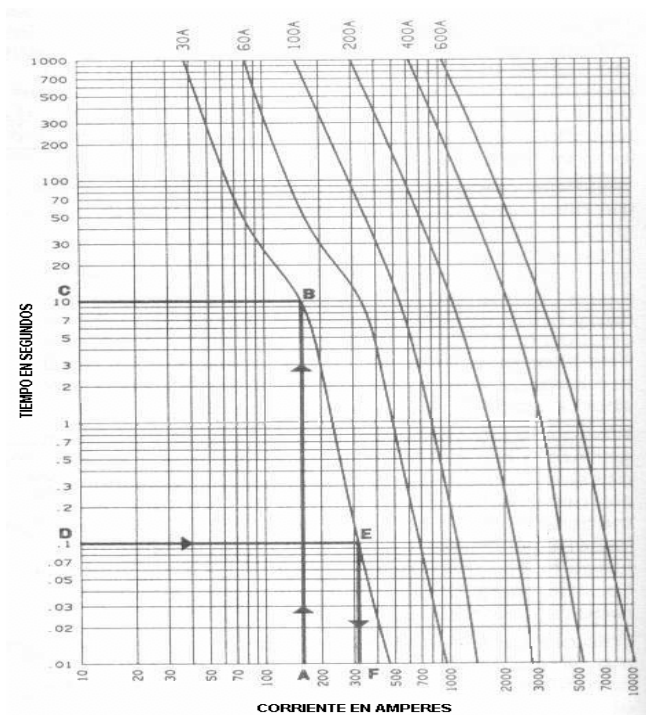


Fig. 4.4.1. Diagrama explicativo de las curvas tiempo-corriente.

4.4.2. Corriente Presunta en Función de la Corriente de Corte.

Los fusibles limitadores tienen la capacidad de interrumpir severas corrientes de cortocircuitos dentro del primer semiciclo después de ocurrida la falla, reduciendo considerablemente la corriente de falla disponible a un valor mucho menor.

Este efecto de limitación de corriente es graficado en las curvas de limitación. En el eje de las abscisas se representa la corriente de falla disponible simétrica R.M.S. en amperes, y en el eje ordenado se representa el peak de corriente instantáneo disponible y el peak de la corriente limitada por una cierta cantidad de fusibles ordenados por su corriente nominal.

Del gráfico 4.4.2 es posible deducir que el peak de corriente instantáneo es aproximadamente 2.3 veces la corriente de falla disponible, y según la información

suministrada por los fabricantes, la relación 2.3:1 se da para circuitos que generan corrientes de cortocircuitos con un factor de potencia del 15%, es decir en una condición desfavorable para el despeje de una falla.

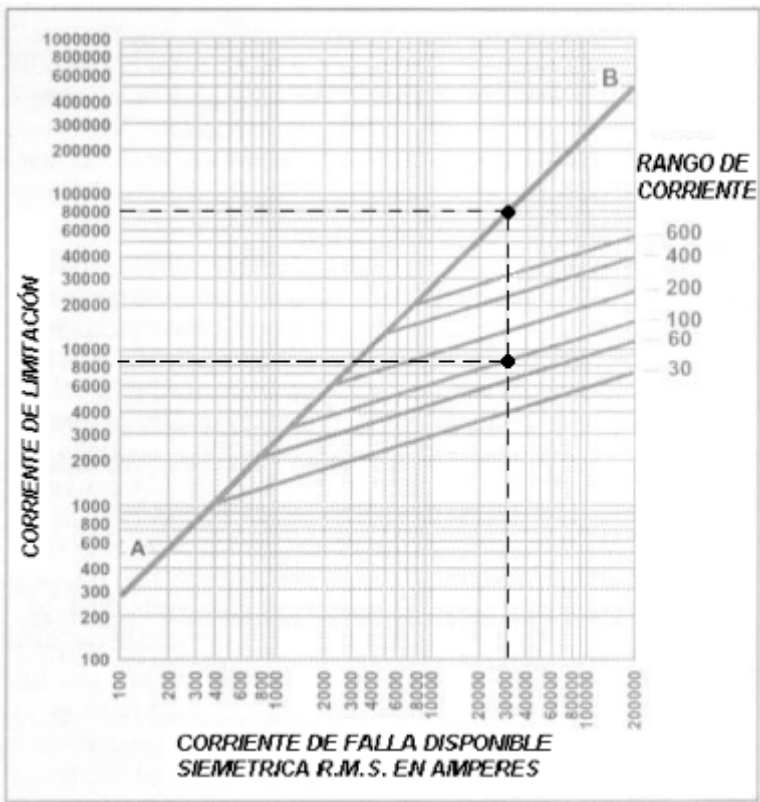


Fig. 4.4.2. Diagrama explicativo de las curvas de limitación.

Para comprender mejor las curvas de limitación, se tomará el siguiente ejemplo: En un determinado circuito eléctrico, dispone de una corriente de falla de 30.000 Amp. simétricos. Además, el sistema se encuentra protegido por un fusible limitador de 100 Amp. Con éstos datos es posible determinar a qué valor de corriente es limitado el peak de corriente instantáneo según la figura 4.4.2.

Según el procedimiento indicado anteriormente, el primer paso es ubicar la corriente disponible de 30.000 amperes en el eje de las abcisas. Prolongando una línea imaginaria hasta interceptar la recta principal A-B, para luego efectuar una lectura en dirección del eje ordenado, se determina el peak de corriente instantáneo, el cual alcanza aproximadamente una corriente de 80.000 amperes.

Haciendo el mismo procedimiento anterior, pero ahora interceptando la curva de limitación del fusible de 100 amperes, el eje ordenado indicará la corriente que el fusible es capaz de limitar según las condiciones del circuito, y ésta alcanza el valor aproximado de 8.000 amperes.

Interpretando los valores obtenidos de la curva de limitación, se puede decir que el fusible de 100 amperes reduce peak de corriente instantáneo durante la falla desde 80.000 amperes hasta 8.000 amperes.

Dicho valor de corriente de limitación es menor que la mitad del peak de corriente instantáneo, y como la fuerza electromagnética creada por el flujo de la corriente de falla es en función del peak de corriente al cuadrado, el fusible limitador reduce estos esfuerzos electromagnéticos a menos de ¼ del total que podría suceder en la ausencia del fusible.

4.4.3. Corrección por Temperatura Ambiente.

La temperatura ambiente referida en este análisis, es la temperatura del medio que rodea y que normalmente está en contacto con el fusible. Este medio generalmente es el aire. Las pruebas efectuadas en los fusibles, generalmente se realizan en un medio ambiente con temperatura de 25° C. Sin embargo, estos dispositivos de protección se ven afectados por la temperatura del medio que los rodea, cambiando su comportamiento de tiempo de operación frente a una determinada corriente. En algunos casos, la temperatura ambiente suele ser muy extrema, como en el caso de fusibles montados en gabinetes cerrados o cerca de componentes que producen mucho calor, como resistores o transformadores. Gráficos como el de la figura 4.4.3, permiten determinar el porcentaje de la corriente nominal de un fusible producto de la variación en la temperatura ambiente. Por ejemplo, un fusible lento de 10 Amp. que trabaja en una temperatura ambiente de 50° C, se comporta como uno de 9 Amp.

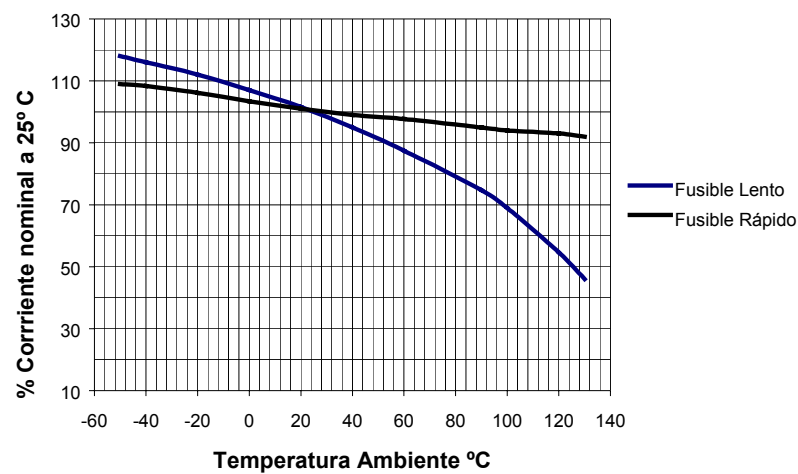


Fig. 4.4.3. Gráfico del efecto de la temperatura ambiente sobre la capacidad de transporte de corriente de un fusible rápido y lento.

4.4.4. Corrección por Carga previa o Carga Inicial.

Al igual que otros dispositivos de protección, como relés e interruptores automáticos, la operación de un fusible dependerá además de la cantidad de corriente que lo está circulando en el momento de la falla, es decir, si el dispositivo está conduciendo una corriente inferior, igual o superior a la nominal especificada en su etiqueta. La curva de operación para un fusible, se verá desplazada dependiendo del porcentaje de la corriente nominal. Un fusible de 100 A trabaja permanentemente con corriente de carga de igual magnitud, según el gráfico de la figura 4.4.4, los tiempos de operación se reducirán en un 80%.

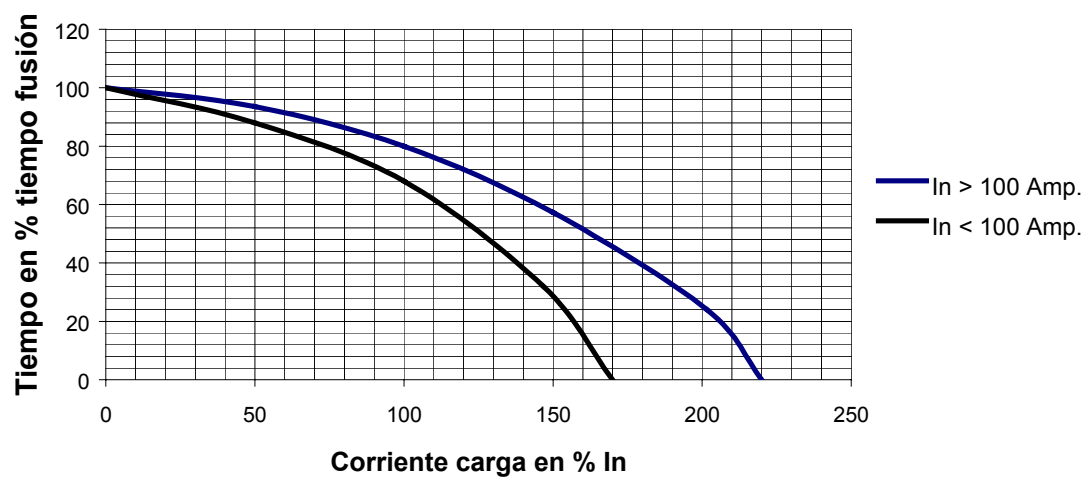


Fig. 4.4.4. Curvas de corrección por carga previa.

4.4.5. Corrección por Altitud.

Las normas IEC 269-1, BS 88 parte 1 y NCh 2025 para fusibles de baja tensión, establecen que la altitud máxima de utilización es de 2000 metros sobre el nivel del mar. La norma ANSI / NEMA publicación FU 1, establece una altitud máxima de utilización de 3030 metros.

La norma IEC publicación 292-1 para fusibles de alta tensión, indica que la altitud máxima de operación es 1000 metros. Si las características dieléctricas del fusible no varían sobre los 1000 metros, el nivel de corriente y el aumento de la temperatura pueden ser corregidas para altitudes mayores. Para ello, es necesario aplicar los factores de corrección indicados en la tabla siguiente.

Tabla 4.4.5. Factores de corrección por altitud

Altitud Máxima (m)	Factor de corrección para nivel de corriente	Factor de corrección para temperatura
1000	1.0	1.0
1500	0.99	0.98
3000	0.96	0.92

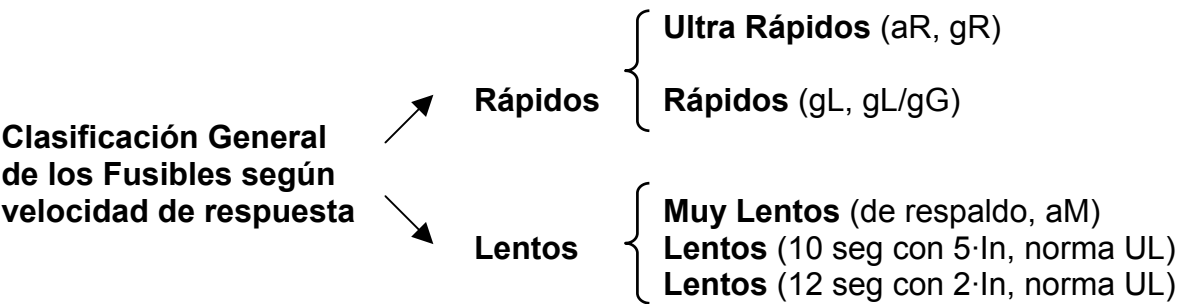
Para explicar el factor de corrección para la corriente nominal de un fusible de alta tensión, se supondrá el siguiente ejemplo:

Se dispone de un fusible DELTA modelo IRKV-123 / 10 T 24, para ser montado en una zona con una altitud de 3.000 metros sobre el nivel del mar.
Un fusible de 10 amperes, curva lenta, opera con 5 veces I_n (50 Amp.) en un tiempo de 10 segundos. Aplicando el factor de corrección para $5 \times I_n$, a una altitud de 3.000 metros, se obtiene una corriente de 48 amperes, es decir, el fusible se comporta como uno de menor amperaje y por lo tanto su tiempo de real de operación se hace más corto.

4.5. Clases de fusión en los fusibles.

El tipo de fusión es otra característica importante a considerar en la elección de un fusible y dependerá de los tipos de cargas conectadas al circuito que se desea proteger, ya sean reactivas (motores, transformadores, condensadores), resistivas o circuitos electrónicos (semiconductores).

Las normas internacionales referentes a fusibles, americanas (ANSI / UL) y europeas (BS88, IEC), han creado sus propios estándares para clasificar a los fusibles según su aplicación, designaciones físicas y parámetros eléctricos.



A los fusibles Rápidos, comúnmente se les designa con las expresiones Flink, One Time, Quick-Acting, class H, etc.). Los fusibles Ultra Rápidos se les designa como Super Flink, High Speed, Very Fast Acting, Semiconductor, FF, clase S, etc.). Los fusibles Lentos se pueden encontrar designados como Träge, Time Delay, Slow Blow, Time-Lag, clase TT, clase T, etc.

La norma **IEC** (International Electrotechnical Commission) creó un código para distinguir a los fusibles formado por solamente dos letras, siendo minúscula la primera y mayúscula la restante. Dicho código se encuentra en la publicación **IEC-269-1 Cláusula 5.7.**

La Primera letra define el régimen operativo del fusible, ya sea sobrecarga, cortocircuito o ambos.

g = Indica que el fusible interrumpe toda clase de corrientes (sobrecargas y cortocircuitos).

a = Indica que el fusible es capaz de interrumpir solo corrientes de cortocircuitos.

La segunda letra define la categoría de utilización del fusible, o el equipo a proteger.

G = Indica que el fusible protege líneas y aparatos en general.

L = Indica que el fusible protege líneas y aparatos en general (norma DIN, VDE).

M = Indica que el fusible protege Motores.

Tr = Indica que protege Transformadores.

C = Indica que protege a condensadores y circuitos capacitivos.

R = Protege semiconductores de potencia, rectificadores y circuitos electrónicos.

B = Indica que es aplicable en la minería.

Por ejemplo:

gG = Fusible con capacidad para interrumpir todas las corrientes en uso general.

gL = Fusible para uso general. Se utilizan en la protección de líneas, estando diseñada su curva de fusión para una respuesta lenta en las sobrecargas, y rápida frente a los cortocircuitos.

gM = Fusible con capacidad para interrumpir todas las corrientes para uso en motores.

gTr = Protegen a los transformadores contra sobrecargas y cortocircuitos, sin limitar su capacidad de carga, además soportan las corrientes típicas de los sistemas de distribución.

gC = Protegen a condensadores contra sobrecargas y cortocircuitos.

gB = Fusible especialmente desarrollado para su utilización en minas donde los cables son muy largos. Actúa en un corto tiempo, evitando así el calentamiento excesivo del cable.

aM = Fusible con capacidad para interrumpir parte de las corrientes y uso en motores. Protegen contra altas sobre intensidades hasta su poder de corte nominal, y deben asociarse a dispositivos de protección térmica contra pequeñas sobre intensidades.

aR = Fusible que protege a semiconductores contra corrientes muy intensas como cortocircuitos.

gR = Fusible que protege a semiconductores contra sobrecargas y cortocircuitos.

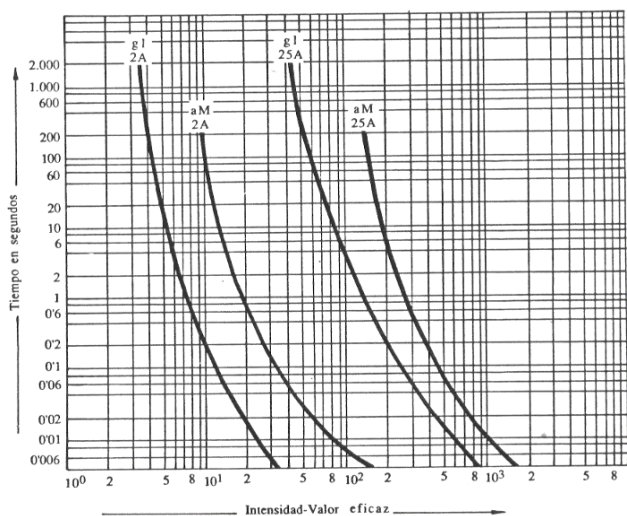


Fig. 4.5a. Gráfico comparativo curvas de operación fusible gL y aM.

La norma **IEC-127-2**, clasifica a los fusibles de vidrio según la siguiente manera:

- Fusibles (5 mm · 20 mm) de **Acción Rápida** (Quick-acting) de Alta Capacidad de ruptura.

Tabla 4.5a.

2.1·In	2.75·In		4·In		10·In
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Máximo
30 min.	10 mseg.	2 seg.*	3 mseg.	300 mseg.	20 mseg.

* Para valores de corriente de 4-5 y 6.3 A

- Fusibles (5 mm · 20 mm) de **Acción Rápida** (Quick-acting) de Baja Capacidad de ruptura.

Tabla 4.5b.

Corriente	2.1·In	2.75·In		4·In		10·In
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Máximo
32 a 100 mA	30 min.	10 mseg.	2 seg.*	3 mseg.	300 mseg.	20 mseg.
Sobre 100 mA hasta 6.3 A	30 min.	50 mseg.	2 seg.	100 mseg.	300 mseg.	20 mseg.

- Fusibles (5 mm · 20 mm) de **Acción Lenta** con retardo de tiempo (Time-Lag) de Baja Capacidad de ruptura.

Tabla 4.5c.

Corriente	2.1·In	2.75·In		4·In		10·In	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
32 a 100 mA	2 min.	200 mseg.	10 seg.	40 mseg.	3 seg.	10 mseg.	300 mseg.
sobre 100 mA hasta 6.3 A	2 min.	600 mseg.	10 seg.	150 mseg.	3 seg.	20 mseg.	300 mseg.

- Fusibles (6.3 mm · 32 mm) de **Acción Rápida** (Quick-acting) de Baja Capacidad de ruptura.

Tabla 4.5d.

Corriente	2.1·In	2.75·In		4·In		10·In
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Máximo
50 a 100 mA	20 seg.	2 mseg.	200 mseg.	1 mseg.	30 mseg.	5 mseg.
Sobre 100 mA hasta 10 A	20 seg.	20 mseg.	1500 mseg.	8 mseg.	400 mseg.	80 mseg.

La norma **IEC-269-2**, clasifica a los fusibles gL y gLL tipo industrial en la Tabla 4.5e, y los tipo aM en la Tabla 4.5f.

Límites de zona Tiempo (segundos) / Corriente (Amperes) para fusibles uso general gl y gLL.

Tabla 4.5e. Fusibles gL y gLL.

Corriente		3.15·In		6.3·In		12.5·In		25·In
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Máximo
gL	2	0.055	30	0.004	1		0.08	0.008
	4	0.15	36	0.011	1		0.08	0.01
	6	0.28	41	0.02	1		0.1	0.012
	8	0.4	44	0.03	1.2		0.1	0.012
	10	0.55	48	0.04	1.5	0.006	0.1	0.014
	12	1	52	0.1	2	0.01	0.14	0.016
	16	1.2	56	0.1	3	0.012	0.2	0.02
	20	1.5	60	0.1	3	0.014	0.2	0.02
	25	2.1	64	0.14	3	0.015	0.2	0.02
	32(35)	3	70	0.2	3	0.02	0.2	0.02
	40	3	70	0.2	3	0.02	0.2	0.02
	50	3	70	0.2	3	0.02	0.2	0.02
	63	3	70	0.2	3.15	0.02	0.2	0.02
	80	3	80	0.2	3.55	0.02	0.22	0.02
gLL	2	0.0085	0.27		0.016			
	4	0.016	1		0.04		0.004	
	6	0.033	12		0.55		0.37	
	8	0.04	14	0.04	0.6		0.04	
	10	0.06	16		0.7		0.044	
	12	0.55	17	0.037	0.8		0.05	0.0037
	16	0.6	19	0.04	0.86	0.003	0.058	0.004
	20	0.7	21	0.044	1	0.0031	0.065	0.0045
	25	0.8	26	0.05	1.1	0.0037	0.07	0.0053
	32	0.86	28	0.58	1.2	0.004	0.08	0.0057
	40	1	55	0.065	2.1	0.0043	0.15	0.001
	50	1.2	63	0.07	3	0.0053	0.2	0.02
	63	1.2	71	0.08	3.15	0.0057	0.2	0.02
	80	2.1	80	0.15	3.55	0.01	0.22	0.02
gL y gLL	100	3	90	0.2	4	0.02	0.25	0.02
	125	3.15	100	0.2	4.45	0.02	0.28	0.0225
	160	3.55	112	0.22	5	0.02	0.315	0.025
	200	4	125	0.25	5.6	0.02	0.355	0.028
	250	4.45	140	0.28	6.3	0.022	0.4	0.0315
	315	5	160	0.315	7.1	0.025	0.445	0.0355
	400	5.6	180	0.355	7.95	0.028	0.5	0.04
	500	6.3	200	0.4	8.9	0.0315	0.56	0.0445
	630	7.1	315	0.445	16	0.0355	1	0.0795
	800	7.95	355	0.5	18	0.04	1.12	0.089
	1000	8.9	400	0.56	20	0.0445	1.25	0.1

Tabla 4.5f. Fusibles aM.

Veces In	4·In	6.3·In	8·In	10·In	12.5·In	25·In	50·In
Máximo	-	60	-	-	0.5	0.04	0.009
Mínimo	60	-	0.5	0.2	-	-	-

En general, los fusibles de acción lenta deben soportar **5 veces su corriente nominal durante un periodo de tiempo de 10 segundos**, y debido a esto se utilizan para proteger y respaldar instalaciones que están protegidas por dispositivos automáticos y para motores. Los fusibles utilizados en control operan sobre los **12 seg. con 2 veces su corriente nominal**.

4.5.1. Fusibles de Doble Elemento.

Estos fusibles con retardo de tiempo proporcionan un retraso del tiempo en niveles de sobrecargas los cuales eliminan la interrupción innecesaria del circuito debido a las sobrecargas inofensivas y a las condiciones transitorias.

Esta beneficiosa característica de tiempo corriente, se obtiene con el uso de dos elementos fusibles conectados en serie (Figura 4.5.1), contenidos dentro de un mismo cuerpo, un elemento de corte por efecto térmico y otro elemento fusible rodeado con material de extinción de arco.

La magnitud de sobre intensidad de corriente determina cuál elemento debe operar. El elemento de corte térmico es designado para abrir con sobrecorrientes aproximadamente superiores al 500% de la corriente nominal del fusible con un tiempo mínimo de 10 seg. El elemento fusible para cortocircuitos es designado para abrir con fuertes corrientes de cortocircuito para intensidades mucho mayor que su corriente nominal.

El tiempo de apertura de un fusible depende del tipo de fusión y de la magnitud de sobre intensidad de corriente. Una condición de sobre corriente puede ser de naturaleza temporal, y ésta puede disminuir su valor hasta condiciones normales en un corto período.

Los fusibles de doble elemento con retardo de tiempo son muy utilizados en variadas aplicaciones, circuitos de motores, transformadores y otros. Los fusibles limitadores sin retardo de tiempo son usados donde existen respuestas rápidas con pequeñas o sin sobrecargas. Una típica aplicación es para proteger interruptores de poder de posibles niveles grandes de cortocircuitos. Al comparar estos fusibles a 500 amperes, se puede deducir que el de doble elemento abre en 10 segundos y el que no tiene retardo de tiempo lo hace en 0.2 segundos. Para este nivel de corriente la relación es de 50 a 1. Para una corriente de 200 amperes la relación es de 20 a 1.

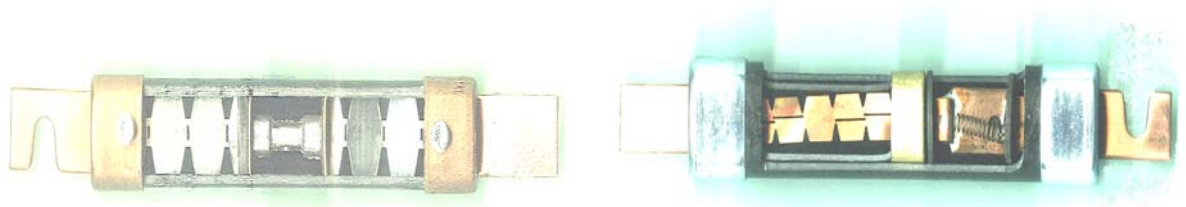


Fig. 4.5.1. Corte transversal de dos fusibles de doble acción con distintos sistemas de corte en sobrecarga.

Los fusibles **Rápidos** operan con **200 % la corriente nominal entre 1 a 5 segundos**, y aproximadamente **20 mili segundos con 10 veces I_n** , y los **ultrarrápidos** deben actuar **con 5 veces su corriente nominal en un tiempo de 10 mili segundos** (1/2 ciclo para frecuencia de 50 Hz). Esta cualidad limitadora los hace muy utilizados para proteger circuitos que incluyen semiconductores.

4.5.2. Fusible Limitador.

Es un dispositivo de operación rápida, que no actúa con bajas corrientes. El fusible limitador solo actúa para proteger contra altas corrientes. Los modernos fusibles limitadores ofrecen protección contra corrientes de fallas antes de que éstas alcancen una magnitud que puedan ocasionar daños.

Este fusible se utiliza comúnmente junto con otro dispositivo fusible para proteger en sobrecargas, las fallas de alto nivel de corriente son despejadas por el fusible limitador. Los dos fusibles son conectados en serie y están coordinados de manera que el fusible limitador de corriente solo actúa cuando existe falla de alta corriente.

Los fusibles limitadores también pueden restringir la corriente de cortocircuito antes de que se alcance el peak de corriente máximo, y puede despejar el circuito en la mitad de un ciclo o menos. El grado de corriente de limitación depende del tipo de fusible, de la corriente nominal del fusible, de la corriente disponible del circuito y de la impedancia de la red. Limitar el valor máximo de la corriente de falla, no solo es importante para la capacidad de ruptura del fusible, sino también para la rentabilidad de la instalación.

Los fusibles limitadores generalmente se construyen con varias láminas fusibles en paralelo, las cuales tienen varias estricciones. El corte simultáneo de todas las filas dispuestas en la lámina fusible en el momento de la falla, debilita la formación del arco debido a que se subdivide en una serie de pequeños arcos parciales conectados eléctricamente en serie y paralelo, y con la acción del medio de extinción se asegura la desconexión rápida con una fuerte limitación de la corriente. En el gráfico de la figura 4.5.2 se puede observar la diferencia en los tiempos de operación de un fusible de acción rápida y otro con retardo de tiempo, ambos de 30 Amp., comparando sus respectivas curvas.

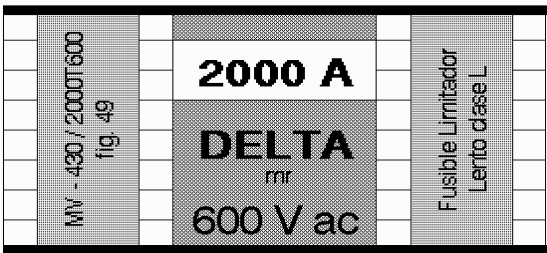


Fig. 4.5.2a. Etiqueta fusible limitador.

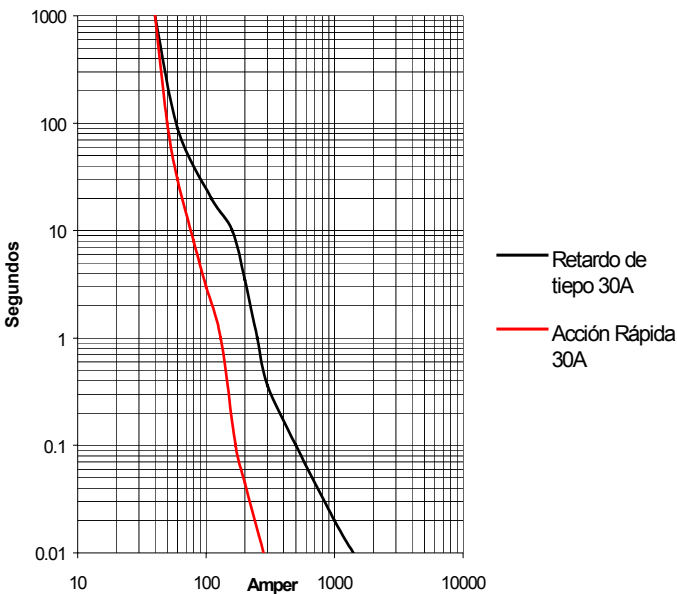


Fig. 4.5.2b. Curva comparativa fusible con retardo de tiempo y uno de acción rápida, ambos de 30 A.

4.6. Análisis Comparativo de Fusibles y otros Dispositivos de Protecciones Eléctricas.

Como se mencionó en el capítulo I del presente estudio, el fusible ha estado protegiendo las instalaciones eléctricas desde hace más de 120 años. Durante todo este período de tiempo, la tecnología de las protecciones eléctricas ha creado muchos dispositivos cada vez más cómodos de utilizar, inteligentes y seguros en su accionamiento. Según esto, queda una gran interrogante que responder, ¿Porqué hasta la actualidad, la fabricación de los fusibles eléctricos continúa teniendo una gran demanda?

Para contestar esta pregunta, primero se analizarán las virtudes que poseen los fusibles eléctricos en comparación con otros dispositivos electromecánicos o electromagnéticos de protección, algunas de las cuales se detallan a continuación.

1.- Los fusibles no poseen partes móviles. Las contaminaciones por el medio que rodea a los fusibles, como el polvo, la humedad, aceites y gases, no influyen en sus características operativas ni afectan su calidad de protección. Los dispositivos de protecciones que poseen mecanismos internos de conexión se ven afectados por estos agentes, repercutiendo en su calidad de operación.

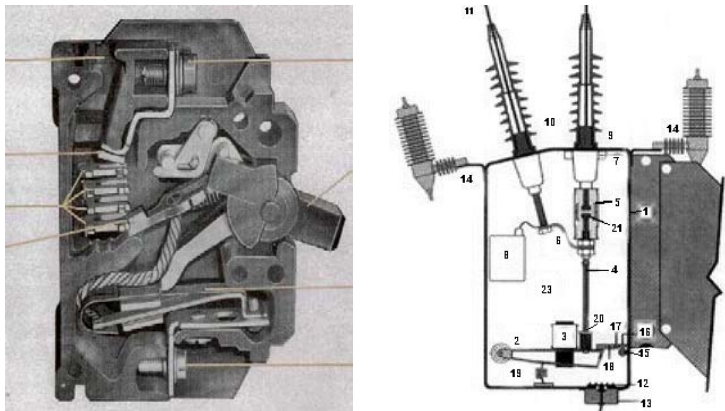


Fig. 4.6a. Vista interna de aparatos electromecánicos

2.- La velocidad de respuesta de un fusible fijo no está afectada por el paso del tiempo, manteniendo su habilidad de protección cuando se lo requiere. Las partes que componen estos mecanismos se van desgastando con el tiempo, producto de su respuesta ante corrientes de falla, o bien por el uso como interruptor para determinadas maniobras. Los fabricantes de éstos dispositivos estipulan un número máximo de maniobras de acuerdo a la durabilidad eléctrica o mecánica del aparato.

3.- El fusible no requiere de mantenciones periódicas ni recalibraciones, como las necesita un aparato electromecánico de protección.



Fig. 4.6b. Reconectores con aisladores dañados por efectos de fallas y condiciones ambientales.

4.- La **capacidad de limitación** de corriente de un fusible fijo minimiza los daños de los componentes asociados al sistema protegido. Los efectos térmicos y electrodinámicos que producen las grandes sobre intensidades, quedan limitadas a un bajo valor debido a la rápida acción del fusible (Punto 2), minimizando así los daños en aislaciones y esfuerzos electrodinámicos en cables conductores, barras, aisladores y otros equipos.

Cabe destacar que el elevado poder de ruptura de los fusibles está asociado a un volumen relativamente modesto del cuerpo y por consiguiente una mayor economía.



Fig. 4.6c. Daños en equipos eléctricos ocasionados por fuertes corrientes de falla.

- 5.- Las curvas de operación de los fusibles pueden ser fácilmente coordinadas de tal manera que una falla no provoque la interrupción de otros circuitos del mismo sistema.
- 6.- La alta capacidad de interrupción de los fusibles fijos de hasta 300.000 amperes, no tiene equivalencia en los fusibles automáticos.
- 7.- En caso de una falla los fusibles fijos se cambian, por tanto el sistema tendrá nuevamente su protección intacta y exacta, en cambio con fusibles automáticos podría estar resentido y no ser óptimo.
- 8.- El bajo costo de la inversión inicial de un fusible desechable comparado con un automático, lo hace lejos una mejor opción a pesar que la comodidad de este último lo hace muy atractivo en ciertas aplicaciones.

Una de las diferencias más notables entre fusibles y dispositivos automáticos radica en sus curvas de operación en cuanto a la dispersión y la forma. Los fabricantes de fusibles, entregan curvas de valor medio de la zona, pero también curvas de mínimo y máximo.

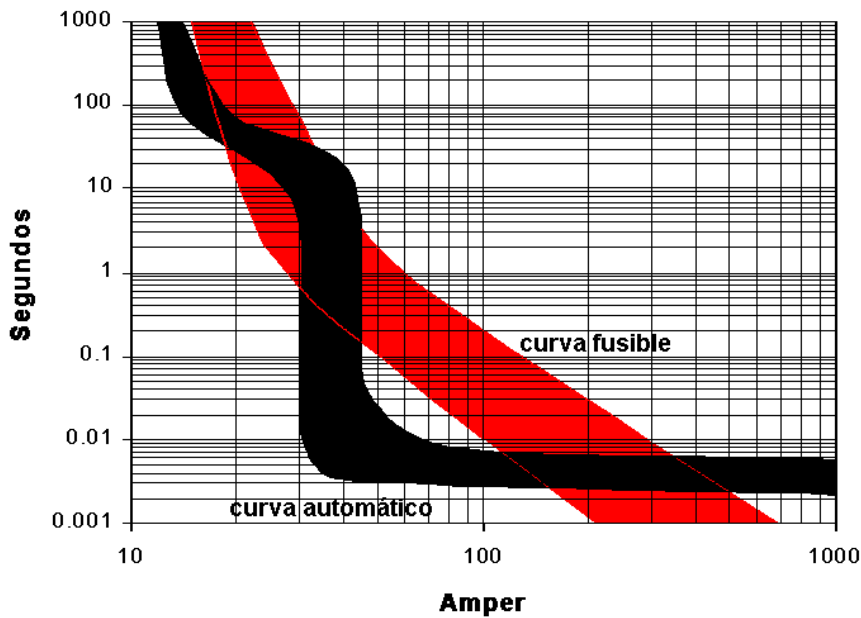


Fig. 4.6d. Curva de operación interruptor magneto-térmico tipo B 10 A, y zona de operación fusible gL 10 A según norma IEC-269-2

A diferencia de los interruptores tripolares, la actuación de los fusibles en una línea trifásica supone un problema, ya que con la fusión de uno de ellos se deja a la línea a dos fases, con los inconvenientes que ello conlleva.

Pese a esto, los avances tecnológicos en el área de las protecciones, han permitido la implementación de modernos seccionadores trifásicos, los cuales permiten que frente a la operación de un fusible se interrumpan el resto de las líneas no falladas, evitando de esta manera que se produzcan desequilibrios en el sistema.

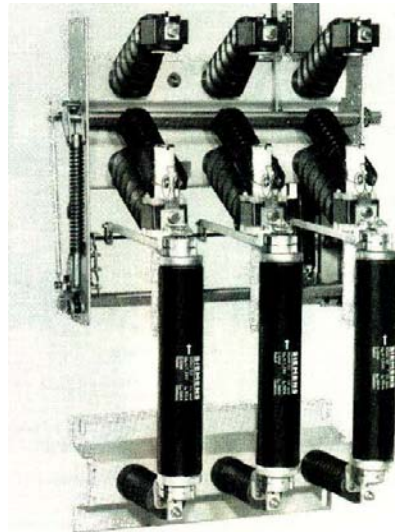


Fig. 4.6e. Interruptor Bajo Carga 24 kV con Fusibles HRC.

Es importante destacar que la norma **IEC 282-1** para fusibles de alto voltaje, en la **Sección 7 Cláusula 23.2**, recomienda que en una falla se deben reemplazar los **3** fusibles, aún cuando exista uno de ellos sin operar, a menos que se conozca definitivamente que la sobrecorriente no haya circulado por éste.

Los fusibles son elementos de reemplazo, en el caso de su operación se desechan y se substituyen por otros de iguales características. Quedan excluidos de esta característica los fusibles renovables, los cuales pueden ser reutilizados solamente cambiando el elemento fusible alojado en el interior del cuerpo.

El proceso de reemplazo de fusibles quemados, por parte del personal encargado, debe ser lo bastante rápido para reducir las pérdidas de tiempo en una determinada faena productiva, por lo tanto la intervención en los fusibles debe ser de fácil acceso.

Lamentablemente, la falta de conocimiento técnico en las personas en lo que respecta al reemplazo de fusibles, puede causar muchos riesgos para el personal, aparatos, equipos y las instalaciones debido a la facilidad en la intervención de los fusibles y para evitar la acción de reposición.

En la actualidad se previene el intercambio de fusibles de distinto accionamiento con la incorporación de características de rechazo como ranuras, gorros u otros, que necesitan de un portafusible especial. Estos fusibles se conocen como clase R.

A continuación se muestra claramente el uso y selección indebida de fusibles, demostrando que la aplicación de estos elementos de protección suele ser considerada sin darle la debida importancia.

Las Figuras 4.6.f y 4.6g, describen una avería externa en la fase de la izquierda, debido a una mala conexión en el montaje de los cables. El calor desarrollado por esta alta resistencia en el extremo del fusible, podría provocar su operación innecesaria.



Fig. 4.6f.

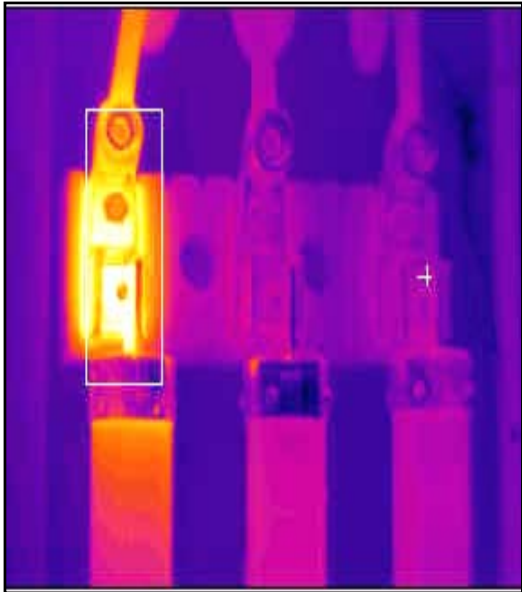


Fig. 4.6g.

Un fusible sin retardo de tiempo (non-time delay) trabajando constantemente en condiciones de sobrecarga, puede estar disipando altas temperaturas por mucho tiempo sin que éste opere.

El calor extremo irradiado hacia el medio tal como se muestra en las figuras 4.6h y 4.6i, provoca daños en la aislación de los cables y en los equipos cercanos.



Fig. 4.6h.

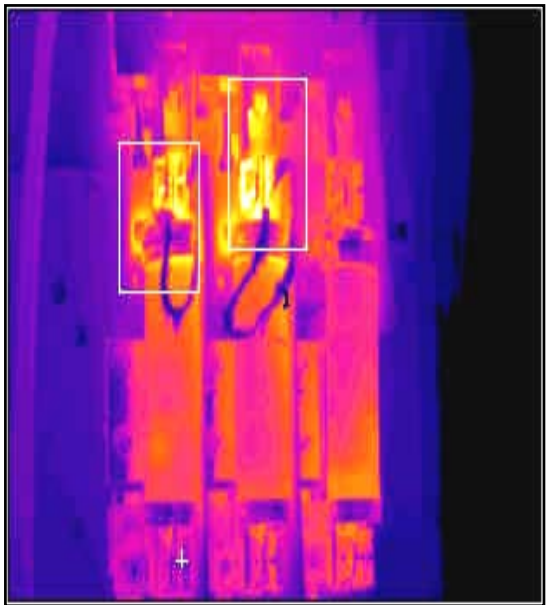


Fig. 4.6i.

4.7. Coordinación Selectiva.

Generalmente en los sistemas eléctricos, entre la fuente que proporciona la energía y el lugar de la instalación donde ocurre un defecto, suele haber varios aparatos de protección contra cortocircuitos.

Con la finalidad de desconectar la zona afectada por una falla eléctrica, es necesario que los fusibles reaccionen rápidamente, seleccionando la zona y separándola del resto del sistema en el menor tiempo posible de manera que la perturbación no afecte al resto de la red.

Para esto debe desconectar primero el fusible más cercano al lugar de defecto, y si por algún motivo este fusible no opera correctamente, debe actuar el siguiente que esté ubicado aguas arriba, y así sucesivamente.

La coordinación entre fusibles se determina gráficamente mediante la comparación de sus respectivas curvas características de operación. Para ello, las curvas deben estar graficadas a la misma escala para facilitar su lectura y no deben cortarse ni ser tangentes.

En general, para tener un buen grado de selectividad, debe existir una relación 2:1 entre las corrientes nominales de los fusibles que se desea coordinar.

En el caso de sobrecargas y pequeñas intensidades de cortocircuito esta observación es más evidente que en los casos de intensidades muy grandes de cortocircuito, debido a que los tiempos de fusión son extremadamente cortos y solamente para esta condición es posible la selectividad en fusibles con una notable diferencia de valor nominal de la intensidad, tal como se muestra en la figura 4.7a, donde existe una separación de aproximadamente 100 segundos entre las curvas de los fusibles para una corriente de falla de 1000 A.

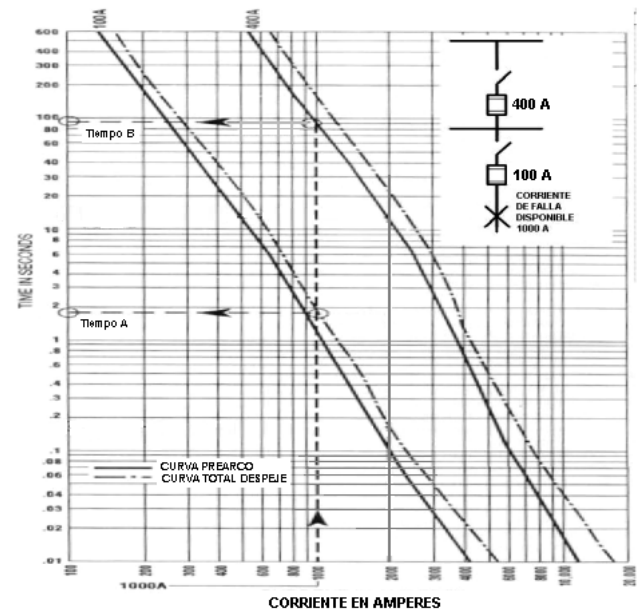


Fig. 4.7a. Esquema con dos fusibles en conexión serie, uno de 100 Amp. nominales y otro de respaldo de 400 A.

Sin embargo para coordinar fusibles bajo condiciones adiabáticas es necesario hacer un análisis de las energías térmicas disipadas de pre-arco (Melting) y de despeje total (Total Clearing). Para garantizar completamente una buena coordinación entre fusibles bajo condiciones de cortocircuito, debe cumplirse que la energía disipada de pre-arco sumada a la energía de arco del fusible ubicado aguas abajo, debe ser menor que la energía disipada de pre-arco del fusible ubicado aguas arriba.

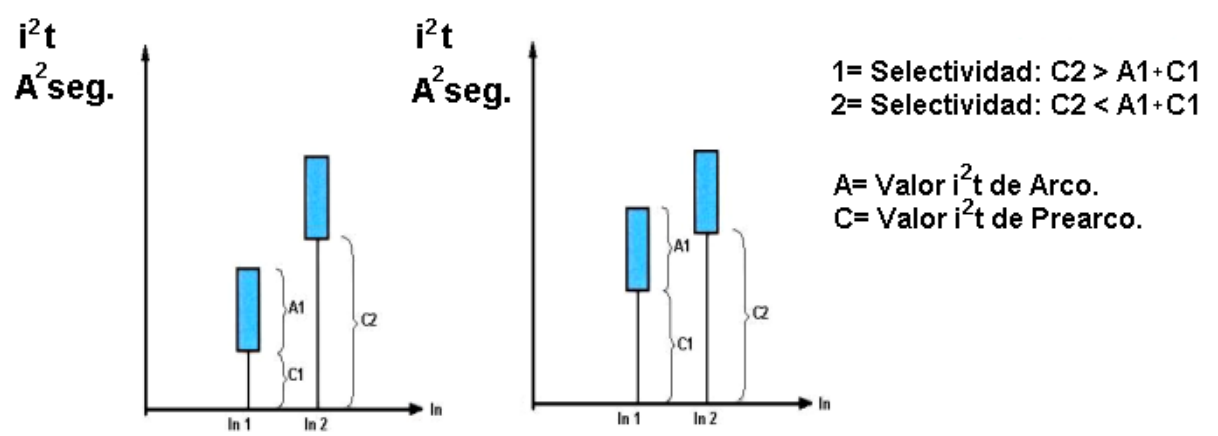


Fig. 4.7b. Gráfico de selectividad según i^2t .