

Unidad N° 7

INDICE

1 PROTECCIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	2
1.1 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PARA CORRIENTES	3
1.1.1 CAPACIDAD DE CIERRE.....	3
1.1.2 CAPACIDAD DE RUPTURA.....	3
1.2 FUSIBLE	4
1.2.1 CARACTERÍSTICA DE CORRIENTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	5
1.3 DISTINTOS OSCIOGRAMAS DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.....	7
1.4 LIMITACIÓN DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.....	8
1.5 ENERGÍA ESPECIFICA.....	9
1.6 TIPOS DE FUSIBLES.....	10
1.7 FUSIBLES- RESPUESTAS E INTERROGANTES PARA CONOCER MEJOR SUS POSIBILIDADES DE USO. .	11
1.7.1 ¿CUÁL ES LA DIFERENCIA ENTRE LOS FUSIBLES "GL" Y "AM"?	11
1.7.2 ¿QUÉ SIGNIFICA CORRIENTE Y TENSIÓN NOMINAL?	12
1.7.3 ¿EL FUSIBLE PROVOCA UN CONSUMO?	12
1.7.4 ¿QUÉ ES EL CAMPO DE FUNCIONAMIENTO?	12
1.7.5 ¿QUÉ SIGNIFICA: CORRIENTE CONVENCIONAL DE NO FUSIÓN (Inf) Y CORRIENTE DE FUSIÓN (If) ?	12
1.7.6 ¿QUÉ ENTIENDE POR CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO PRESUNTA?	13
1.7.7 ¿QUÉ IMPORTANCIA TIENE EL PODER DE INTERRUPCIÓN O CAPACIDAD DE RUPTURA?	13
1.7.8 ¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DEL PODER DE LIMITACIÓN?	13
1.7.9 ¿EN QUÉ CONSISTE LA CARACTERÍSTICA DE LIMITACIÓN?	14
1.7.10 ¿QUÉ SE ENTIENDE POR IMPULSO TÉRMICO?	14
1.7.11 ¿PORQUÉ CONVIENE LIMITAR NOTABLEMENTE EL IMPULSO TÉRMICO?	15
1.7.12 ¿CUÁL ES LA DIFERENCIA ENTRE EL IMPULSO TÉRMICO DE PREARCO E IMPULSO TÉRMICO DE ARCO?	15
1.7.13 ¿QUÉ SE ENTIENDE POR SELECTIVIDAD?	16
1.7.14 ¿CÓMO VERIFICAR LA SELECTIVIDAD DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN?	16
1.8 DISTINTOS TIPOS DE FUSIBLES.....	16
1.8.1.1 Fusibles de baja tensión	17
1.8.1.1.1 La diferencia entre los fusibles gl y aM (Ampliación).....	22
1.8.1.2 Fusibles de media tensión	22
1.8.1.2.1 Fusibles de media tensión (Ampliación).....	25

1 PROTECCIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS

En los sistemas eléctricos tenemos cuatro variables, que trabajan relacionadas entre ellas V (tensión), I (corriente), T (temperatura) y t (tiempo). Las variaciones de ellas fuera de los parámetros normales, pueden llegar a afectar a los equipos y elementos que se encuentran en las redes eléctricas.

Por ello se deben colocar diferentes dispositivos para proteger a los equipos de intercalados en la red a fin de proteger a los equipos de las perturbaciones que producen esas variables.

Los equipos y elementos vienen diseñados para trabajar en ciertos rangos nominales y soportar ciertas fluctuaciones que no van a producir un daño permanente en los equipos.

A continuación veremos las diferentes perturbaciones que pueden generar la tensión (V) y la corriente (I).

Cuando hablamos de TENSIÓN podemos tener:

- Baja Tensión
- Sobretensión
- Falta de tensión

Debemos analizar los orígenes de la sobretensión, pueden ser:

1. **Externos** : descargas atmosféricas por ejemplo.
2. **Internas** : debido a las maniobras que se realizan en los sistemas
3. **Interrupciones de circuitos con falla**: por falla se produce la apertura del circuito.

En el caso a Baja Tensión el origen puede ser debido a dos causas:

1. Que los circuitos eléctricos estén diseñados de alguna forma que se produzcan caída de tensión o pérdidas antes de llegar al tramo final, si hay excesiva resistencia del circuito eléctrico va a haber una importante caída de tensión y por ende baja tensión.
2. Es una falla asociada al circuito eléctrico, microcorte, en un sistema circuital cerrado, la apertura de una parte del circuito, puede hacer que todo el sistema se vea resentido.
Por una salida de servicio, debido a una falla de circuito entre fase y tierra o fase y fase, se produce una baja de tensión.
También se puede dar por una maniobra, como una conmutación de circuito.

La falta de tensión va asociado a distintas causas que la pueden provocar, porque se corto el conductor de una fase, porque actuó una protección, etc.

Siempre cuando falla una fase ocasiona algunos inconvenientes, por ejemplo: los motores tienen una característica que para poder tener una potencia eléctrica constante, al producirse una disminución de la tensión necesita aumentar la corriente, este aumento de

la corriente significa aumento de la temperatura que con el tiempo (a veces horas) la aislación se daña, (quema) produciendo la salida de servicio del mismo. Algo similar sucede en los transformadores con consecuencias que pueden ser mucho peores.

Cuando hablamos de CORRIENTE podemos tener:

- Sobrecarga
- Cortocircuito

Cuando hablamos de sobrecarga/ sobrecorriente estamos hablando en el orden de hasta dos veces la corriente nominal (I_n), no es una falla de cortocircuito sino que es una falla por excesiva corriente por encima de la nominal.

Cuando hablamos de cortocircuito, hablamos de n veces la corriente nominal, esta siempre va ligada a las potencias nominales que estamos manejando, en la medida que estemos mas cerca de la fuente de energía los valores de corriente de cortocircuito son mayores, a medida que nos alejamos y nos vamos acercando hacia la carga, esa corriente de cortocircuito va disminuyendo, porque hay impedancias en el camino que van frenando esa corriente de falla.

En los sistemas eléctricos, como ser en la excitación de transformadores o la de motores, se tienen corrientes muy grandes, denominadas corrientes de excitación o de arranque, de valores n veces la corriente nominal. Están en el orden de la corrientes de falla.

La otra variable tan importante, es *el tiempo*, la variable que vamos a tratar de manejar en forma proporcional a la variable que está fallando, el tiempo nos va a dar una indicación de selectividad y del manejo de la falla cuanto más tiempo esté presente una falla más daño producirá a los circuitos.

La variable *temperatura*, en este análisis, esta ligada a las consecuencias que originan la presencia de las variables antes mencionadas.

1.1 Elementos de protección para corrientes

- 1. Interruptores automáticos**
- 2. Fusibles**
- 3. Relés de protección**

1.1.1 Capacidad de cierre

Es la capacidad de cerrar un circuito en falla sin que se produzca daños permanentes.

1.1.2 Capacidad de ruptura

Es la capacidad de poder abrir un circuito sin que se produzcan explosiones o roturas que lo destruyen, esta asociada a lo que se llama energía

específica $E_e = I^2 t$, es la energía que esta en juego desde que se origina la falla, hasta que se interrumpe totalmente la misma.

Es el área que abarca la corriente desde que pasa por cero hasta que se extingue totalmente.

$$\text{Area} = \int i_{(t)} dt \approx I^2 t$$

1.2 Fusible

Es un dispositivo, destinado a proteger a un circuito contra la circulación de una corriente de intensidad excesiva I_k , mediante la apertura del circuito mediante la fusión producida por dicha corriente de un elemento fusible.

Los fusibles basan su intervención en una acción destructiva, vale decir que se trata de un elemento cuya **parte activa**, en el proceso de corte debe ser reemplazado después de cada actuación, este hecho limita su aplicación a instalaciones que poseen un reducido número de fallas, en general para protecciones de elementos o líneas de bajo índice estadístico de fallas (tales como transformadores, instalaciones interiores, etc.)

Otro factor incidente en la selección es el bajo costo de inversión inicial comparado con los interruptores.

El fusible es un componente que está formado por una base aislada provista de contactos para trabajar a corriente (I_n) nominal y por un elemento recambiable llamado cartucho, cuya inserción sobre la base debe efectuarse con todas las garantías de cumplimiento de I_n calentamiento, capacidad de cierre, disipación de calor, etc.

Un aspecto definitorio del fusible es su calibración y tiempo de actuación.

- La **calibración** es un valor fijo, para cada fusible, ya que está basado en una sección calibrada de material conductor. Con respecto al tiempo de actuación es la cualidad que en mayor grado influye en la selección de un fusible y depende del material conductor fusible, de su calor de fusión y de su temperatura de fusión. Como los valores de corriente son variables según la potencia de cortocircuito del sistema y la existente en el momento de la falla en el circuito protegido por el fusible, esto define para cada calibración y tipo de fusible una curva de actuación correspondiente al mismo.
- La característica sobresaliente del fusible es la que define su actuación en un **tiempo** extremadamente breve, interrumpiendo el arco aún antes que este alcance el $I_{m\acute{a}x}$ de cortocircuito.

En base a las consideraciones efectuadas, resulta claro, que de acuerdo a los requerimientos, es posible desarrollar la construcción de una amplia gama de fusibles.

1.2.1 Característica de corriente en función del tiempo

La gráfica corresponde a: $I_p = f(t_v)$. O sea que es la representación de la **corriente presunta** en función del tiempo virtual.

La Norma IRAM define a la corriente presunta como “*el valor eficaz de la componente alterna de la intensidad que circula por un circuito destinado a incluir un fusible, cuando se sustituye este por un conductor de resistencia prácticamente nula*”.

Este concepto es bastante discutido, ya que relativamente la resistencia del fusible es elevada por lo que la corriente que atraviesa al elemento fusible es menor que I_p .

Tiempo virtual: “Es el valor del cociente :

$$t_v = \frac{\left(\int i^2 dt \right)}{I_p^2}$$

que representa el tiempo necesario para alcanzar el valor de la cantidad $\left(\int i^2 dt \right)$ en un determinado intervalo t , con una corriente constante y de valor igual, en el caso de la corriente alterna, al valor eficaz de la corriente presunta”.

Con esta definición de tiempo virtual, se evita la complicación de tener que disponer de una gráfica para cada estado de asimetría, ya que para el mismo valor eficaz simétrico de corriente de cortocircuito, según el régimen de asimetría se tendrá distintos tiempos reales de operación.

Por ello es que el eje de corrientes se gradúa en varios valores eficaces simétrico o en corrientes continua, lo que es análogo desde el punto de vista de generación de calor, con lo que se ve que en realidad estamos empleando el concepto de “Energía específica” que es la que produce la fusión del elemento.

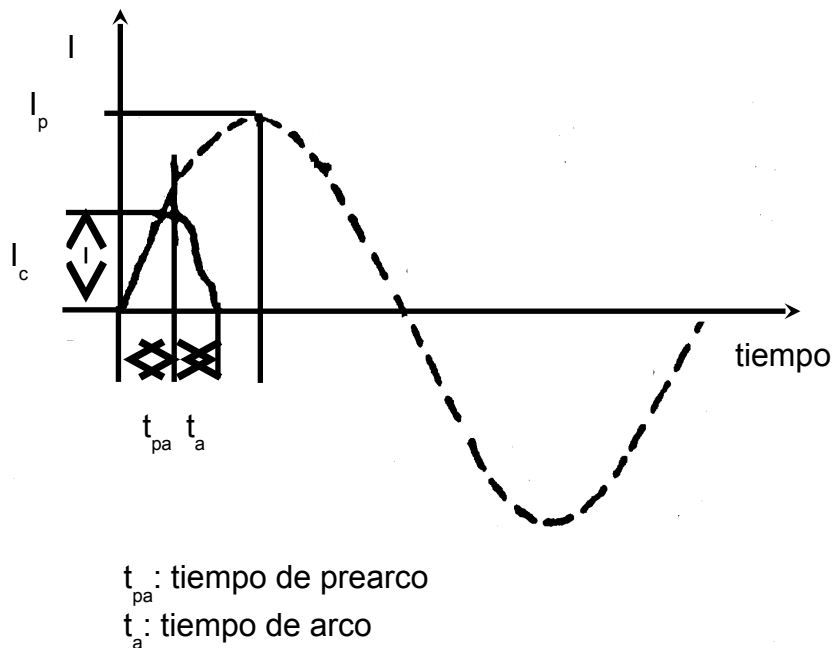
Lo antes mencionado nos muestra que esta gráfica se determina a partir de los oscilogramas, donde se mide la energía específica, de tal forma se obtienen las curvas para tiempo virtual de prearco y de arco.

Si el tiempo de operación no es demasiado breve, el tiempo virtual coincide exactamente con el valor real del tiempo; por tal razón ciertos fabricantes construyen la curva par tiempos mayores de 10 ms ó 20 ms a partir de donde se supone que la componente unidireccional tiene poca influencia, como es lógico esta curva responde más a la realidad a medida que el tiempo es mayor, la principal ventaja de ella es que se puede determinar muy fácilmente, ya que es suficiente medir las corrientes y los correspondiente tiempos de operación.

A continuación se tienen las siguientes definiciones:

- **Tiempo de prearco**: “Es el tiempo transcurrido desde que se hace presente la corriente capaz de producir la fusión, hasta el instante en que se inicia la interrupción”. Se debe tener la precaución de no confundir el final del período de prearco con el momento en que deja de crecer la corriente, pues en circuitos de elevada tensión de arco, la corriente puede continuar incrementándose durante el período de arco.

- **Tiempo de arco:** “ Es el tiempo transcurrido desde el final del tiempo de prearco, hasta el instante en que se interrumpe la corriente y continúa siendo nula”. Se debe tener cuidado con esto último pues en ciertos casos la corriente puede anularse y al crecer la tensión cebarse nuevamente el arco.



Cuando se produce la apertura, suponiendo un punto determinado, en ese punto, la corriente viene creciendo, se habla de una corriente de falla en el oscilograma.

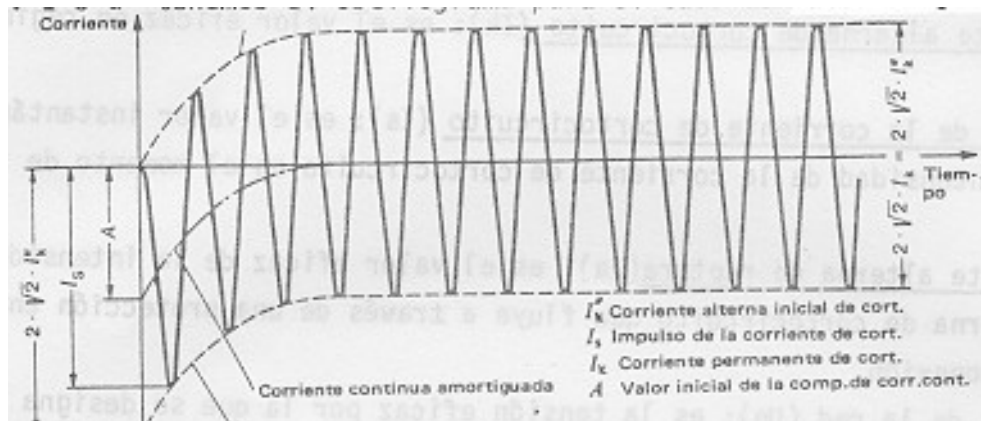
Se procura siempre, limitar la corriente de cortocircuito I_k , para que los efectos electrodinámicos sean mínimos o no se produzcan daños deflagatorios, protegiendo los circuitos eléctricos aguas arriba para que no sufran los daños de esa perturbación.

Hay una tendencia muy fuerte en el caso de los transformadores en colocar fusibles de alta capacidad de ruptura en el primario de transformadores, dado que este va a manejar la corriente de cortocircuito, en cambio en el secundario se protege de las sobre cargas.

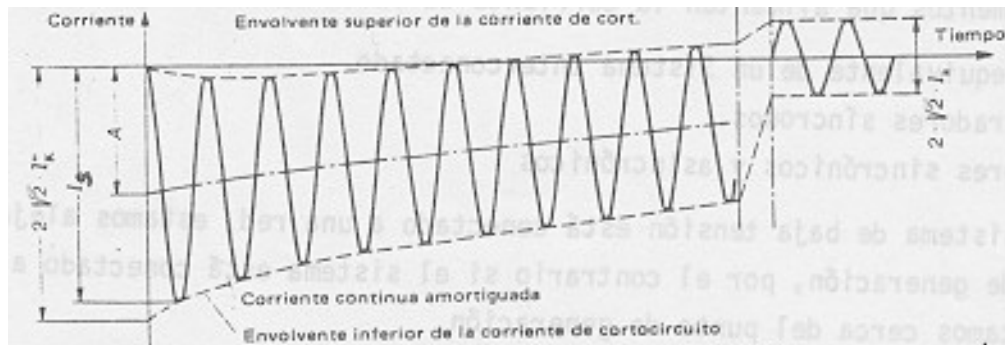
Recordando que la corriente de cortocircuito es totalmente cuantificable, uno puede llegar a conocerla con total precisión en las diferentes partes del circuito, si se conocen todas las impedancias de las redes eléctricas.

La corriente presunta (I_p), es un concepto importante, nos da una idea de la corriente de falla, todo el análisis se hace en función de una corriente presunta.

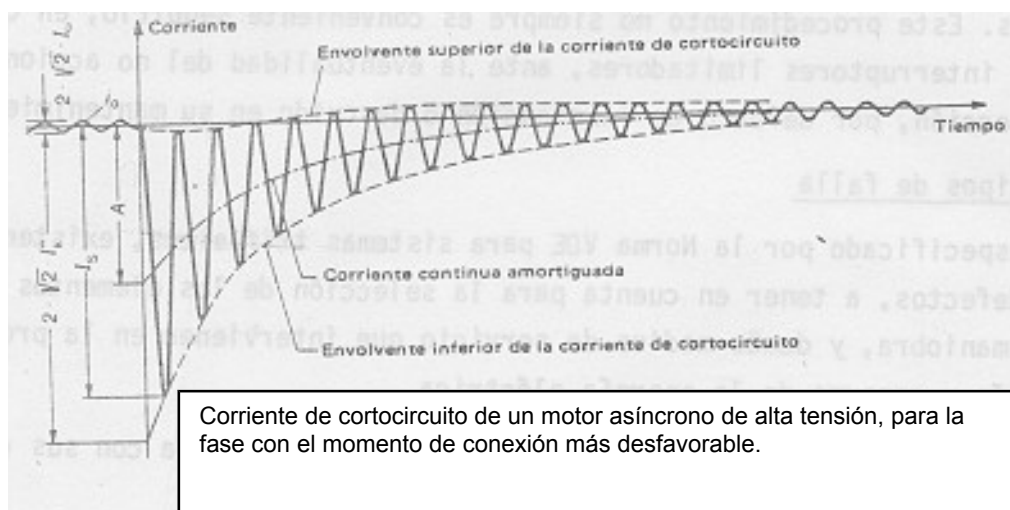
1.3 Distintos oscilogramas de corriente de cortocircuito



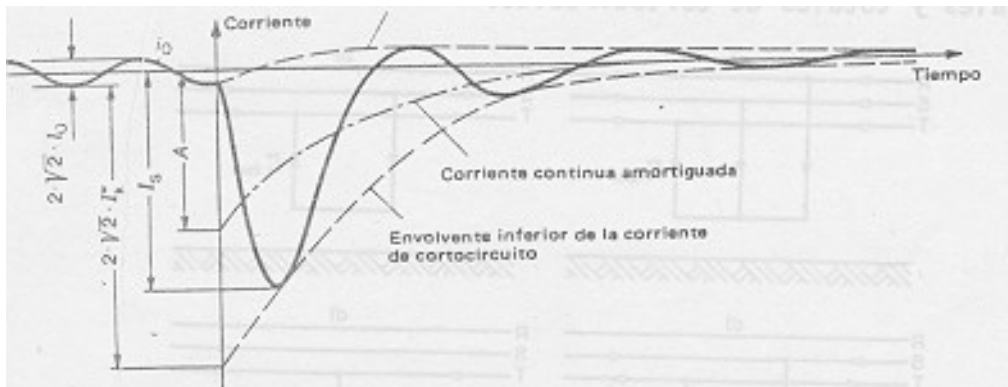
Corriente de cortocircuito en caso de producirse éste lejos del generador, para la fase con el momento de conexión más favorable.



Corriente de cortocircuito en caso de producirse éste cerca del generador, para la fase con el momento de conexión más desfavorable (oscilograma tomado en caso de cortocircuito en las bornas de un generador síncrono después de la marcha en vacío).



Corriente de cortocircuito de un motor asíncrono de alta tensión, para la fase con el momento de conexión más desfavorable.

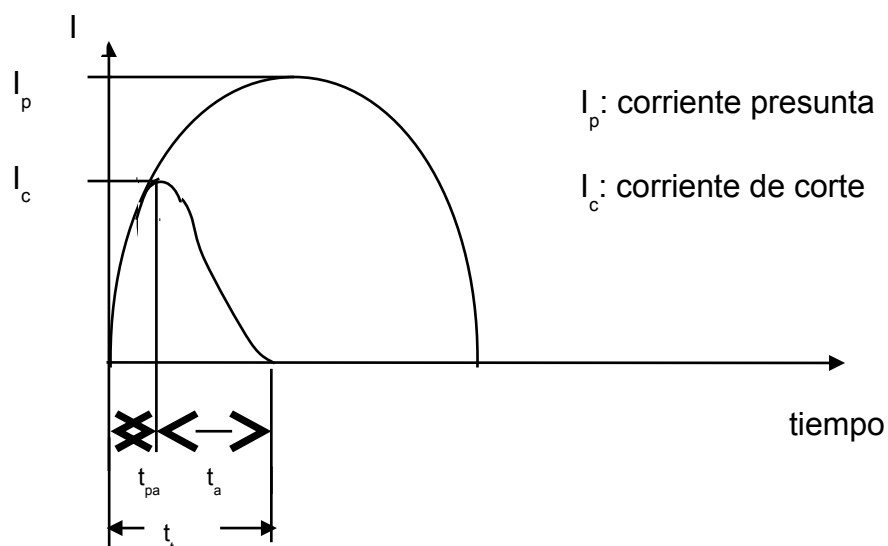


Corriente de cortocircuito de un motor asíncrono de baja tensión, para la fase con el momento de conexión más desfavorable.

1.4 Limitación de corriente de cortocircuito

Mediante un cuidadoso diseño del fusible, es posible obtener una limitación de la corriente de cortocircuito, o sea el fusible actuara bastante antes de que se alcance el primer máximo. Con lo que el pico de corriente será inferior al que alcanzaría si no estuviera presente el fusible. El efecto de limitación de la corriente de cortocircuito es fundamental para el diseño de los implementos de sujeción, pues los esfuerzos dinámicos son proporcionales al cuadrado del pico de la corriente, llegando en algunos casos a reducir estas sollicitaciones a una centésima parte, lo que disminuye el tamaño de los equipos.

Oscilograma con limitación de corriente:



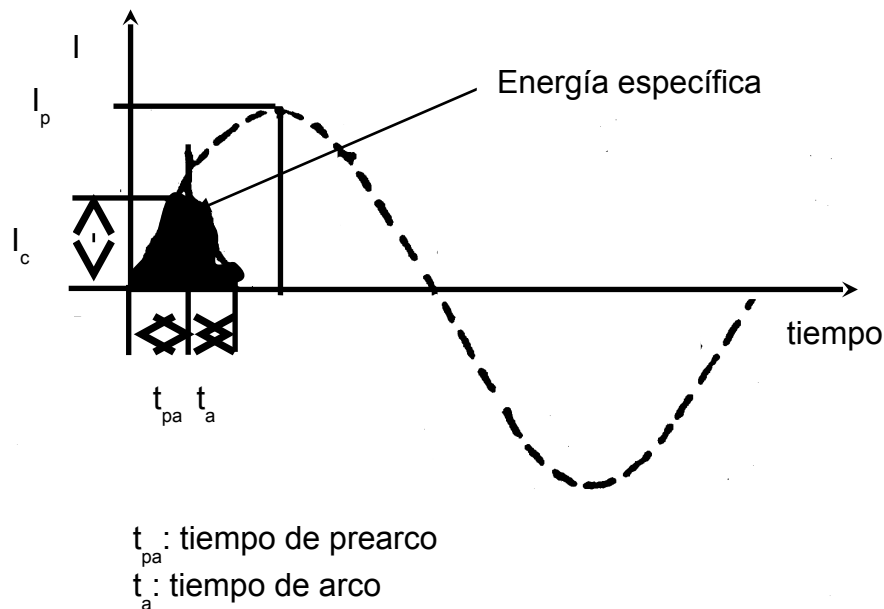
De la observación si no estuviera presente el fusible se alcanzaría el valor I_p , pero por acción del fusible se alcanza solo I_c , denominada *intensidad de corte* definida como : “

El mayor valor instantáneo que alcanza la intensidad de corriente, al producirse la operación de un fusible””

1.5 Energía específica

Se define **energía específica** de la siguiente manera: “ *Es la energía que deja pasar un fusible hasta que interrumpe definitivamente la corriente*”.

Cuando se abre un circuito, por la fusión de un fusible, sigue habiendo circulación de corriente por ionización del medio, existiendo también arco eléctrico. Teniendo tiempo de prearco y arco. El área encerrada nos da idea de toda la energía que está en juego desde el momento que la corriente pasó por cero hasta que se extinguió, esa área, es la energía específica.



Esto de poder cortar corrientes de cortocircuito, antes de que la corriente haga todo el recorrido nos permite diseñar barras, equipos, soportes, de allí la importancia de poder limitar las corrientes de cortocircuito.

Los fusibles no limitadores necesitan toda la energía del semiciclo para poder interrumpir.

La energía según la expresión de JOULE es : $R \int_{t_0}^t i^2 \cdot dt$ si referenciamos la ecuación

a una resistencia del valor unitario, queda transformada en : $\int_{t_0}^t i^2 \cdot dt$, la que por razones de brevedad, usualmente se denomina $I^2.t$.

Lo anterior es válido para la zona de trabajo en la cual las corrientes son elevadas con lo que el tiempo de operación resulta suficientemente corto(menos de 20 ms) como para considerarlo un proceso adiabático, sin intercambio de calor con el medio circundante.

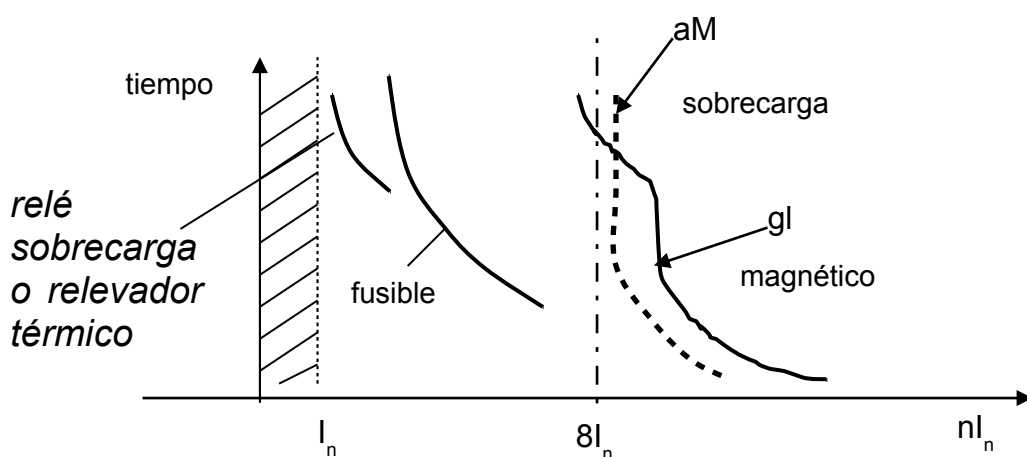
En tal situación el valor de $I^2.t$ es una constante de cada fusible y tal valor nos da una idea de la sollicitación térmica a la que están sometidos los equipos que el fusible protege. Por lo dicho se ve que existe un valor de energía específica de prearco y un valor para la energía específica de arco, ambos constantes.

En base a lo expuesto se puede concluir que hay un solo valor de energía específica de prearco para cada fusible, en cambio debido a que el proceso de arco depende de la tensión aplicada, se podría afirmar que a cada valor de tensión aplicada le corresponde un valor distinto de energía específica de arco, a pesar de tratarse del mismo fusible, y cada uno de estos valores para distintas tensiones son constantes. El valor de la energía específica se suministran de diversas formas según la modalidad del fabricante.

1.6 Tipos de fusibles

- **LIMITADORES DE CORRIENTE** : interrumpe en distintos puntos del semiciclo, en el momento donde se produce la fusión del elemento fusible.
- **NO LIMITADOR DE CORRIENTE** : este necesita todo semiciclo para interrumpir el elemento fusible

Se debe distinguir algo, el interruptor abre físicamente el circuito, en cambio en el fusible se produce la apertura (por la fusión del elemento) en forma permanente una vez cumplida su función hasta su reposición.



1.7 Fusibles- Respuestas e interrogantes para conocer mejor sus posibilidades de uso

Son numerables los factores que intervienen en la protección por medio de fusibles en las instalaciones eléctricas, y ello comporta impensables dificultades en la correcta adopción de este tipo de protección. Por ejemplo, no se puede proteger las líneas de distribución con los mismo conceptos que se deben adoptar para proteger los motores eléctricos.

Cada falla presenta particularidades y consecuencias diferentes. Una ligera sobrecarga actuando durante un largo plazo provoca un deterioro de los aislantes de las líneas y de los aparatos.

Una sobrecarga más enérgica provoca sobrecalentamiento en los contactos y en los empalmes con consecuencias previsibles e imprevisibles.

En cuanto a un cortocircuito, las consecuencias pueden ser aún más graves, tales como para provocar, eventualmente, un incendio o una explosión.

Las consecuencias debidas a las tensiones de contacto pueden ser irreparables en cuanto a la seguridad de los seres humanos.

En todos los casos señalados el empleo de los fusibles suele ser considerado sin darle la debida importancia.

Sin embargo, los modernos cartuchos fusibles, poseen características excelentes tales como para resolver con precisión y eficacia la función de protección que deben cumplir. Debe reconocerse que la correcta adopción de los fusibles obliga a efectuar estudios algo complejos mientras que su funcionamiento es muy simple.

Los cortocircuitos se autoextinguen de manera natural sin el auxilio de órganos externos.

Otra particularidad muy interesante es su extrema rapidez de intervención, lo que asegura un elevado poder de ruptura, lo que no se obtiene fácilmente con otros medios mecánicos.

Todo ello comporta una notable reducción de los eventuales daños y por lo tanto menos riesgos. Corresponde también agregar y resaltar las modestas dimensiones de volumen de los cartuchos y su consecuente economicidad.

El proyecto, la fabricación y la calibración de los fusibles no es una cosa simple, tanto más si se considera que en un volumen de pocos centímetros cúbicos se logra la extinción del arco eléctrico interrumpiéndose corrientes de cortocircuito de más de 100 KA en tiempos extremadamente breves.

Por lo expresado, resulta oportuno profundizar el conocimiento de las características y de las funciones de los fusibles, con el auxilio de preguntas.

1.7.1 ¿Cuál es la diferencia entre los fusibles "gl" y "aM"?

Los fusibles gl protegen los circuitos eléctricos contra las débiles y fuertes sobrecargas y contra los cortocircuitos.

Los fusibles aM, definidos oficialmente como para uso combinado, pero también denominado de acompañamiento de motores, protegen los circuitos contra las fuertes sobrecargas y contra los cortocircuitos.

Ellos son proyectados particularmente para soportar los arranques repetidos de los motores eléctricos y deben ser combinados conjuntamente con dispositivos de protección térmica que actúen ante débiles sobrecargas.

1.7.2 *¿Qué significa corriente y tensión nominal?*

La corriente nominal es aquella corriente que un fusible puede soportar sin provocar ni la fusión, ni el calentamiento excesivo de la cápsula. La tensión nominal es la máxima tensión a la que normalmente estará sometido el fusible.

1.7.3 *¿El fusible provoca un consumo?*

El fusible se comporta como una resistencia cualquiera y por consiguiente la circulación de una corriente provoca un consumo de potencia.

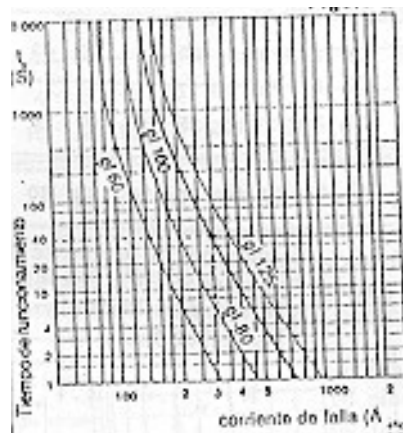
El consumo máximo, para cada tipo y calibre está definido por normas vigentes.

1.7.4 *¿Qué es el campo de funcionamiento?*

El campo de funcionamiento o de intervención, delimitado rigurosamente, por las Normas, permite determinar el tiempo de intervención del fusible en función del valor de la corriente que circula por él.

Es importante conocer las características de funcionamiento para controlar la selectividad de las diferentes protecciones instaladas en serie.

La figura representa un ejemplo de intervención para un fusible gl de 100 A.



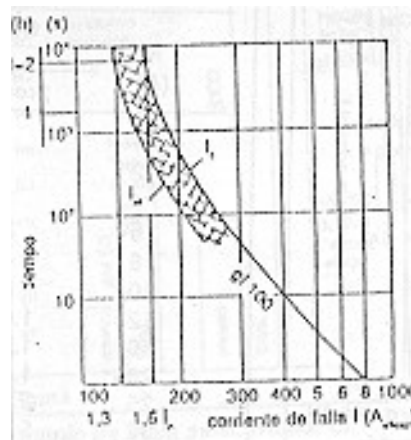
Este gráfico representa la curva de intervención de fusibles gl. Con una sobrecarga de 300 A el fusible de 100 A interviene en 40 segundos.

1.7.5 *¿Qué significa: corriente convencional de no fusión (I_{nf}) y corriente de fusión (I_f) ?*

Corriente convencional de no fusión: Valor específico de la corriente que puede ser soportada por un cartucho fusible, durante un tiempo determinado (Tiempo convencional) sin fundir.

Corriente convencional de fusión: Valor específico de la corriente que provoca la fusión del fusible antes del transcurso de un tiempo determinado (tiempo convencional)

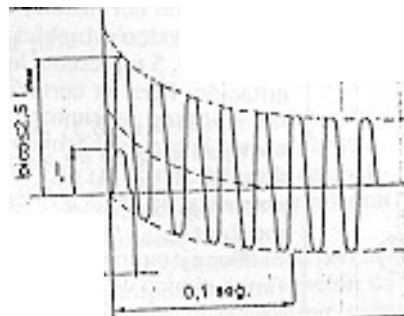
La figura representa un ejemplo, de tiempos y corrientes de fusión y de no fusión.



1.7.6 ¿Qué entiende por corriente de cortocircuito presunta?

Se define como " corriente de cortocircuito presunta" al valor de la corriente eficaz, que circularía en caso de cortocircuito ante ausencia de toda protección. Su valor de cresta es tanto más elevado cuanto más bajo es el factor de potencia ($\cos \varphi$).

La figura representa un cortocircuito asimétrico. (Desarrollo de un cortocircuito asimétrico) $I_{\text{pico}} < 2,5$ eficaz.



1.7.7 ¿Qué importancia tiene el poder de interrupción o capacidad de ruptura?

Cuanto más elevado es el poder de interrupción, expresada en kilo Ampere (kA); más idóneo es el fusible para proteger las instalaciones contra las corrientes de cortocircuito.

Los fusibles de " alto poder de ruptura" pueden interrumpir corrientes de hasta 100 kA eficaces.

1.7.8 ¿Cuál es la importancia del poder de limitación?

Un cortocircuito puede provocar daños ya sea por su efecto "electrodinámico" o por su efecto "térmico". Además :

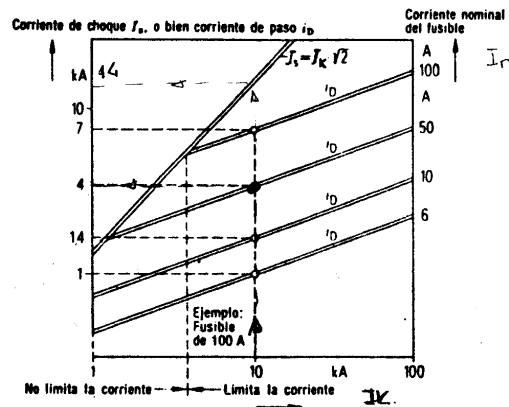
- el efecto destructivo electrodinámico es función del cuadrado de la corriente de pico en el instante del cortocircuito.

- El efecto destructivo térmico es función del impulso térmico

1.7.9 ¿En qué consiste la característica de limitación?

La limitación de la corriente de cortocircuito varía en función de las condiciones de la carga (intensidad de corriente y $\cos \varphi$).

Las curvas de limitación de los fusibles representan el valor máximo que alcanza la corriente, limitada por la intervención del fusible, en las condiciones más desfavorables. La siguiente figura representa la curva de limitación.



Para una corriente de 10kA eficaces presuntos, teniendo en cuenta la eventual asimetría de la onda de variación de la corriente, el valor de cresta podría valer como máximo $2,5 \times I_{\text{eficaz}}$; es decir 25 kA.

Por ejemplo el fusible gl de 100 A limita el pico de la onda de corriente a 8 KA (aproximadamente a un tercio del valor máximo presunto).

El efecto electrodinámico es reducido por consiguiente en la relación de 1 a 10 del valor máximo posible. En efecto $(8000/25000)^2 = (3,125)^2 = 9,770$ aprox.10. Tal relación será más elevada cuanto más importante sea la corriente presunta de cortocircuito.

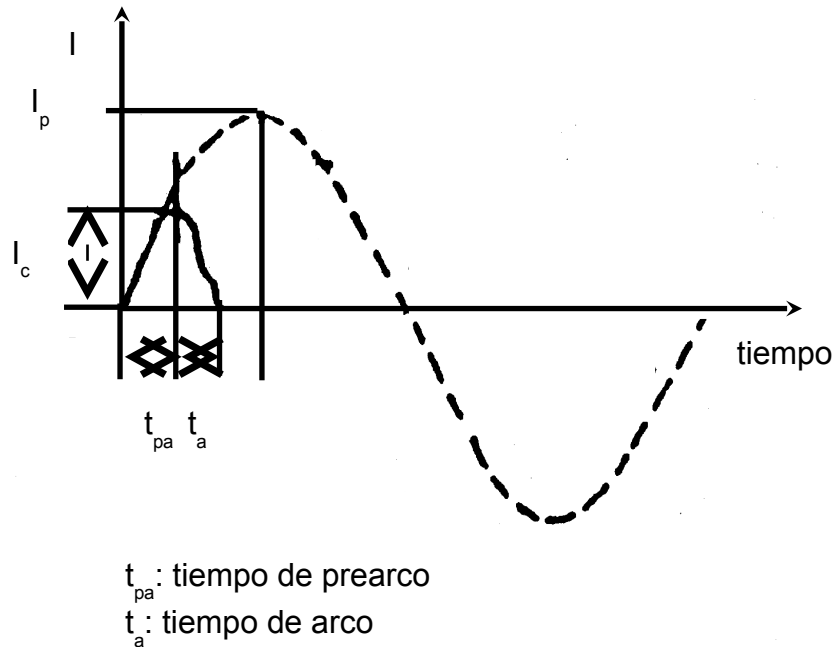
1.7.10 ¿Qué se entiende por impulso térmico?

La energía térmica que se desarrolla en condiciones de cortocircuito, limitada por el fusible se define como "impulso Térmico". El valor de tal energía se puede determinar mediante la "integral de Joule"

$$R \int_{t_0}^t i^2 \cdot dt = R \cdot I_{\text{eficaz}}^2 \cdot t$$

Representación del impulso térmico de prearco y arco en el caso de cortocircuito simétrico. La suma del impulso térmico de prearco y arco constituye el impulso térmico total.

R: resistencia del
I: corriente presunta de
t: tiempo de intervención del



El impulso térmico limitado por la intervención del fusible en el instante del cortocircuito queda expresado matemáticamente por la siguiente integral:

$$C = \int_{t_0}^t i^2 \cdot dt \quad (A^2 \cdot \text{seg})$$

1.7.11 ¿Porqué conviene limitar notablemente el impulso térmico?

Si no fuese limitada, por la intervención del fusible, la energía desarrollada durante el cortocircuito podría destruir parte de las instalaciones.

El impulso térmico queda determinado por dos parámetros principales:

- La tensión: mientras más elevada es, mayor resulta la energía desarrollada.
- El cos φ : mientras menor es, mayor resulta la energía desarrollada.

1.7.12 ¿Cuál es la diferencia entre el impulso térmico de prearco e impulso térmico de arco?

Un fusible interrumpe el cortocircuito en dos etapas: prearco y arco.

El impulso térmico de prearco corresponde a la mínima energía necesaria para alcanzar el punto de fusión del elemento activo del cartucho fusible.

El impulso térmico de arco corresponde a la energía comprendida entre la finalización del prearco y la fusión total, o bien desarrollada durante la extinción del arco.

Es importante considerar que el impulso térmico de prearco es sensiblemente constante, cualquiera sea el valor de la corriente de falla.

El conocimiento del valor del impulso térmico es indispensable para determinar la selectividad entre varios sistemas de protección en serie.

1.7.13 ¿Qué se entiende por selectividad?

En un circuito activo la corriente circula en general por varios sistemas de protección en serie.

Tales sistemas se estudian, dimensionan y distribuyen en función de los diversos circuitos a proteger.

La selectividad se satisface solo cuando, en caso de falla, interviene únicamente el dispositivo de protección del circuito defectuoso.

1.7.14 ¿Cómo verificar la selectividad de un sistema de protección?

Según se trate de fallas por cortocircuito o por sobrecargas se deben adoptar dos conceptos diferentes:

- a)** Cortocircuito: si el impulso térmico de prearco del fusible ubicado "aguas arriba" fuese inferior al impulso térmico total del fusible ubicado "aguas abajo", la totalidad del circuito saldría fuera de servicio.
- b)** Sobrecargas: consultando las curvas de los campos de intervención de los diferentes sistemas de protección en serie.

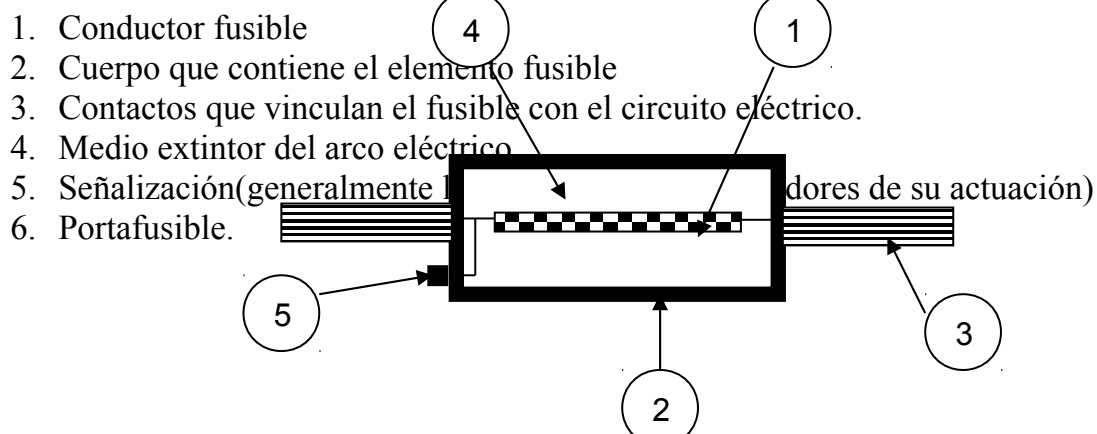
La selectividad se puede calcular de dos formas:

- Con las curvas t-I
- Con la energía específica teniendo en cuenta tiempo de arco y prearco.

1.8 Distintos tipos de fusibles

- **BAJA TENSIÓN**
- **MEDIA TENSIÓN**
- **ALTA TENSIÓN**

Elementos que constituyen los fusibles:



1.8.1.1 Fusibles de baja tensión

Son los dispositivos cuya tensión nominal no excede los 600 V y son los siguientes:

- a) **Tipo DIAZED**
- b) **Tipo NH**
- c) **Tipo AMERICANO**
- d) **Tipo EUROPEO**

a) **DIAZED**

Es un fusible , tiene varios elementos que lo conforman :

1. **Cuerpo** : es cilíndrico, de un material cerámico de alta resistencia al choque térmico, con sus extremos mas ahusado que el cuerpo, donde se encuentran los contactos..
2. **Contacto** : o casquillos, normalmente son de material de bronce con un tratamiento plateado o en algunos casos niquelados o estañados, en forma de tacita invertida.
3. **Elemento fusible** : normalmente es una lamina de plata con angosturas rodeada por arena de cuarzo, de grano extremadamente fino.
4. **Elemento extintor** : es arena de cuarzo , que tiene una particularidad , que se funde por el calor del arco y lo extingue por el dieléctrico que este forma, ya que se combina la arena y al fundirse forma fulgurita .
5. **Señalización de apertura** : estos fusibles tipo diazed tienen en el fondo del fusible un tipo de chapita que va solidaria al elemento fusible y un resorte , que en el momento de la ruptura del fusible se desprende , esta chapita en situaciones normales está adosada al fusible solidaria al resorte que está tensando el elemento fusible , en ese momento, cuando se corta esta se libera.

El principio de operación es el siguiente:

Al circular una corriente excesiva se calientan las angosturas hasta la fusión y se vaporiza, el material fundido reacciona con el cuarzo, formando un túnel de sustancia cuya estructura es similar al vidrio, denominada fulgurita, de elevada resistencia, la que extingue rápidamente la corriente. Este tipo de fusible posee un indicador de fusión que consiste en un pequeño disco coloreado, mantenido contra el casquillo mediante un alambre muy fino de alta

resistencia, el que tiene un resorte que trata de expulsarlo; al fundirse el elemento principal, casi instantáneamente se derrite el alambre de sujeción del disco, con lo que es expulsado, quedando sobre la ventanilla exterior, dando una clara indicación de la operación del fusible. Los discos están coloreados según su corriente nominal.

Además el extremo más largo del fusible tiene el casquillo de tamaño normalizado, en base a la corriente nominal, con lo que a mayor corriente más grande es el casquillo, de forma que un fusible podría ser reemplazado por otro de menor corriente nominal, pero no será posible la colocación de una de mayor corriente. Estos fusibles se sujetan mediante la tapa portafusible roscada, por lo que se aflojan por vibración.

Sus valores eléctricos nominales son:

- * Corriente nominal: 10,16,20,35,50,80,160 A y otros intercalados.
- * Tensión: 600V
- * Capacidad de ruptura: 70 kA

Corriente nominal: es el máximo valor de corriente que es capaz de conducir sin que ninguna de las partes alcancen temperaturas superiores a las fijadas en las normas IRAM.

Tensión nominal: es la del diseño del fusible.

Capacidad de ruptura o interrupción: Es la máxima corriente de cortocircuito que puede interrumpir sin daño visible para cualquier régimen de asimetría, medida en valor eficaz simétrico.

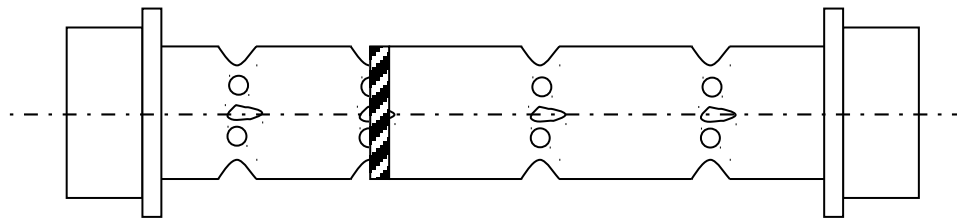
Es el fusible más usado.



La tensión nominal del fusible tiene que ser mayor que la tensión nominal de servicio, esta tensión nominal del fusible es importante porque lo afecta en el punto de soldadura de fusible con la cabeza conductora, tanto superior como inferior, aparte del problema de aislación, el valor eficaz está directamente relacionado con esa resistencia que se forma entre la soldadura del fusible y el contacto.

b) FUSIBLE TIPO NH

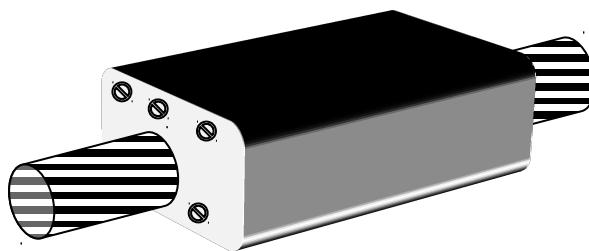
1. **Cuerpo:** el cuerpo es de esteatita o de resinas formo - fenólicas, tiene forma rectangular .
2. **Contacto:** El contacto son tipo cuchillas de bronce con un recubrimiento de electrolito de plata, suelen venir lisos o acanalados. Para favorecer la sujeción, evitando que se aflojen por vibración.
3. **Extintor:** el elemento extintor es cuarzo, actúa de la misma forma que del tipo Diazed.
4. **Elemento fusible:** La lámina fusible, es de plata cuya forma es la del dibujo, posee una porción de material de bajo punto de fusión, que se fundirá para leves sobrecargas de larga duración. Es ancha de muy bajo espesor con perforaciones en distintas partes de la misma, el diámetro de las perforaciones esta ligado con las corrientes nominales con que va a trabajar.



5. **Señalización de apertura:** es un pistillo que sobresale del fusible aproximadamente unos 5 a 10 mm está solidario como el Diazed, pero de mayor diámetro .

Su principal ventaja sobre el Diazed es que posee mayor capacidad de ruptura. Además presenta limitación de la corriente de cortocircuito, lo que significa que si la corriente de falla es muy rigurosa, el fusible interrumpe antes de alcanzar el primer pico, o sea corta el crecimiento de la corriente en un tiempo de 3,7 mseg.

Son de buena calidad, poseen una máxima dispersión del 10% en términos de corriente.



Sus valores eléctricos nominales son:

- * Corriente nominal: 10 a 1000 A
- * Tensión: 600V
- * Capacidad de ruptura: 100 kA

Los valores nominales de estos fusibles vienen de 6 A a 1250 A nominal y la corriente de cortocircuito que puede manejar es de 100 kA .

Constructivamente viene de distintos tamaños, normalizados , tamaño 00, 1 , 2 , 3 va en relación directa con la corriente nominal que maneja y viene en distintas formas de porta fusibles , puede ser fijo o ser del tipo de portafusibles seccionables .

Dentro de los fusibles de baja tensión , Diazed y NH tenemos los fusibles lentos ,rápidos y extra rápidos .

- **FUSIBLES LENTOS** : tiene una curva característica particular en la cual la actuación del mismo necesita tiempo en el orden de los mseg , tiene una característica inversa y sirve para proteger motores, conductores .
- **FUSIBLES RÁPIDOS**: la curva del fusible es más inversa y la característica de respuesta es más empinada.
- **FUSIBLES EXTRARÁPIDOS**: estamos hablando de curvas muy inversamente proporcionales, se lo utiliza normalmente para proteger circuitos electrónicos de potencia, tiristores, triac de potencia, etc. Tiene una particularidad para hacer una selectividad adecuada, este tiene que ser capaz de abrir el circuito eléctrico antes que el semiconductor se destruya y la energía específica que desarrolla el fusible completo desde el momento que se produce la falla tiene que ser menor que la energía específica del elemento electrónico (diodo , tiristor) que necesita para destruirse.

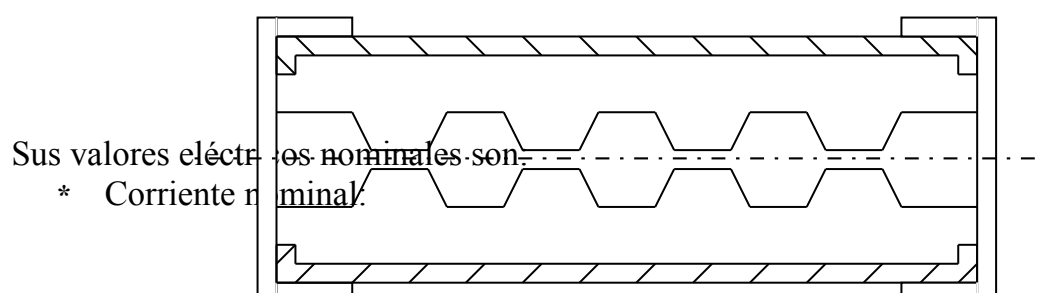
c) TIPO AMERICANO

Es el tipo cartucho normal, el cual tiene los mismos elementos que el diazed :

1. **Cuerpo** : aislante de papel impregnado.
2. **Contacto** : los contactos a cuchillas o casquillos según su corriente nominal, de bronce plateado, en algunos casos son tipo cápsula con dos cabezales
3. **Elemento fusible** : es de plata
4. **Elemento extintor** : aire.
5. **Señalización de apertura** : no posee .

Está restringido a aplicaciones con bajas corrientes de cortocircuito y donde no se presenten leves sobrecargas, o sea puede emplearse solamente para protección de motores eléctricos de media potencia que cuenten con relé térmicos.

Su principal desventaja es ser reparable, ya que generalmente se reemplaza el eslabón fundido por otro elemento de características diferentes o por un trozo de conductor, lo que pone en serio peligro a la instalación.



- * Tensión: 600V
- * Capacidad de ruptura: 15 kA

Hay una nueva generación de fusibles americanos, que se ha desarrollado y es muy utilizado en circuitos industriales , el fusible tipo americano desarrollado sin cuchillas si no con cabezales con las mismas características que el fusible común pero con cuerno de cerámica pero en su interior con elemento extintor de arco y son de alta capacidad de ruptura en el orden similar al de Diazed , permite una gran variedad de corrientes nominales , ocupan muy poco espacio en instalaciones.

Posee cabezales con las mismas características, que los americanos común pero de cuerpo de cerámico y en su interior con elemento extintor de arena y son de alta capacidad de ruptura están en el orden similar al de Diazed , está bien concebido porque permite una gran variedad de corrientes nominales , ocupa muy poco espacio en las instalaciones y la efectividad es muy buena

-La forma del fusible es, un elemento cilíndrico que es el aislante, en la punta izquierda tendría un contenedor y en el otro extremo tiene un sistema de rosca , una hembra que forma parte del mismo cuerpo de material de bronce , la lámina es una lámina fusible similar a la del Diazed

d) FUSIBLE TIPO EUROPEO

6. **Cuerpo:** el cuerpo es de esteatita .
7. **Contacto:** El contacto son tipo cuchillas de bronce plateado, para atornillar.
8. **Extintor:** el elemento extintor es cuarzo, actúa de la misma forma que del tipo Diazed.
9. **Elemento fusible:** La lámina fusible, es de plata .
10. **Señalización de apertura:** no posee

Su forma es muy semejante al N.H. Son de buena calidad, su máxima dispersión está en el 3%, poseen limitación de la corriente de cortocircuito. No son muy comunes en nuestro medio.

Sus valores eléctricos nominales son:

- * Corriente nominal:
- * Tensión: 600V
- * Capacidad de ruptura: 60 kA y 100 kA

Los fusibles ***aM, gl, Tr*** son solamente para los tipos Diazed, NH, europeo.

1.8.1.1.1 La diferencia entre los fusibles gl y aM (Ampliación)

Hay una zona en la protección de los motores, que puede ser por alguna corriente excesiva o instantánea muy fuerte, debido por ejemplo un bloqueo del motor , y en ese caso debemos tener un elemento de protección adecuado , se ha desarrollado un fusible específicamente para motores que es el aM, el cual tiene una característica inversamente proporcional , donde en corrientes muy altas en corto tiempo va a actuar el fusible , es decir el elemento de protección a ese tipo de falla es el fusible ,además trabaja como respaldo de los elementos de maniobra que están insertos en ese circuito , térmico y contactores.

Es decir el fusible aM cumple la función de proteger al motor de la excesiva corriente en poco tiempo, cuando decimos excesiva corriente estamos hablando de un tiempo corto, no necesariamente puede ser un cortocircuito en el bloqueo de un motor, un motor que se bloquea mecánicamente o el motor arranca bloqueado esto se puede dar en dos situaciones en el arranque del motor o el motor funcionando en forma normal .

La característica del fusible gl es como si tuviera una curva partida, una curva que tiene un comportamiento similar a un térmico, actúa en baja corrientes durante un tiempo prolongado y tiene la característica inversa cuando esa corriente ya cuando esa corriente crece rápidamente en corto tiempo, se lo utiliza para proteger cables, circuitos eléctricos que no compromete la carga fundamentalmente para conductores .

Los fusibles Tr, son fusibles que se han desarrollado para la protección de transformadores del lado de baja tensión, tienen la capacidad de tener un comportamiento intermedio entre el aM y el gl , y vienen preparados para soportar sobrecargas hasta por lo menos un 50 % , durante un tiempo prolongado que puede ser 4 hs a 8 hs ,dependiendo del tiempo del transformador .

Un fusible Tr tiene una particularidad importante, que es, al tener una curva de comportamiento no tan inversa y al ser un fusible que cumple una función en la sobrecarga y además de limitar la corriente lo hace adecuado para poder dimensionar correctamente todos los elementos de maniobra asociados a un transformador, disminuyendo el sobredimensionamiento, en la medida que se pueda limitar las corrientes en los transformadores, vamos a limitar los fenómenos electrodinámicos que se van a producir en la misma máquina y en los elementos asociados a ellas, tecnológicamente es un elemento de protección similar a un interruptor automático, conceptualmente , un interruptor automático tiene la capacidad de ser térmico y magnético .

1.8.1.2 Fusibles de media tensión

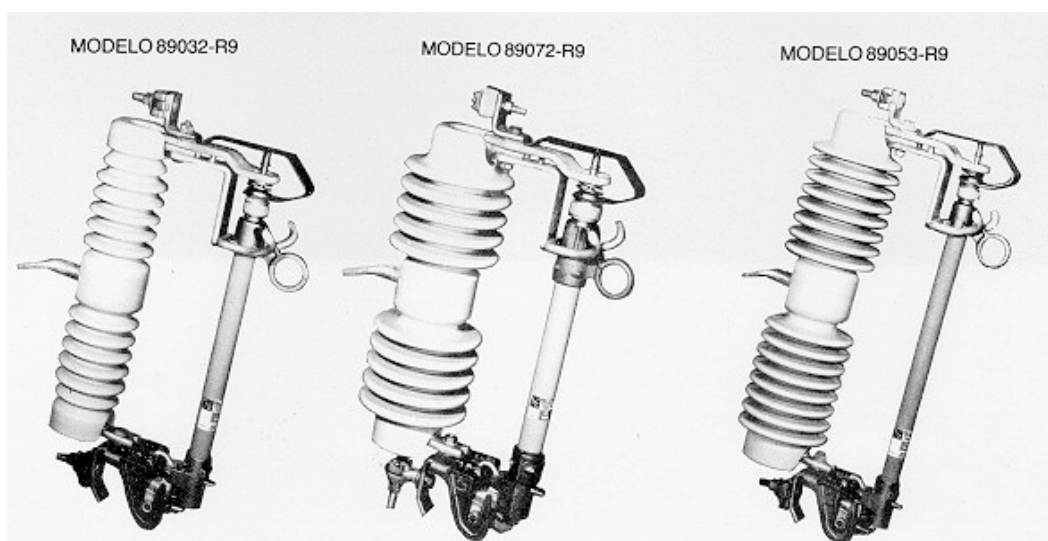
- **NO LIMITADORES:** Son aquellos que necesitan toda la energía, aprovechan el cruce de paso por cero .
- **LIMITADORES:** solo limitan la corriente.
- **NO LIMITADORES**

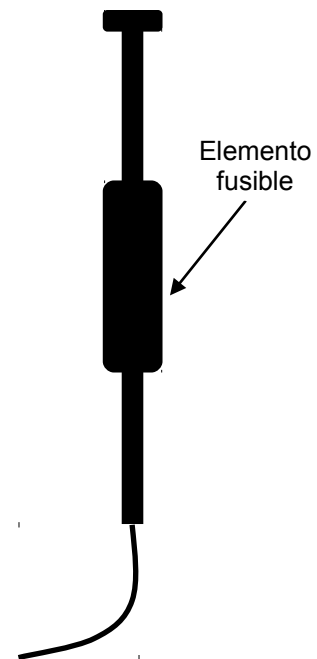
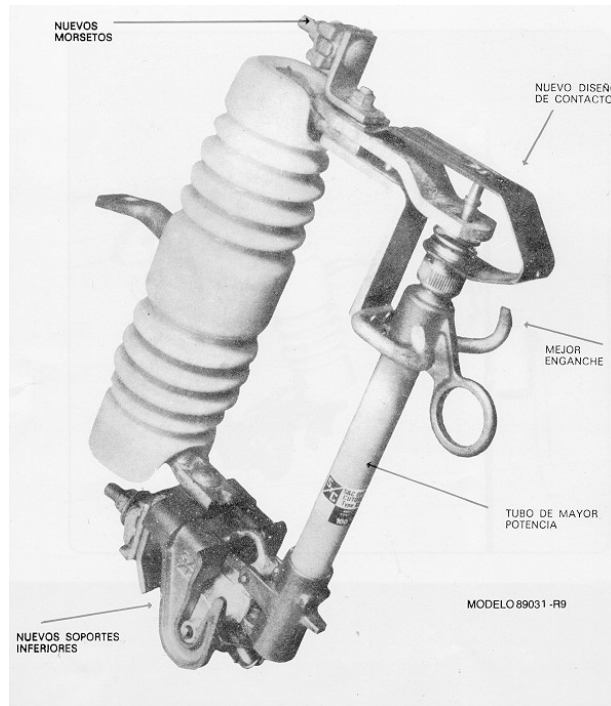
a) **FUSIBLE DE EXPULSIÓN**

Se emplean para 13,2 KV y 33 KV, generalmente se ubican en partes elevadas, por lo que se construyen de caída, o se a cuando operan interrumpiendo una falla caen, quedando suspendidos por el contacto inferior, dando una clara indicación de su operación incluso visible a gran distancia. Para su colocación y extracción se emplea una vara denominada pértiga.

Se los puede observar en las instalaciones a intemperie, que so los que protegen a las instalaciones de transformadores en sub-estaciones, tienen doble función, protección y seccionamiento.

1. **Cuerpo del fusible:** este sostiene al elemento fusible, es un cuerpo aislante, es de papel aislante, en su interior están las láminas fusibles, normalmente es un aislador soporte del cual tiene una abrazadera que lo toma a la estructura, y es solidario al apoyo o elemento donde está sostenido toda la aislación .
2. **Contactos :** En la cabeza del aislador tiene lo que se llama los contactos del porta fusible , el contacto del fusible en la parte superior es como una arandela de bronce plateado es la que se va a colocar en el cartucho, aprieta la parte superior del fusible y en la parte inferior tiene un mecanismo que es el que pivotea, en el cual queda rígidamente unido la parte superior del fusible con la zona del pivote de la parte inferior del mismo .
3. **Elemento fusible :** El fusible propiamente dicho está dentro de otro cuerpo que se lo suele llamar, el fusible, en el cual el cuerpo del fusible es de un componente tipo micarta , que es un aislante de aglomerado de papel, que tiene dos contactos en la punta , normalmente el cuerpo aislante tiene una rosca y la parte de arriba el contacto es similar al tipo americano donde se conecta el fusible propiamente dicho
4. **Elemento extintor:** el aire
5. **Señalización:** En el momento que se produce la apertura del fusible, este alambre se corta al cortarse pierde tensión y el mecanismo que tiene lo libera, de forma de hamaca y el fusible cae.





Este fusible es de muy baja capacidad de ruptura la corriente que puede manejar es de 8 kA.

Expulsión causada por presión de gases:

El elemento fusible se encuentra alojado en un cilindro de papel impregnado en fenol, luego de la fusión le sigue el arco, el que calienta al tubo que produce gran cantidad de gases, los que escapan por la parte superior que es la más débil, levantando la sujeción, con lo que el resorte o muelle del contacto inferior hace caer al fusible.

En algunos casos poseen un resorte, el que colabora en la operación, pues este mantiene en tensión al elemento fusible, en el momento en que este funde, el resorte aleja las zonas derretidas, con lo que aumenta el recorrido del arco y su resistencia, de esta manera se apaga más rápidamente.

El elemento fusible es de plata, siendo renovable, pero el porta fusible solo soporta entre 4 y 12 operaciones según el tipo.

- ***Expulsión causada por percusión :*** Al fundirse el fusible, se libera un resorte, el que impulsa a un percutor, que sale del porta fusible, golpea la pieza de sujeción-percusión, provocando la caída del fusible. A veces también poseen sustancias extintoras del arco.

b) FUSIBLES LIQUIDOS

Generalmente se compone de un cuerpo aislante, cilíndrico, de material altamente resistente al choque térmico, frecuentemente vidrio especial, con casquillos en ambos extremos a manera de contactos, en cuyo interior se encuentra el elemento fusible inmerso en aceite o tetracloruro de carbono.

Al producirse la fusión el calor vaporiza parte del líquido generándose gran cantidad de gases altamente extintores además queda en libertad el resorte que mantiene tirante al elemento que al contraerse bombea mayor cantidad de líquido a la zona del arco. Posee un sello de sobre presión, el que abre cuando la presión interior llega a niveles que dañe el cuerpo aislante. Su funcionamiento responde al mismo principio que el interruptor de aceite.

- **LIMITADOR**

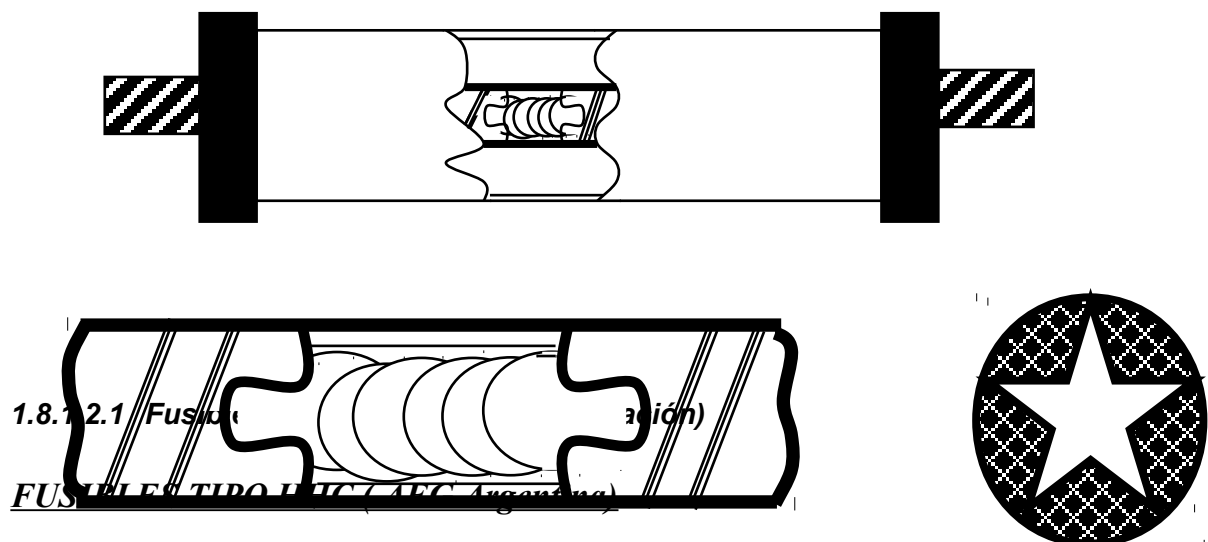
FUSIBLE LIMITADOR DE ALTA CAPACIDAD DE RUPTURA

En sus características constructivas y principio de funcionamiento se asemejan mucho a los del tipo NH de baja tensión..

Fundamentalmente son de dos tipos de elemento fusible longitudinal y de elemento en espiral. El elemento fusible es de plata en forma de lamina con angosturas ubicadas dentro del cuerpo aislante, rodeado por cuarzo molida. En general posee indicador de operación el que puede emplearse para disparar el interruptor automático y así evitar el funcionamiento de los equipos de alimentación anormal. El de elemento longitudinal no tiene el eslabón fusible estirado, si no plegado en zig-zag por lo que es especialmente adecuado para cargas con picos cíclicos o no cíclicos, como arranque y detención de motores, lo que somete al elemento a dilataciones y contracciones, que al estar dispuesto de esta manera no sufre tensiones mecánicas las que lo deteriorarían por fatiga.

El elemento en espiral, está arrollado sobre un cuerpo cerámico, de sección transversal en forma de estrella, disposición que es apta para mayores tensiones que el anterior, pues para igual longitud de cuerpo portafusible, tiene elemento fusible más largo el eslabón posee ranuras o angosturas y en ciertos casos tiene aleaciones de bajo punto de fusión, las que operan para ligeras sobrecargas, pero de duración prolongada.

Lo descripto hasta ahora corresponde solamente a los tipos más comunes, pues hay infinidad de diseños, específicos o no, se puede decir que hay un fusible para cada necesidad. Teniéndose fusibles sofisticados como: con explosivos, con transformador de intensidad, con silenciador, con contactos auxiliares, que se autorestauran al enfriarse, etc.



Los fusibles de alta tensión y alta capacidad de ruptura se fabrican según normas VDE 0670, parte IV, IEC 282.

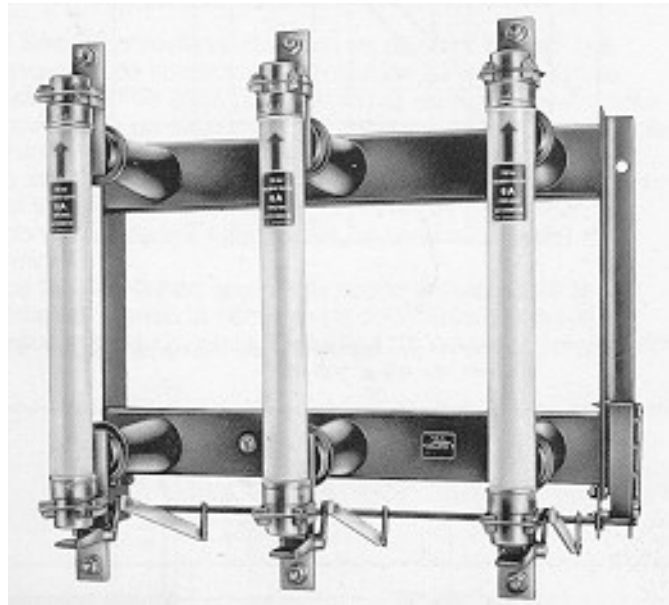
Sirven para la protección de las instalaciones de alta tensión contra cortocircuitos. Todos los fusibles tienen como indicador de fusión un percutor. Pueden usarse en bases portafusibles de alta tensión o en combinación con desconectadores bajo carga y seccionadores fusibles.

Construcción y funcionamiento:

El tubo de porcelana vitrificada es de color blanco. Los casquetes de contacto son plateados y los conductores fusibles son de plata pura. Su forma especial, determinada a través de un sin número de ensayo, en combinación con la arena de cuarzo preparada especialmente como medio de extinción, garantiza una alta capacidad de ruptura como así también una interrupción sin fallas de pequeñas sobreintensidades, hasta un tiempo de fusión de 1 min.

Los fusibles tienen una fuerte acción limitadora de la corriente. Cortan la corriente de cortocircuito antes que llegue a su valor cresta. El tiempo de corte total es menor a 10 mseg. El valor de intensidad de paso I_d es función de la intensidad nominal I_n , del instante del corte (ángulo de conexión) y de la corriente disponible. La acción limitadora de la corriente de cortocircuito de los fusibles HHC, en especial para las potencias de cortocircuito más elevadas; permite proteger los aparatos e instalaciones contra las sollicitaciones térmicas y dinámicas demasiado elevadas. Después del corte de la lámina fusible el percutor perfora una lámina colocada en uno de los casquetes de contacto.

La fuerza del percutor es de $5 \pm 1 \text{ Kg}$.



Bibliografía utilizada:

- 1.- Apuntes del Ing. Juan Carlos de Jesús Gómez
- 2.- Artículos técnicos de Ingeniería Eléctrica
- 3.- Folletos técnicos
- 4.- Manuales técnicos.