

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

Cátedra Máquinas e Instalaciones Eléctricas

4ºAño – Ingeniería Electrónica

PROTECCION CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS

EN EQUIPOS DE BAJA TENSION

1. CORRIENTES DE SOBRECARGA Y CORTOCIRCUITO

1.1 Corrientes de sobrecarga

Todo componente de un equipo ha sido calculado para una determinada Potencia Nominal, Intensidad nominal o intensidad nominal de carga, que tienen validez bajo determinadas condiciones definidas en las distintas Normas y Códigos internacionales. Por ejemplo, un motor con aislación Clase B de acuerdo a Norma VDE 0530 verifica su potencia nominal si se cumple:

- Frecuencia 50 HZ.
- Máxima sobre temperatura 80°C
- Temperatura Límite 130 °C
- Montaje hasta 1000 m sobre nivel del mar.

Si se mantienen estos valores, el motor tendrá una determinada vida útil probable.

Vida Útil: Es el lapso en el cual el aislamiento de un equipo, a una temperatura constante (es la Temp. Límite permitida), permanece seguro en su funcionamiento. Si se excede uno de estos valores hay que considerar una sobrecarga del motor, aunque esté funcionando a Potencia Nominal. Si no se reduce el suministro de potencia la temperatura del motor adquirirá valores elevados lo cual reducirá su vida útil. Como regla general, **la Vida Útil de una aislación se reduce a la mitad cuando se la expone a una sobre temperatura permanente de 10 °C.**

1.2 Corrientes de Cortocircuito

Sobre intensidades elevadas destruyen la aislación en un tiempo relativamente corto, lo que conduce a arcos perturbadores y finalmente a cortocircuitos. Esta es la más severa y molesta falla en un equipo.

Los cortocircuitos se forman generalmente por medio de arcos perturbadores, que destruyen partes del equipo, ponen en peligro la vida de personas e interrumpen el suministro de energía, con consecuencias económicas. Además generan esfuerzos mecánicos entre los elementos por los que circula y los calienta a temperaturas elevadas en tiempos extremadamente cortos.

Las **Fuerzas Dinámicas** son proporcionales al cuadrado del Valor de Pico I_s .

El **Esfuerzo Térmico** es proporcional al cuadrado del Valor Eficaz I_k y de su duración t , o sea de su valor calorífico $I_k^2 t$.

El valor de la corriente de cortocircuito es función de la impedancia interpuesta entre el generador y el punto de falla. (Figura 1)

En las Redes de Baja Tensión, son determinantes la impedancia de los Transformadores y las resistencias de los Cables y conductores.

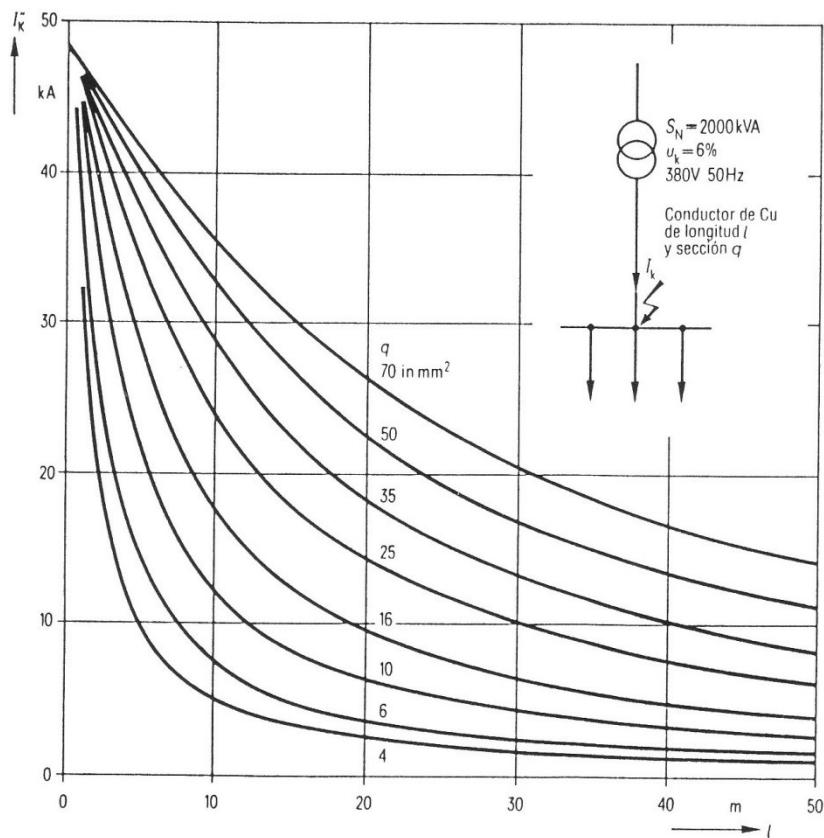


Figura 1 Corriente eficaz de cortocircuito en función de la longitud y sección de los conductores

Aquí se ve como se amortigua la $I_k = 48 \text{ KA}$ en bornes del Transformador. 2000 KVA , 400 V , $u_k = 6\%$, a valores considerablemente menores según la sección y longitud de los conductores.

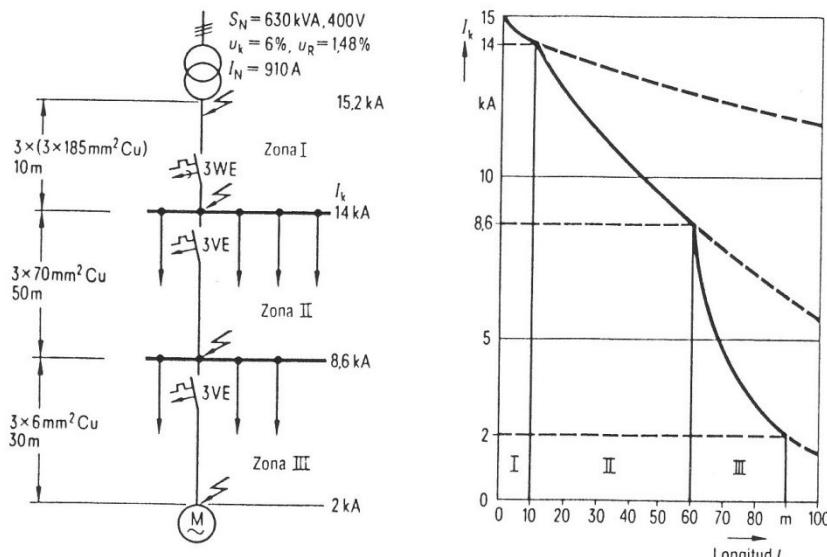


Figura 2 Amortiguación de la corriente de cortocircuito por medio de cables y conductores de la distribución.

Aquí se ve como se amortigua la $I_k = 15.4 \text{ KA}$ a medida que nos alejamos del Transformador de 630 KVA, 400 V, $u_k=6$, con cable de Salida $3x3x185\text{mm}^2\text{Cu}$ - (**14 KA**), y acometidas al Tablero Seccional con $3x70 \text{ mm}^2\text{Cu}$ - (**8,6 KA**) y finalmente al pie del motor con $3x6 \text{ mm}^2\text{Cu}$ – (**2 KA**) (Figura 2)

2. EQUIPOS DE PROTECCION CONTRA SOBREINTENSIDADES

Estos equipos tienen las siguientes funciones:

- Tienen que **permitir las sobre intensidades de funcionamiento normal**, que son por ejemplo los arranques de motores, lámparas de Alumbrado Público.
- Tienen que **detectar con tiempo las sobre intensidades y desconectarlas**, si por estas se **sobrepasan en valor y duración las Temperaturas Límites** de los equipos, y no reducir su **Vida Útil**.
- No pueden evitar el cortocircuito, **pero deben despejarlo en el menor tiempo posible**. Así mantener el nivel de destrucción lo más bajo posible y evitar interrupciones posteriores prolongadas.

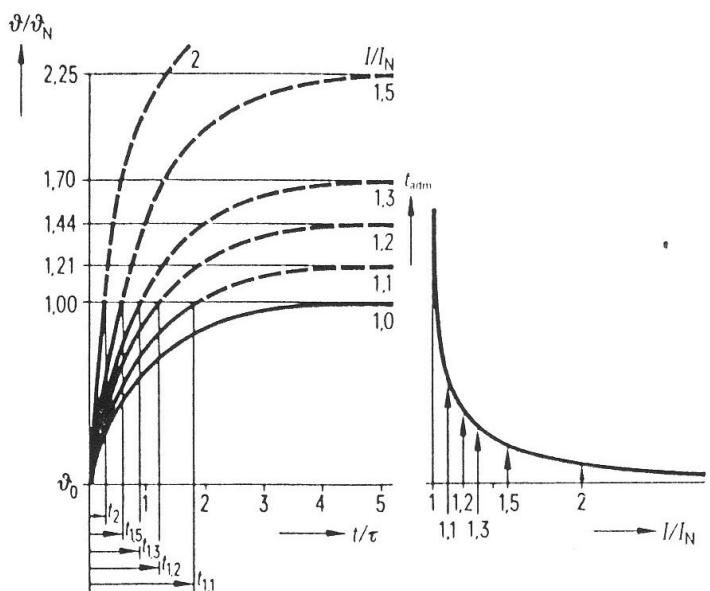


Figura 3 Carga permitida, cuando se excede su calentamiento límite

Aquí se ve la **Curva de Calentamiento** de un motor para su I_N y distintas sobre intensidades, y la correspondiente **Curva de Carga**, que es la base de la curva de disparo del equipo de protección contra sobre intensidades. (figura3)

Los equipos de protección son:

Fusibles

Interruptores de protección con disparadores contra sobre intensidad

Relés contra sobre intensidad

2.1 Fusibles

En principio es un trozo de conductor con sección reducida, siendo este el punto débil donde, debido a su alta resistencia, se eleva mas la temperatura ante el paso de la sobre corriente, lo cual provoca que el fusible se derrita. (Figura 4)

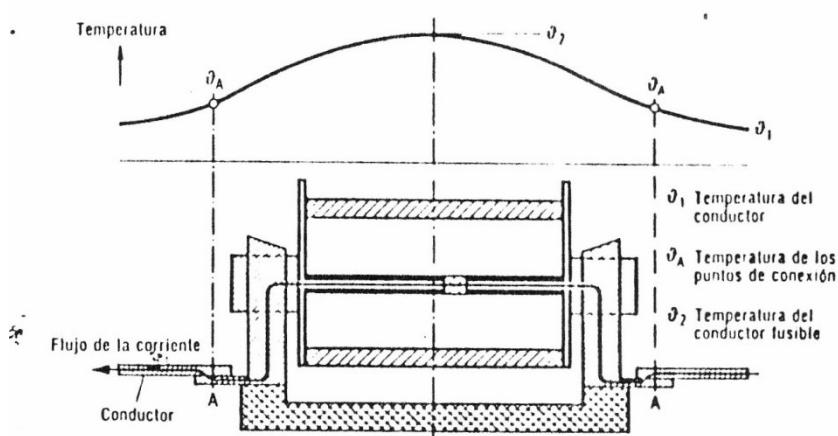


Figura 4 Gradiente de temperatura entre los puntos de conexión del “conductor fusible”

La curva característica de la curva de fusión corre entre dos rectas, la de menor intensidad de fusión (recta perpendicular) y la de calor de fusión I^2t (recta oblicua). (Figura 5)

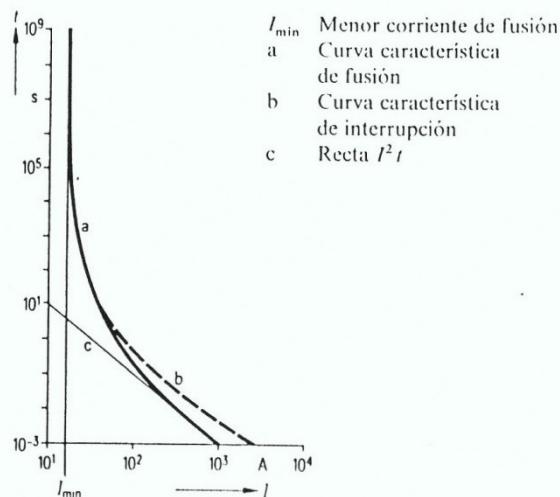
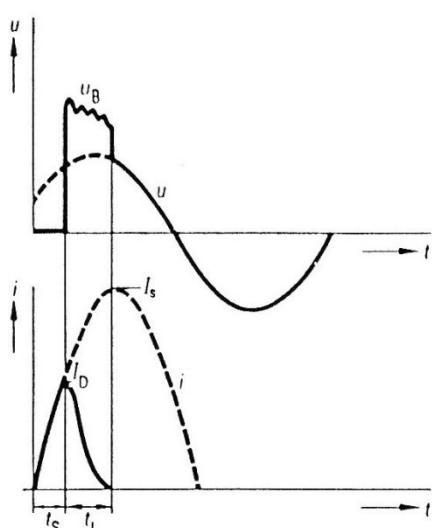


Figura 5 Curva característica de tiempo y corriente de un fusible

Para fusibles tipo NH de 63 a 160 A, los valores menores y mayores de prueba son 1,3 y 1,6 In para la fusión en 2 Horas.

En caso de corrientes de cortocircuito muy elevadas, el fusible se derrite antes que la corriente alcance el valor de pico. Con lo cual se logra 3 factores determinantes. (Figura 6):



- I_s Corriente de choque
- I_d Corriente de cortocircuito limitada
- t_s Tiempo de fusión
- t_L Tiempo de extinción
- u_B Tensión del arco

Figura 6 Oscilograma de una interrupción de un cortocircuito por un fusible.

- Elevada densidad de corriente en el Fusible, lo cual limita la energía de cortocircuito sobre el equipo.
- Corto tiempo de Fusión.
- Elevada tensión de arco.

Curva de Limitación de la Corriente de Cortocircuito. (Figura 7)

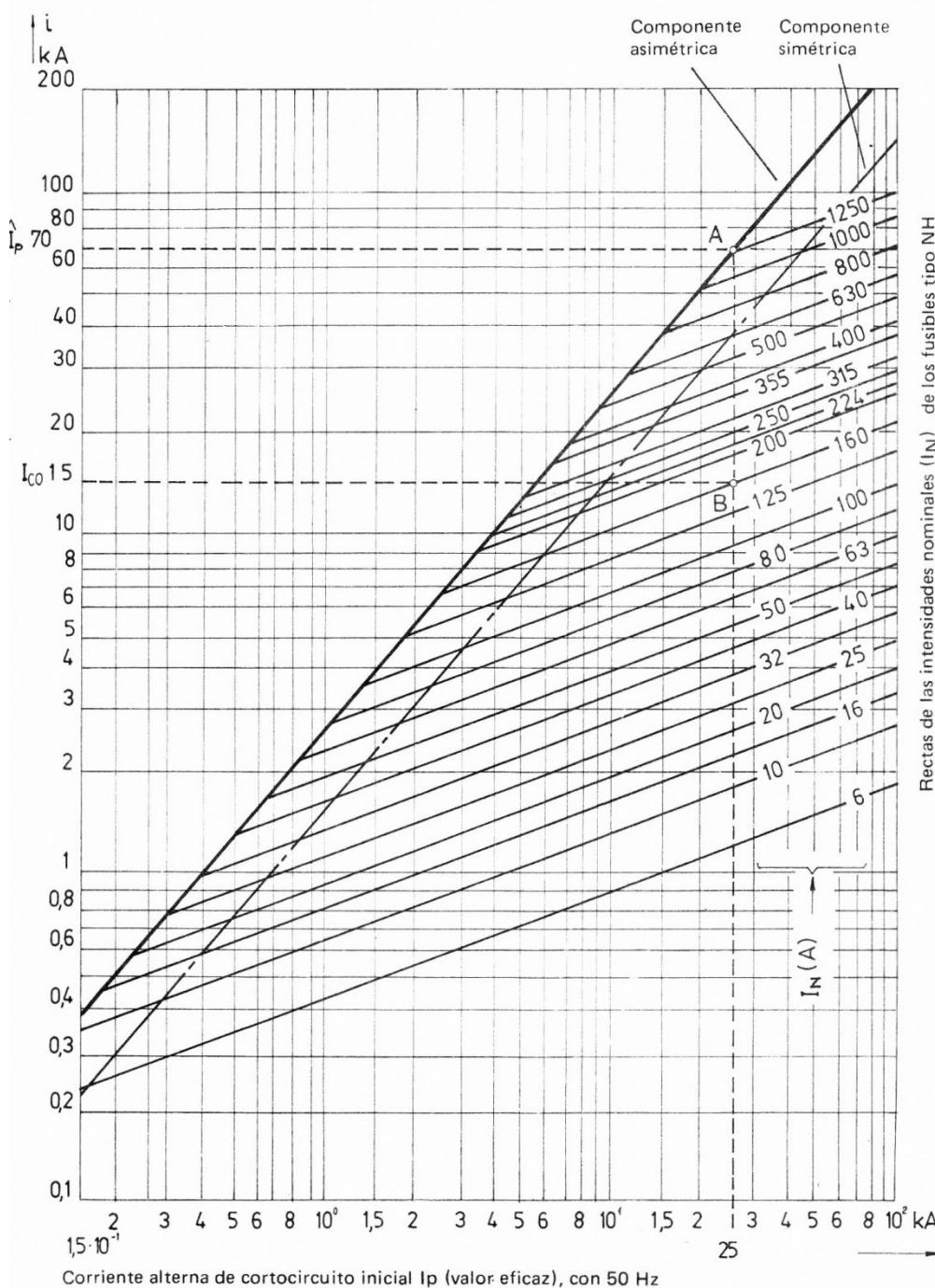


Figura 7 Curvas características de limitación de la corriente presunta ID de una serie de fusibles.

Aquí puede verse el efecto limitador, ingresando con el valor eficaz I_k e intersecando la recta de la corriente de paso ID o I_{co} , la cual tiene como parámetros la I_n de los Fusibles.

A causa de la limitación de la corriente, el fusible se encuentra en condiciones de dominar elevadas corrientes de cortocircuito dentro de reducidos espacios, hasta 100 KA a 500 V en tipo ACR –NH

De acuerdo a sus características de funcionamiento y forma constructiva se los puede dividir en:

Clase de funcionamiento	Clase de Servicio
-------------------------	-------------------

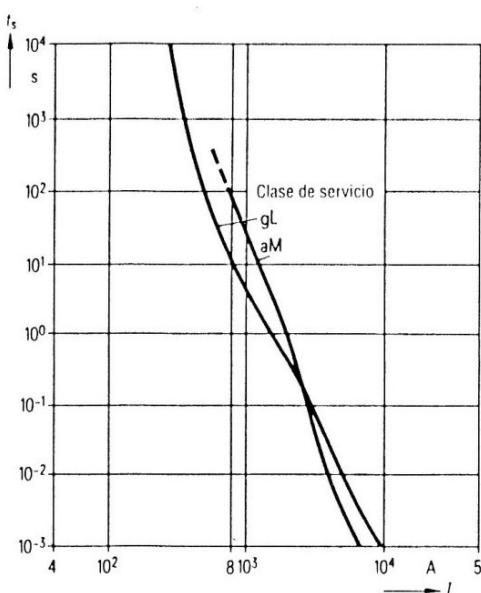
Fusible de rango completo

Denominación	Corriente permanente hasta	Corriente de Interrupción	Denominación	Protección de
g	I_n	$> I_{min}$	gL gR gB	Cables y conductores Semiconductores Equipos de minas

Fusible de rango parcial

Denominación	Corriente permanente hasta	Corriente de Interrupción	Denominación	Protección de
a	I_n	$> 4 I_n$ $> 2.7 I_n$	aM aR	Aparatos de Maniobra Semiconductores

Aquí se ven las curvas de fusión para los fusibles tipo gL y aM . (Figura 8)



t_f Tiempo de fusión

Figura 8 Curva característica de fusión de fusibles NH (200 A)

2.2 Interruptores de protección

Son los interruptores de potencia. (Figura 9)

Para **protección contra sobrecargas** tienen en cada vía de corriente disparadores de sobre intensidad térmicamente retardados.

Para la **detección rápida de corrientes de cortocircuito** poseen disparadores electromagnéticos sin retardo contra cortocircuitos.

El disparador contra sobrecargas tiene una corriente límite entre 1,13 y 1,452 In que dispara al interruptor en aprox. 1 H para interruptores con In hasta 63 A; y aprox. 2 Hs para interruptores con In mayor de 63 A y hasta 125 A

El disparador electromagnético sin retardo asegura su disparo según tres clases:

Clase B (umbral de 3 a 5 In) para cables

Clase C (umbral de 5 a 10 In)

Clase D (umbral de 10 a 20 In) permite arranque de motores

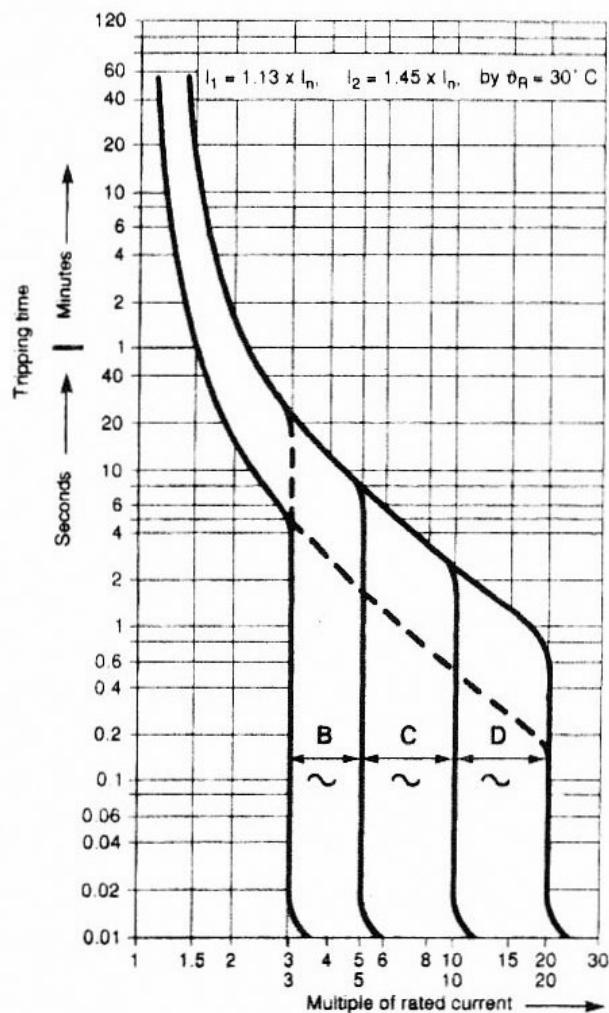


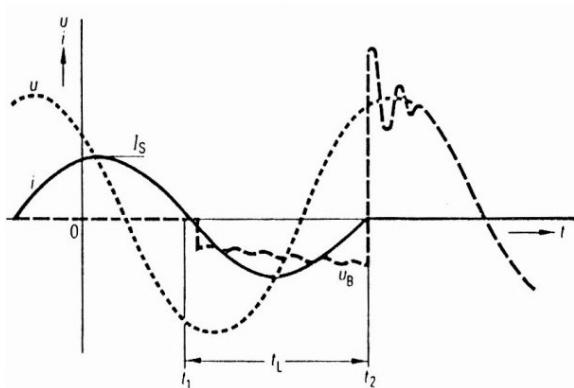
Figura 9 curva de actuación por sobrecarga (térmico) y sin retardo (electromagnético) por cortocircuito

Según el tipo de extinción del arco se los divide en dos géneros constructivos básicos.

- Con extinción al paso por cero.
- Con limitación de corriente

Extintores al paso por cero

El arco de desconexión de corriente se apaga cuando ésta alcanza un paso natural por cero. (Figura 10)

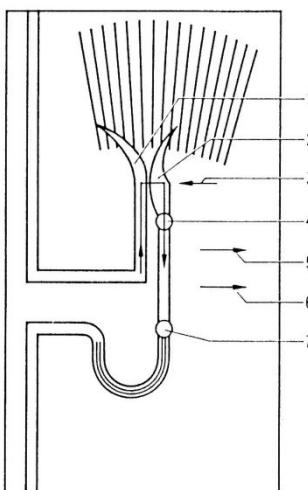


- t_1 Apertura de los contactos
 t_2 Fin del proceso de interrupción
 t_L Duración del arco
 u_B tensión del arco

Figura 10 Oscilograma de la corriente y la tensión durante la interrupción con un interruptor extintor al paso por cero

Los elevados picos de I_s generan enormes fuerzas de separación de los contactos. Conforme a esto los interruptores tienen elevadas fuerzas de contacto o una amplificación electrodinámica de las fuerzas de contacto, para que estos puedan ser mantenidos cerrados hasta que reaccionen los disparadores electromagnéticos sin retardo.

En los interruptores de protección selectiva, con $I_n \geq 160$ A, se aprovecha la amplificación electrodinámica de las fuerzas de contacto. (Figura 11)



- 1 Contacto fijo
 2 Contacto móvil
 3 Dirección de la amplificación de la fuerza de contacto
 4 Punto de giro del contacto móvil cuando el interruptor se encuentra conectado
 5 Dirección de la fuerza de repulsión
 6 Dirección de la fuerza de los resortes de contacto
 7 Punto de giro del contacto móvil durante el cierre o apertura de los contactos

Figura 11 Contactos de un interruptor para selectividad por escalonamiento del tiempo ($I_n \geq 160$ A). Representación del principio.

Limitación de la corriente

Por limitación se entiende que la corriente de pico I_s es limitada a una corriente de paso I_D de menor intensidad. Esto puede lograrse por distintos métodos:

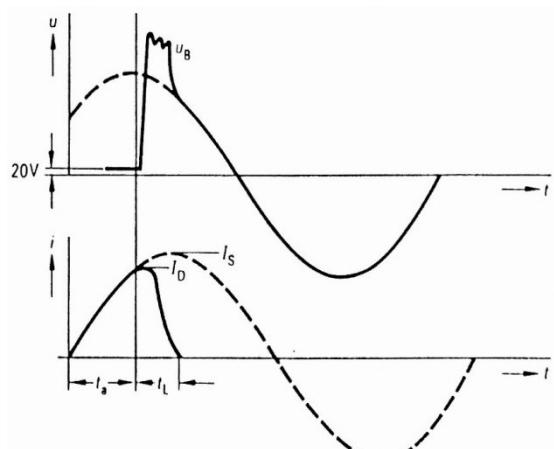
Con elevada resistencia propia

En los interruptores de protección **con baja corriente de ajuste en los disparadores térmicos de sobre intensidad, la resistencia de la vía de corriente con la bobina de calefacción de los bimetálicos, así como la resistencia de la bobina del disparador electromagnético sin retardo contra cortocircuito, son muy elevadas**. Pueden ser tan elevadas que pueden amortiguar una corriente de cortocircuito a un valor tal que pueda soportarlo el interruptor tanto térmica como dinámicamente. Se dice entonces que el interruptor es resistente a cortocircuitos. El límite de esta resistencia depende de la CAPACIDAD DE RUPTURA, y como esta depende de la tensión nominal, la resistencia a cortocircuitos es distinta para cada tensión nominal

Con tiempo propio extremadamente corto y elevada tensión de arco

La apertura de los contactos no se logran mediante los mecanismos de desenganche del interruptor. Este cumple como en los fusibles 2 requisitos. (Figura 12)

- Abrir los contactos antes de que sea alcanzado el valor de pico I_s .
- Conexión inmediata de una elevada resistencia en el circuito en forma de una elevada tensión de arco.

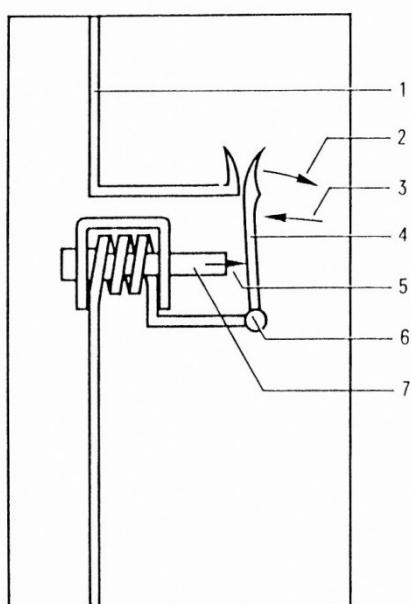


- | | |
|-------|-------------------------------------|
| t_a | Retardo de desconexión |
| t_L | Duración del arco |
| u_B | Tensión del arco |
| I_D | Corriente de cortocircuito limitada |
| I_s | Corriente de choque |

Figura 12 Oscilograma de la corriente y tensión durante la interrupción con un interruptor limitador de la corriente

La apertura rápida de los contactos se puede lograr:

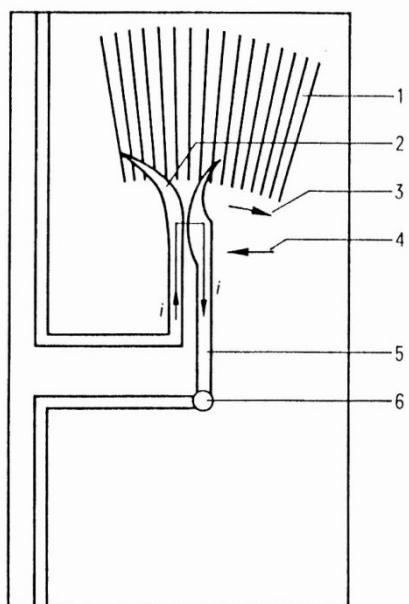
- Haciendo impactar la armadura directamente sobre los contactos. (Figura 13)



- 1 Contacto fijo
- 2 Dirección de la fuerza de repulsión de los contactos
- 3 Dirección de la fuerza de los resortes de contacto
- 4 Contacto móvil
- 5 Dirección de choque de la armadura de percusión
- 6 Punto de giro del contacto móvil
- 7 Armadura de percusión

Figura 13 Contactos de un interruptor limitador de la corriente (In hasta 63 A). Representación del principio

- En los interruptores de mayor In se disponen los contactos fijos y móviles de forma tal que la corriente fluya en sentidos opuestos. La fuerza de repulsión que es efectiva durante el cortocircuito aparta al contacto móvil del fijo.
- Una rápida y elevada tensión de arco se logra por medio de formas apropiadas de los contactos y por la ejecución de cámaras apaga chispas, por donde fluye el arco donde se enfria en las láminas de extinción. (Figura 14)



- 1 Láminas de extinción
- 2 Contacto fijo
- 3 Dirección de la fuerza de repulsión
- 4 Dirección de la fuerza de contacto
- 5 Contacto móvil
- 6 Punto de giro del contacto móvil

Figura 14. Contactos de un interruptor limitador de la corriente (In a partir de 200 A). Representación del principio

3. COMBINACIONES DE MANIOBRA

Los principales atributos de un Fusible son:

- Alta capacidad de ruptura
- Limitación efectiva de la corriente
- Valor térmico de fusión Ik^2t constante, aun para altas corrientes de cortocircuito.

Estas cualidades permiten utilizarlo como elemento de Protección contra cortocircuitos en Contactores e Interruptores de protección.

3.1 Combinación de maniobra “fusible e interruptor de protección”

Aunque la CNR del interruptor sea superada en una instalación, este puede utilizarse si se le conectan en serie fusibles. Para asegurar que en el acoplamiento de ambos ni el interruptor de protección ni sus contactos sean dañados por altas corrientes de cortocircuito, deben armonizarse las características de ambos elementos de protección. (Figura 15)

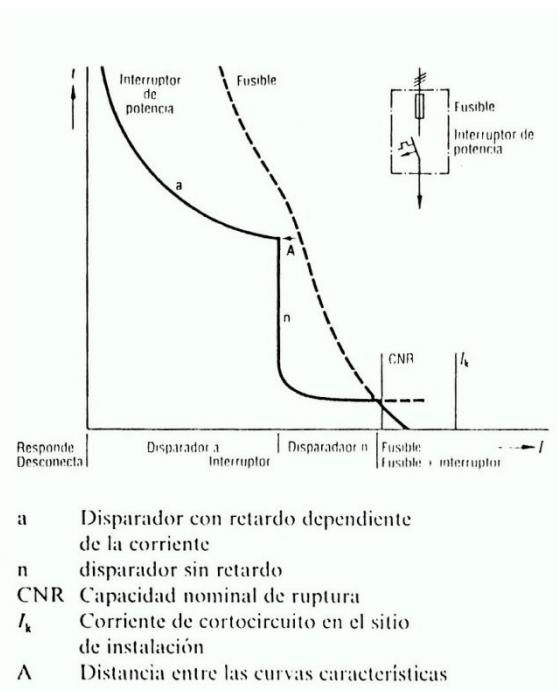


Figura 15 Combinación de maniobra “fusible e interruptor de protección”

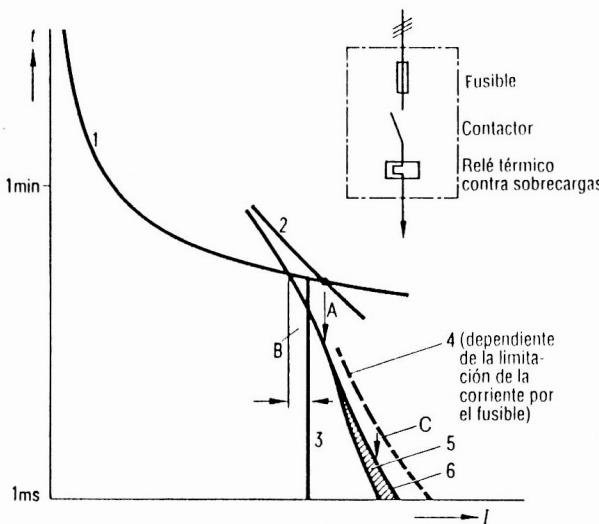
- La curva característica del fusible corre a una distancia A por encima de la curva de disparo por sobrecarga térmica a del interruptor, la protección contra sobrecargas es exclusiva del interruptor.
- El fusible apoya al interruptor en la interrupción de corrientes a partir de los valores que correspondan a la CNR del interruptor. En estos casos la interrupción corre por cuenta del fusible, pudiendo luego el interruptor abrir sus contactos sin corriente.
- El valor I_k^2t de fusión del fusible no sobrepasa el valor permitido en el disparador térmico contra sobrecargas del interruptor. Esto es importante para las tiras bimetálicas con bobina de calefacción del dispositivo, dado que esta peligra térmicamente con superiores corrientes a su CNR.
- El margen de sobrecargas es controlado por el disparador térmico (a). De las corrientes de cortocircuito hasta la CNR se encarga el disparador sin retardo contra cortocircuitos. Solamente ante un cortocircuito elevado entra el fusible en acción.
- Esta combinación de maniobra domina corrientes de cortocircuito hasta la CNR del fusible.

3.2 Combinación de maniobra “fusible, contactor y relé bimetálico”

Los contactores se utilizan para el accionamiento a distancia de motores u otros equipos. El relé térmico, reacciona ante una sobrecarga y produce la apertura de los contactos principales del contactor.

De acuerdo a su clasificación en función de la CNR, los contactores pertenecen al grupo de “interruptores de motores”. Según la I_e nominal de servicio, el contactor tiene capacidad de interrumpir corrientes hasta $8I_e$ y transportar hasta $10I_e$ sin que se produzcan soldaduras en sus contactos.

La protección contra cortocircuitos del relé, contactor, conductores y motor está a cargo del fusible. (Figura 16)



- 1 Curva característica de disparo del relé térmico contra sobrecargas
- 2 Curva característica de destrucción del relé térmico contra sobrecargas
- 3 Capacidad de ruptura del contactor
- 4 Curva característica de contactor, para una soldadura fácil de romper de los contactos
- 5 Curva característica de fusión del fusible de la clase de servicio aM
- 6 Curva característica del tiempo total de interrupción del fusible de la clase de servicio aM

Figura 16 Combinación de maniobra “fusible, contactor y relé bimetálico”

Protección del relé bimetálico

El relé bimetálico protege al contactor, conductores y motor de la sobrecarga y también se auto protege. Si se supera 10 veces su I_{n} , entonces se producen deformaciones de las tiras bimetálicas o bien la bobina de calefacción se calcina produciendo deformaciones a su alrededor antes de que dispare. En este caso el fusible debe interrumpir esta corriente de sobrecarga, su curva característica debe correr **una distancia A** por debajo de la intersección de la curva característica de disparo y la de destrucción del relé.

Protección del contactor

- a) De corrientes de interrupción muy elevadas.

Los contactores pueden interrumpir entre 6 a 10 I_e . En caso de **valores superiores no está permitido que el relé desconecte al contactor**. La interrupción debe ser efectuada por el fusible. Por este motivo la curva característica del fusible debe correr por debajo de la de disparo del relé a **una distancia B** por debajo de la intersección de esta última y la CNR del contactor.

- b) Los contactores deben soportar, según su I_e , corrientes de arranque de motores entre 8 y 12 I_e sin que sufran soldaduras sus contactos, las cuales pueden en un caso aceptarse y en otro caso no. En él

caso de elevadas corrientes o prolongados lapsos de sobrecargas la temperatura en los puntos de contacto adquiere temperaturas elevadas modificando las estructuras de los componentes. El fusible en serie debe interrumpir a tiempo estas corrientes de sobrecarga y su curva característica compuesta por su tiempo de fusión más tiempo de extinción del arco debe correr **una distancia C** por debajo de las curvas características de soldaduras de los contactos del contactor.

A pesar que los fusibles interrumpen elevadas corrientes limitando sus picos en corto tiempo. Hay corrientes del orden de 20 I_e del contactor donde el fusible es relativamente lento en interrumpir ocasionando efectos térmicos desfavorables en el dispositivo. Esto se eliminaría instalando en serie fusibles tipo NH **de clase de servicio gL de menor In**. En consecuencia la capacidad de potencia de motores que el contactor está en condiciones de conectar se desaprovecha. Esto se resuelve si se utilizan fusibles de la clase de servicio aM que poseen estas cualidades:

- A causa de su lentitud en la zona de sobrecargas soportan corrientes de arranque hasta 6 I_n durante 10 minutos sin sufrir envejecimiento.
- En la zona de cortocircuito descargan más efectivamente a los contactores que los de clase gL a causa de una limitación más efectiva de la corriente. Esto permite la utilización de contactores de 170 a 630 A de I_e sin problemas de soldadura.

Ante la eliminación de una fase por cortocircuito, queda un motor trifásico conectado en forma monofásica o bifásica, lo cual produce sobrecargas desfavorables en el mismo. Para evitar estos efectos se utilizan relés bimetálicos por falta de fase.

3.3 Combinación de maniobra “Interruptor de protección – contactor”.

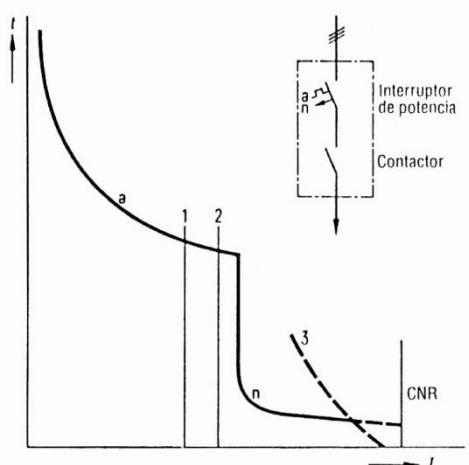
El interruptor de protección toma la función de un guarda motor. (Figura 17)

El disparador ajustable térmicamente (disparador “a”) es ajustado a la corriente nominal del motor, o a la corriente de servicio del mismo. Con esto el interruptor protege contra sobrecargas tanto al motor, como al contactor y a la línea de alimentación del motor.

El disparador sin retardo contra cortocircuitos (disparador “n”) se ajusta aproximadamente a 12 veces la I_n del disparador contra sobre cargas (disparador “a”). Esta corriente de ajuste relativamente elevada es necesaria para evitar disparos provocados por los picos de la corriente de arranque.

La protección contra sobrecargas y cortocircuito se reserva al interruptor de protección.

La maniobra, funciones de conexión y desconexión se reserva al contactor.



- 1 Capacidad de ruptura del contactor
 2 Capacidad de conexión del contactor
 3 Curva característica del contactor, para una soldadura de los contactos fácil de romper
 a Disparador con retardo dependiente de la corriente
 n Disparador sin retardo contra cortocircuitos
 CNR Capacidad nominal de ruptura

Figura 17 Combinación de maniobra “Interruptor de protección – contactor”.

3.4 Combinación de maniobra “interruptor de protección con disparador ajustable sin retardo contra cortocircuito – contactor - relé bimetálico.

La protección contra sobrecargas es tomada por el relé bimetálico en combinación con el contactor. Corrientes más elevadas las interrumpe el interruptor de protección. Su disparador contra cortocircuito (disparador n) se ajusta escasamente sobre la corriente de arranque del motor. Así es fácil identificar la causa de salida de servicio del equipo. (Figura 18)

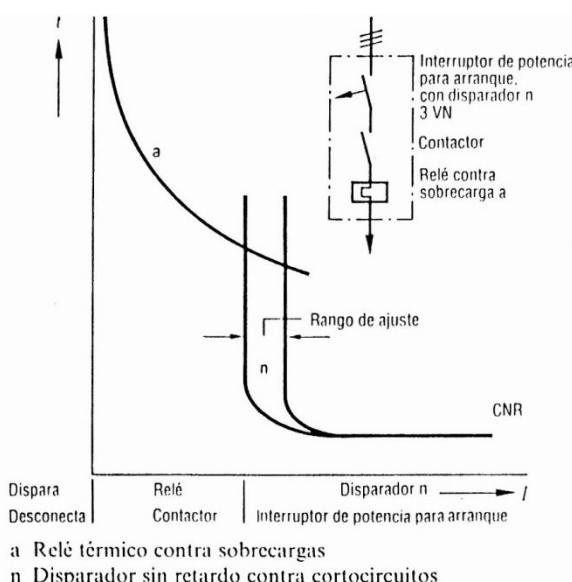


Figura 18 Combinación de maniobra “interruptor de protección con disparador ajustable sin retardo contra cortocircuito – contactor - relé bimetálico”.

4. BIBLIOGRAFIA

Manual de Baja Tensión – Siemens

Catálogo Fusibles de Alta Capacidad de Ruptura – Semikron

Technical Data Miniature Circuit Breakers - ABB

Apunte Cátedra “Dispositivos e Instalaciones Eléctricas” – UNLP