

PROTECCIÓN DE INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

Durante la explotación de cualquier instalación suelen producirse, de forma esporádica, averías u otras circunstancias que determinan que las corrientes o tensiones en la instalación o en parte de ella sean mayores que en condiciones normales de funcionamiento.

Cuando se producen estas condiciones anormales (sobreintensidades o sobretensiones) es necesario que actúen los sistema de protección.

El objetivo de este capítulo es la protección de la instalación eléctrica y no de las personas.

1.1.- Conceptos básicos

Intensidad de empleo.- Intensidad que circula por un circuito o línea en condiciones normales de utilización.

Intensidad admisible de un conductor.- Valor de la intensidad que circulando en un régimen dado, determina una temperatura máxima en el conductor que no supera un valor especificado para este régimen.

Sobreintensidad.- Intensidad superior a la intensidad admisible o a la nominal.

Sobrecarga.- Sobreintensidad que se produce en un circuito eléctricamente sano.

Se pueden clasificar en:

- Previsibles o momentáneas (arranque de motores asíncronos).
- No previsibles (averías en las cargas, sobreutilización de la instalación).

Producen temperaturas superiores a las admisibles en los elementos de las instalaciones y su envejecimiento prematuro.

Cortocircuito.- Sobreintensidad originada por un defecto de aislamiento de impedancia despreciable entre dos puntos que en servicio normal tienen potenciales definidos y distintos.

Las causas más frecuentes de los cortocircuitos son:

- Fallos puntuales de aislamiento (entre partes activas o entre una parte activa y masa).
- Defectos en las cargas conectadas (averías o conexiones incorrectas).
- Defectos en las conexiones de la instalación.

Producen efectos térmicos y electrodinámicos.

Sobretensión.- Tensión superior a la nominal más su tolerancia.

Se pueden deber a las siguientes causas:

- Descargas atmosféricas.
- Maniobras en las redes de transporte y distribución.
- Maniobras en la instalación del usuario.
- Sobretensiones de servicio.

Producen efectos perjudiciales como:

- Perforación de aislantes.
- Averías en equipos electrónicos.
- Averías en los receptores por sobrecargas.

1.2.- Normativa

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.- MIE BT 020. “Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobreintensidades y sobretensiones”.

Norma UNE 20 460, parte 4-43.- “Instalaciones eléctricas en edificios. Protección para garantizar la seguridad. Protección contra las sobreintensidades”.

Norma UNE 20 460, parte 4-473.- “Instalaciones eléctricas en edificios. Protección para garantizar la seguridad. Aplicación de medidas de protección. Protección contra sobreintensidades”

2.- PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

2.1.- Fundamento de la protección frente a sobrecargas

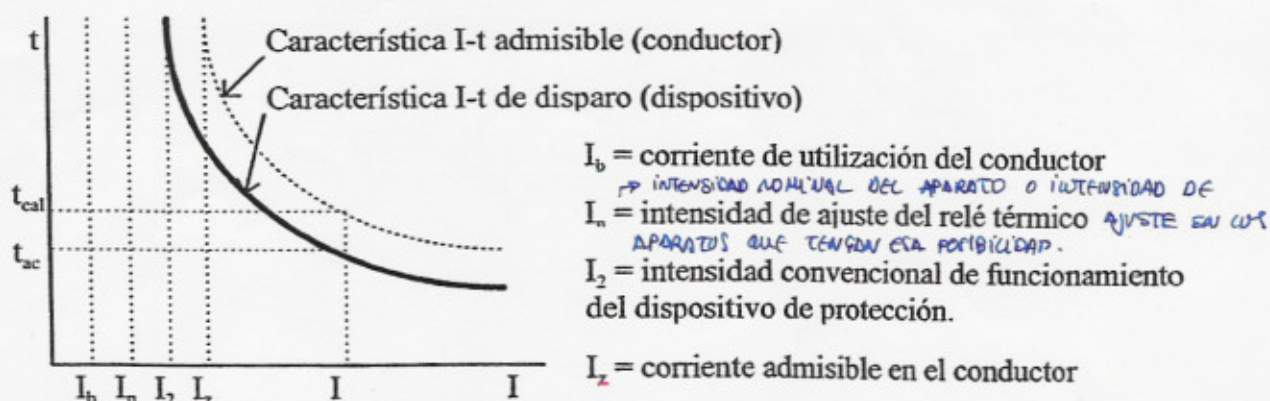
Conceptualmente, la condición para que un dispositivo de protección frente a sobrecargas proteja efectivamente un conductor es que, para todas las sobrecargas posibles, el dispositivo de protección actúe interrumpiendo la corriente del circuito antes de que alcance la temperatura admisible, es decir:

Protección efectiva: $t_{ac} < t_{cal}$ para todas las corrientes de sobrecarga posibles

Siendo:

t_{ac} tiempo que tarda en actuar la protección.

t_{cal} tiempo de calentamiento del conductor o tiempo invertido en alcanzar la temperatura admisible.



Para que la protección sea efectiva, la característica de disparo del dispositivo I-t debe estar por debajo de la característica I- t_{cal} del conductor para todas las corrientes de sobrecarga posibles.

Para la protección frente a sobrecargas se utilizan los siguientes dispositivos:

- Interruptor magnetotérmico.
- Interruptor automático con disparador directo de sobreintensidad de tiempo inverso o con disparador indirecto asociado a un relé térmico.
- Fusibles gG (o gL).
- Contactor combinado con relé térmico.

La condición teórica de protección frente a sobrecargas es difícil de aplicar en la práctica, por que normalmente no se conoce la característica I-t admisible de los conductores. La UNE 20 460, establece un criterio de muy fácil aplicación, para verificar la protección frente a sobrecargas.

Se considera que un dispositivo de protección protege de modo efectivo a un conductor si se verifican las dos condiciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_b \leq I_n \leq I_z \\ I_2 \leq 1,45 I_z \end{array} \right.$$

La Norma IEC 947-2 impone las siguientes condiciones a los interruptores:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_2 \leq 1,45 I_z \text{ el tiempo de disparo debe ser menor de 1 hora.} \\ I_2 = 1,30 I_z \text{ el tiempo de disparo debe ser menor de 2 horas.} \end{array} \right.$$

3.- PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS

Un dispositivo de protección frente a cortocircuitos debe ser capaz de cortar todas las corrientes de cortocircuitos que se puedan producir en la parte de instalación que protege, antes de que ningún elemento del circuito sea dañado. Para ello deben cumplir dos condiciones:

♦ Criterio del poder de corte.

El poder de corte del dispositivo de protección debe ser mayor que la corriente de cortocircuito prevista en el punto donde está instalado. Vamos a particularizar esta condición para distintas instalaciones y aparatos de protección utilizados.

a) Componente simétrica de amplitud constante.

$$\text{Poder de corte } PC > I''_k = I_k$$

b) Componente simétrica de amplitud variable (caso general).

b1) Dispositivos limitadores.

$$\text{Poder de corte } PC > I''_k$$

b2) Dispositivos no limitadores.

$$\text{Poder de corte } PC > I_{sc}$$

b3) Dispositivos retardados.

$$\text{Poder de corte } PC > I_k$$

♦ Criterio de tiempo de corte.

El dispositivo de protección debe cortar la corriente de cortocircuito antes de que la temperatura de los elementos del circuito supere la temperatura máxima admisible.

Dependiendo de la duración del cortocircuito, se tiene:

a) Cortocircuito de duración mayor de 0,1 segundo y menor de 5 segundos.

Se debe cumplir la condición:

$$t_c \leq t_{ad}$$

b) Cortocircuito de duración inferior a 0,1 segundo.

La condición es:

$$(I^2 t)_{\text{Disp}} \leq (I^2 t)_{\text{Adm}} = (KS)^2$$

Los dispositivos más utilizados para protección frente a cortocircuitos son:

- Interruptor automático.
- Fusibles.
- Interruptor automático y fusible.
- Contactor combinado con fusible y relé térmico.

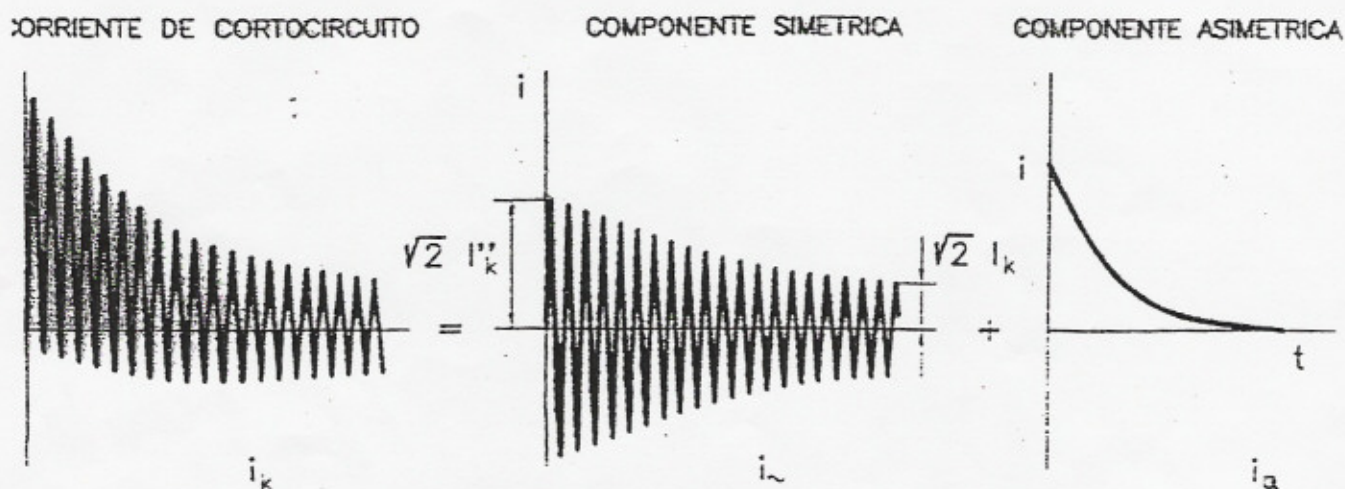
4.- CALCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO EN INSTALACIONES DE BT

Antes de seleccionar los dispositivos de protección, es necesario conocer las corrientes originadas por posibles cortocircuitos en los distintos puntos de la instalación, en las condiciones más desfavorables.

4.1.- Parámetros característicos de las corrientes de cortocircuito

Para caracterizar esta corriente resulta útil descomponerla en suma de dos componentes:

- Componente simétrica (alterna).**- La componente simétrica, $i_{\sim}(t)$, tiene una variación senoidal en el tiempo, con una frecuencia igual a la de la red y una amplitud que decrece de forma exponencial, hasta estabilizarse en un valor $\sqrt{2} I_k$.
- Componente Asimétrica (unidireccional o continua).**- Esta componente tiene una evolución en el tiempo exponencial; en el instante en que se produce el cortocircuito ($t=0$) tiene su valor máximo, tendiendo hacia cero, valor en el que se estabiliza, después de algunos periodos.



La corriente de cortocircuito se caracteriza por los siguientes parámetros:

- ♦ **Corriente de cortocircuito $i_k(t)$.**- Es la corriente que circula por el punto donde se produce el cortocircuito. Es una función que varia con el tiempo.
- ♦ **Corrientes parciales de cortocircuito.**- Son las corrientes de cortocircuito que circulan por las distintas partes de la instalación, que en el caso general de cortocircuitos alimentados desde varias fuentes, representa una porción de la corriente de cortocircuito.
- ♦ **Corriente simétrica de cortocircuito $i_{\sim}(t)$.**- Es la componente alterna de la corriente de cortocircuito.
- ♦ **Corriente inicial simétrica de cortocircuito I''_k .**- Es el valor eficaz de la corriente simétrica en el primer semiperiodo tras el cortocircuito.

Este es el parámetro fundamental en el cálculo de cortocircuitos, define el poder de corte de los dispositivos de protección limitadores y sirve de base para el cálculo de los restantes parámetros.

- ♦ **Corriente máxima asimétrica de cortocircuito I_k (corriente de cresta).**- Es el valor máximo instantáneo que puede alcanzar la corriente de cortocircuito.

♦ **Corriente permanente de cortocircuito I_k .**- Es el valor eficaz de la corriente de cortocircuito (o de su componente alterna) una vez finalizados los fenómenos transitorios del cortocircuito.

♦ **Corriente simétrica de corte I_{sc} .**- Este parámetro se refiere a interruptores automáticos o magnetotérmicos y se define como el valor eficaz de la corriente simétrica que circula por el interruptor en el momento en que se inicia la separación de los contactos.

En los aparatos no limitadores, este parámetro es el que determina el poder de corte necesario. En el caso de interruptores limitadores, I_{sc} es igual a la corriente inicial simétrica; en los interruptores con disparo electromagnético retardado coincide con la corriente permanente de cortocircuito I_k .

♦ **Potencia de cortocircuito para la corriente inicial simétrica S''_k .**- Se define por el producto $S''_k = \sqrt{3} U I''_k$, siendo U la tensión nominal de la red en el punto considerado.

Este parámetro se utiliza para tener en cuenta la limitación introducida en la corriente de cortocircuito por la impedancia de la red de media tensión.

4.2.- Tipos de cortocircuitos

a) **Cortocircuito tripolar.**- Se producen cuando en un punto de la instalación se unen las tres fases mediante una impedancia despreciable.

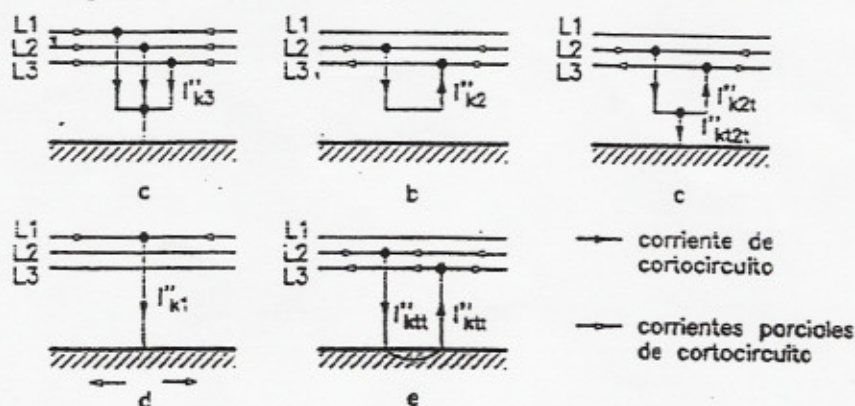
El cortocircuito tripolar es el único que se considera cuando se diseñan las protecciones de la instalación, a pesar de ser el tipo de defecto menos frecuente, por ser el más desfavorable (salvo algunos casos especiales que se citan a continuación) y a la vez el más sencillo de analizar.

b) **Cortocircuito bipolar sin contacto a tierra.**- Cuando este defecto se produce en las proximidades de un generador de potencia elevada (en relación con la potencia de la instalación), los valores de I_{sc} e I_k pueden ser mayores que los correspondientes al cortocircuito trifásico.

c) **Cortocircuito bipolar con contacto a tierra.**- Pueden dar valores de I_{sc} e I_k mayores que el cortocircuito trifásico en las mismas condiciones que el caso anterior.

d) **Cortocircuito unipolar a tierra.**- Es el tipo de defecto más frecuente en las instalaciones eléctricas. En las instalaciones en baja tensión con esquema TN y transformador de conexión YZ, pueden producir corrientes hasta un 50% mayores que la del cortocircuito trifásico si el defecto es muy próximo a los bornes del transformador.

e) **Doble defecto a tierra.**- Este defecto puede producirse en instalaciones con esquema de conexión IT, y da siempre corrientes menores que el cortocircuito trifásico.



4.3.- Cálculo de cortocircuitos tripolares alimentados exclusivamente desde la red

Consideramos en caso de instalaciones sencillas, en las que no existen grandes generadores o motores conectados a la instalación o en sus proximidades; la potencia de las máquinas eléctricas es mucho menor que la potencia del transformador. En la práctica suele considerarse despreciable la aportación de los motores al cortocircuito cuando su corriente nominal es menor que el 1% de la corriente inicial simétrica calculada sin considerarlos.

La evolución de la corriente de cortocircuito en este caso es más sencilla que en el caso general, ya que la amplitud de la componente simétrica es constante.

En estas condiciones, la corriente inicial simétrica, la corriente permanente de cortocircuito y la corriente simétrica de corte coinciden: $I''_k = I_k = I_{sc}$ y el estudio de los cortocircuitos se limita al cálculo de $I''_k = I_k$.

Los cálculos expuestos en los siguientes apartados se refieren al cortocircuito tripolar.

4.3.1.- Cálculo de corriente inicial simétrica I''_k

Cuando se considera la red como única fuente de la corriente de cortocircuito, el valor de la corriente inicial simétrica en el lado de BT viene dada por:

$$I''_k = \frac{U}{\sqrt{3} Z_k};$$

Siendo:

U tensión nominal secundaria del transformador.

$Z_k = (R_k + j X_k)$ impedancia del circuito de defecto.

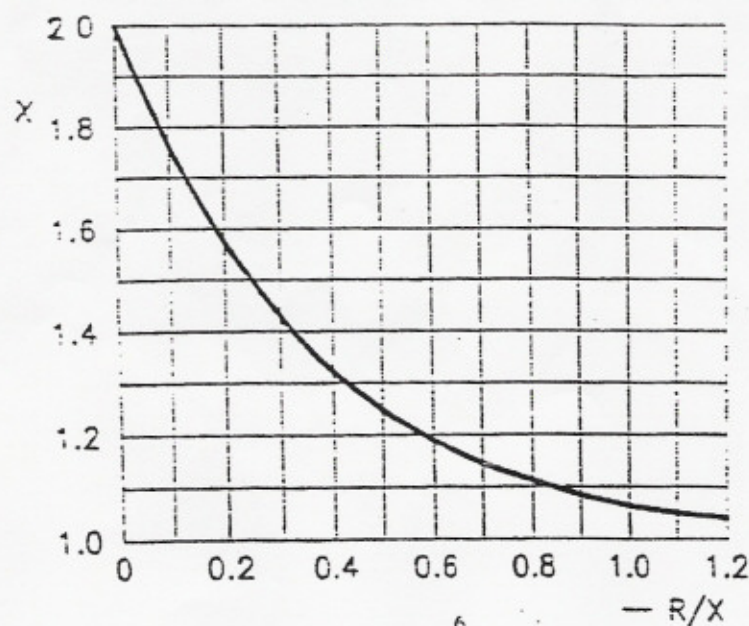
El problema del cálculo de I''_k en los distintos puntos de la instalación se reduce al cálculo de la impedancia de defecto en cada caso.

4.3.2.- Cálculo de corriente máxima asimétrica I_s

El valor de I_s se obtiene a partir de la corriente inicial simétrica calculada en el apartado anterior, mediante la expresión:

$$I_s = \chi \sqrt{2} I''_k;$$

χ = Coeficiente que depende de la relación R_k/X_k , cuyo valor se obtiene de la curva:



A continuación se expone el método de cálculo de la impedancia de defecto en los distintos supuestos que pueden presentarse en el diseño de una instalación de baja con un única fuente de cortocircuito.

4.3.3.- Cortocircuito en bornes del transformador en una red de MT de potencia infinita

Al suponer la red de MT de potencia infinita, la tensión en bornes del transformador durante el cortocircuito es constante e igual a la nominal. Con esta hipótesis, la corriente de cortocircuito está limitada únicamente por la impedancia del transformador calculándose unos valores ligeramente mayores que los valores reales.

El esquema de cálculo de la impedancia de defecto es:

• *Datos de partida:*

Parámetros básicos del transformador:

- ◊ S Potencia nominal del transformador (KVA)
- ◊ U Tensión nominal secundaria (V)
- ◊ ϵ_{Rcc} Componente resistiva de la tensión de cortocircuito, en %
- ◊ ϵ_{Xcc} Componente inductiva de la tensión de cortocircuito, en %

• *Cálculo de la impedancia de cortocircuito del transformador (en m Ω):*

$$R_{cc} = \frac{\epsilon_{Rcc} (\%) \cdot U^2}{100 \cdot S} \quad (m\Omega)$$

$$X_{cc} = \frac{\epsilon_{Xcc} (\%) \cdot U^2}{100 \cdot S} \quad (m\Omega)$$

$$Z_{cc} = \sqrt{(R_{cc})^2 + (X_{cc})^2} \quad (m\Omega)$$

• *Cálculo de la impedancia de defecto:*

$$Z_k = Z_{cc}, \quad R_k = R_{cc}, \quad X_k = X_{cc}$$

I''_k e I_s se obtienen de sus expresiones; en este caso I''_k puede también calcularse mediante la expresión:

$$I''_k = \frac{100 I_n}{\epsilon_{cc} (\%)}; \quad \text{Siendo:}$$

I_n Corriente nominal del transformador
 $\epsilon_{cc} (\%)$ tensión de cortocircuito, en %

4.3.4.- Cortocircuito en bornes del transformador considerando la limitación producida por la red de MT

Cuando se produce un cortocircuito en bornes del transformador, la corriente que circula por la línea de MT que lo alimenta es mayor que en condiciones normales de utilización la caída de tensión en esta línea será mayor por lo que la tensión aplicada al transformador durante el cortocircuito es ligeramente menor que la nominal.

La corriente de cortocircuito está limitada por la impedancia de la línea y la del transformador.

La impedancia de la línea se estima a partir de la potencia de cortocircuito de la red S''_k ; este dato debe ser facilitado por la compañía distribuidora, aunque su valor está muy normalizado.

El esquema de cálculo de la impedancia de defecto es:

• *Datos de partida:*

Parámetros básicos del transformador:

◊ Los mismos que en el apartado anterior

Parámetros de la red:

◊ S''_k Potencia de cortocircuito de la red (MVA)

• *Cálculo de la resistencia (R_{cc}), reactancia (X_{cc}) e impedancia (Z_{cc}) del transformador (en $m\Omega$):*

◊ Según las expresiones del apartado anterior

◊

• *Cálculo de la impedancia (Z_L), reactancia (X_L) y resistencia (R_L) de la línea de distribución, referidas al secundario del transformador (en $m\Omega$):*

$$Z_L = 1,1 \frac{U^2}{1000 S''_k} \quad (m\Omega)$$

$$X_L = 0,995 Z_L \quad (m\Omega)$$

$$R_L = 0,1 X_L \quad (m\Omega)$$

• *Cálculo de la impedancia de defecto:*

$$R_k = R_L + R_{cc}, \quad X_k = X_L + X_{cc}, \quad Z_k = \sqrt{(R_L + R_{cc})^2 + (X_L + X_{cc})^2} \quad (m\Omega)$$

I''_k e I_s se obtienen de sus expresiones; a partir de la impedancia de defecto.

4.3.5.- Cortocircuito en un punto alejado del transformador

En este caso la corriente de cortocircuito está limitada por la red, el transformador y los elementos de la instalación que recorre (cables, embarrados y conexiones). No obstante, en la práctica, solo se consideran las impedancias de los cables y del transformador.

■ Las resistencias de las líneas pueden estimarse mediante:

$$R_i = \frac{1000 \rho l_i}{n_i s_i} \quad (m\Omega);$$

Donde:

l_i es la longitud de la línea en metros

n_i número de conductores en paralelo por fase

s_i sección de un conductor, en mm^2

ρ resistividad del conductor, en $\Omega mm^2/m$

$\rho_{Cu} = 1/58 \Omega mm^2/m$ para el Cobre

$\rho_{Al} = 1/35 \Omega mm^2/m$ para el Aluminio

■ Las reactancias de las líneas viene dado por:

$$X_i = x'_i l_i / 1000 \quad (m\Omega);$$

x'_i reactancia por Km línea.

Depende de la disposición de los conductores.

Suelen adoptarse los siguientes valores característicos, en función del tipo de línea:

♦ *Cables tripolares:*

$$x'_i \cong 80 \text{ m}\Omega/\text{Km}$$

♦ *Ternos de cables tendidos paralelamente, barras de distribución:*

$$x'_i \cong 130 \text{ m}\Omega/\text{Km}$$

♦ *Líneas aéreas:*

$$x'_i \cong 330 \text{ m}\Omega/\text{Km}$$

5.-SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRENTE A CORTOCIRCUITOS

5.1.- Protección mediante interruptor automático

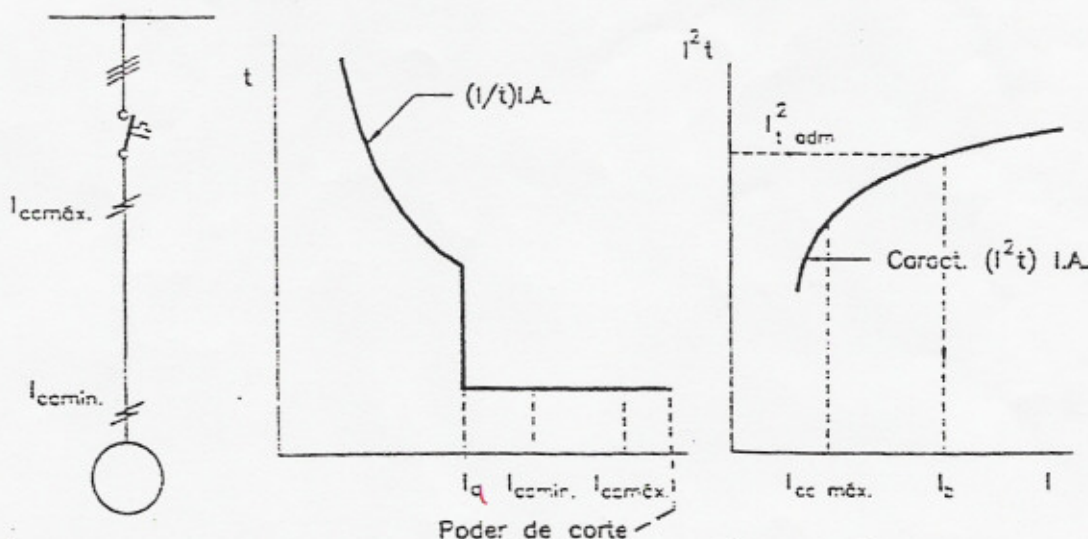
Es necesario calcular las corrientes de cortocircuito previstas en el origen de la línea $I_{cc,m\acute{a}x}$ y en su extremo $I_{cc,m\acute{i}n}$; las condiciones que debe cumplir el interruptor automático o magnetotérmico para que la línea esté protegida efectivamente, según la Norma UNE 20 460, son:

a) Poder de corte del interruptor automático, $P.C. > I_{cc,m\acute{a}x}$

b) $I_{cc,m\acute{i}n} > I_a$; I_a intensidad de regulación del disparador electromagnético.

→ corriente de utilización del conductor.

c) $I_{cc,m\acute{a}x} < I_b$; I_b intensidad que corresponde al $(I^2t)_{adm}$ del conductor medida sobre la característica de I^2t del interruptor automático.



La condición b) significa que todos los posibles cortocircuitos en la línea protegida por el I.A. deben producir la actuación del disparador electromagnético.

Con la condición c) se garantiza que para la máxima corriente de cortocircuito posible, la temperatura del cable no alcanza el valor máximo admisible.

5.2.- Protección mediante fusibles

En las líneas protegidas mediante fusible, según la Norma UNE 20 460, la protección frente a cortocircuitos de la línea está garantizada si se cumplen las siguientes condiciones:

a) Poder de corte del fusible, $P.C. > I_{cc,m\acute{a}x}$

b) $I_{cc,min} > I_a$;

c) $I_{cc,m\acute{a}x} < I_b$; I_b ; intensidad que corresponde al $(I^2t)_{adm}$ del conductor medida sobre la característica de I^2t del fusible.

5.3.- Protección mediante combinación fusible-interruptor automático

El precio de los interruptores automáticos aumenta considerablemente con el poder de corte, a igualdad de las restantes características; la combinación fusible-interruptor automático, permite utilizar interruptores automáticos con poder de corte moderado en partes de la instalación con elevadas corrientes de cortocircuito, reduciéndose con ello el coste de la instalación.

Con la combinación fusible-interruptor automático, se pretende que el I.A. despeje todas las sobreintensidades menores que su poder de corte I_c produciéndose la fusión del fusible únicamente con cortocircuitos mayores que I_c . La intersección de las características I-t de los dos dispositivos debe producirse en un punto cuya corriente I_i sea algo menor que el poder de corte del I.A.

Además, se debe comprobar que el I.A. y el fusible seleccionados cumplen con los criterios de protección particulares en el rango de corrientes de cortocircuito en el que actúa cada uno; para el interruptor automático se considera $I_{cc,m\acute{a}x} = I_i$ mientras que para el fusible se tomará $I_{cc,min} < I_i$.

El interruptor automático no cumple con el criterio de poder de corte, pero se garantiza que está protegido de forma efectiva por el fusible cuando se producen cortocircuitos mayores que su poder de corte. Esta condición se cumple si se verifican las siguientes relaciones:

a) $I_{s,adm,IA} > I_{s,F}$

b) $(I^2t)_{adm,IA} > (I^2t)_F$

Donde:

$I_{s,adm,IA}$ corriente máxima asimétrica admisible por el I.A.

$I_{s,F}$ corriente de cresta limitada por el fusible, para el cortocircuito máximo

$(I^2t)_{adm,IA}$ es el I^2t admisible por el interruptor automático

$(I^2t)_F$ es el valor del I^2t limitado por el fusible

5.4.- Protección mediante combinación fusible-relé térmico-contactor

La combinación fusible-relé térmico-contactor se utiliza en las líneas que alimentan motores.

El dispositivo de corte es normalmente un contactor.

El contactor, asociado con el relé térmico realiza la función de protección frente a sobrecargas.

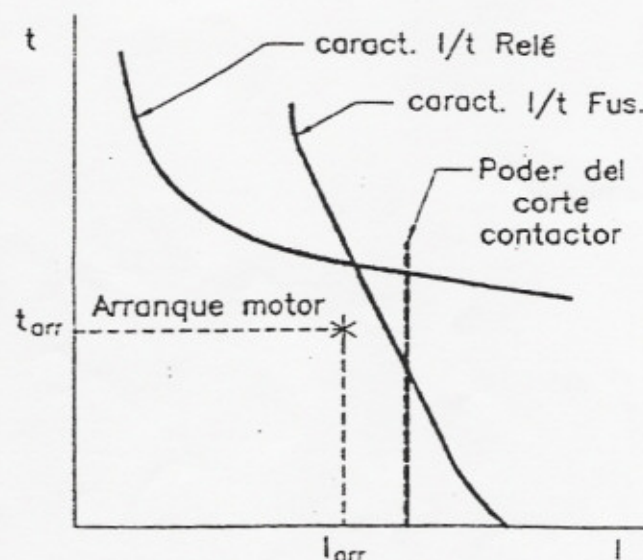
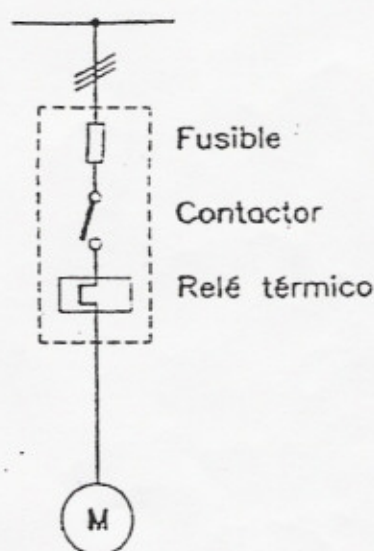
Los fusibles deben proteger todos los cortocircuitos, ya que su poder de corte es muy limitado.

La Figura representa las condiciones que deben cumplir las características I-t del relé térmico y del fusible para que el funcionamiento del sistema sea correcto:

- Las características deben cortarse para una corriente algo menor que el poder de corte del contactor.
- Hay que comprobar que el punto que representa las condiciones de arranque del motor (I_{arr} , t_{arr}), está por debajo de la característica del fusible seleccionado, ya que en caso contrario se produciría su fusión durante la puesta en marcha.

En este caso para comprobar que la línea está correctamente protegida contra cortocircuitos, hay que verificar que los fusibles seleccionados cumplan con los criterios expuestos para los fusibles.

Además, hay que comprobar que tanto el contactor como el relé térmico están protegidos por los fusibles.



6.- PROTECCIÓN FRENTE A SOBRETENSIONES

6.1.- Sistemas de protección frente a las sobretensiones

6.1.1.- Protección frente a sobretensiones transitorias

Se realiza mediante "Limitadores de sobretensión", llamados también pararrayos, supresores o autoválvulas, conectados entre las partes activas del elemento a proteger y tierra. El limitor presenta una impedancia muy elevada, derivándose a tierra una corriente de fuga muy pequeña

Para proteger eficazmente una instalación o aparato de tensión nominal U_n y rigidez dieléctrica U_{ais} , se deben cumplir las siguientes condiciones:

- | | | |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------|
| a) $U_n < U_0 < U_{ais}$ | U_n tensión nominal; | U_{ais} rigidez dieléctrica |
| b) $U_r < U_{ais}$; | U_0 valor umbral; | U_r tensión residual |

La condición b) es muy difícil de garantizar, puesto que la tensión residual depende en gran medida de las características de la sobretensión, aspecto que se desconoce cuando se selecciona el limitador.

En la actualidad no se dispone de un método sistemático universalmente aceptado para seleccionar los limitadores de sobretensión, la selección se realiza partiendo de indicaciones del fabricante basadas en la experiencia.

6.1.2.- Protección frente a sobretensiones de servicio

La protección contra este tipo de sobretensiones se realiza mediante relés de sobretensión, que vigilan la tensión entre fases o entre fases y el neutro. Cuando el valor eficaz de la tensión vigilada supera un valor previamente ajustado, durante un cierto tiempo, el relé actúa, provocando la apertura de un interruptor automático a través del correspondiente disparador, desconectando la parte de la instalación o equipo protegido.