

Manual para el cálculo coordinado de las secciones de los cables y sus protecciones

1. Introducción

La reciente publicación de la Norma UNE 20-460 “Instalaciones Eléctricas en Edificios” y la inminente aparición de un nuevo Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, que sustituirá al actualmente vigente publicado en 1973, en el que permanentemente se remitirá al contenido de la mencionada norma UNE, hace aconsejable la redacción de un Manual que, de una manera clara, agrupe los distintos procedimientos que en dicha Norma se especifican para la determinación de las secciones de los cables según los distintos modos de instalaciones en baja tensión y la elección de sus dispositivos de protección, así como que se indiquen unas condiciones prácticas de aplicación.

Es de todos conocido que, cuando una corriente eléctrica recorre un conductor, éste se calienta por efecto Joule y que, cuanto mayor es dicha corriente, más elevada es la temperatura que alcanzará dicho conductor.

La intensidad máxima de la corriente admisible en un conductor aislado, en servicio permanente, dependerá de la temperatura más elevada que la naturaleza del aislamiento del cable puede soportar sin que se perjudiquen sus expectativas de vida útil.

Las propias normas UNE limitan estas temperaturas. Así, por ejemplo, para canalizaciones fijas se indican las siguientes:

- 70°C en el conductor para cables aislados con materiales termoplásticos (TP): policloruro de vinilo (PVC), polietileno termoplástico (PE), poliolefina termoplástica exenta de halógenos (Z1), etc.

- 90°C en el conductor de los cables aislados con materiales termoestables (TE): polietileno reticulado (XLPE), goma etileno-propileno (EPR), poliolefina termoestable exenta de halógenos (Z), etc.

Como se habrá observado, con carácter general se utilizan las siglas TP para designar los materiales termoplásticos y TE para los termoestables, lo que mantendremos a lo largo de todo este texto para evitar la exhaustiva mención de los distintos tipos de materiales aislantes existentes y dejar una puerta abierta para la posible presencia de nuevos materiales.

De acuerdo con lo indicado anteriormente, es imprescindible que, en ningún caso, la temperatura alcanzada en los conductores de las canalizaciones supere los valores antes citados.

Esta misma consideración térmica limita la capacidad de las canalizaciones para soportar sobrecargas transitorias de larga duración (de más de pocos minutos), por lo que aquellas deberán estar protegidas de tal manera que, la combinación de la duración de la sobrecarga con el tiempo máximo de duración de la misma esté limitado por medio de adecuados elementos

de protección, que suelen consistir en protecciones térmicas de tiempo inverso, esto es, que cuanto más elevada es la carga y, por lo tanto, la temperatura que alcanzan, más rápidamente se desconectan.

Lo mismo cabe decir de los cortocircuitos que, en esencia, pueden considerarse sobrecargas de muy elevada intensidad pero de muy corta duración (menos de 5 segundos según la norma UNE 21123) y con unas temperaturas máximas en el conductor de 160°C para los cables aislados con materiales termoplásticos (TP) y 250°C para los termoestables (TE). En este caso, las protecciones deben actuar con gran rapidez para evitar daños permanentes a las canalizaciones. El tiempo de actuación de estas protecciones vendrá limitado por la energía térmica del cortocircuito que es capaz de soportar el conductor sin daños apreciables.

Esta energía de cortocircuito viene determinada por un valor ($I_{cc}^2 \cdot t_{cc}$) constante para cada tipo y sección de cable. La norma UNE 21144 da una expresión que permite calcular el valor de $I_{cc}^2 \cdot t_{cc}$, de acuerdo con el tipo de aislamiento del cable y de la naturaleza del material conductor. Las protecciones deben actuar antes de que las canalizaciones alcancen dicho valor límite, bien sea utilizando fusibles o protecciones magnéticas o térmicas.

En la mayoría de los casos, los dos últimos tipos de protección suelen estar agrupados en un mismo dispositivo al que se conoce con el nombre genérico de interruptor magneto-térmico.

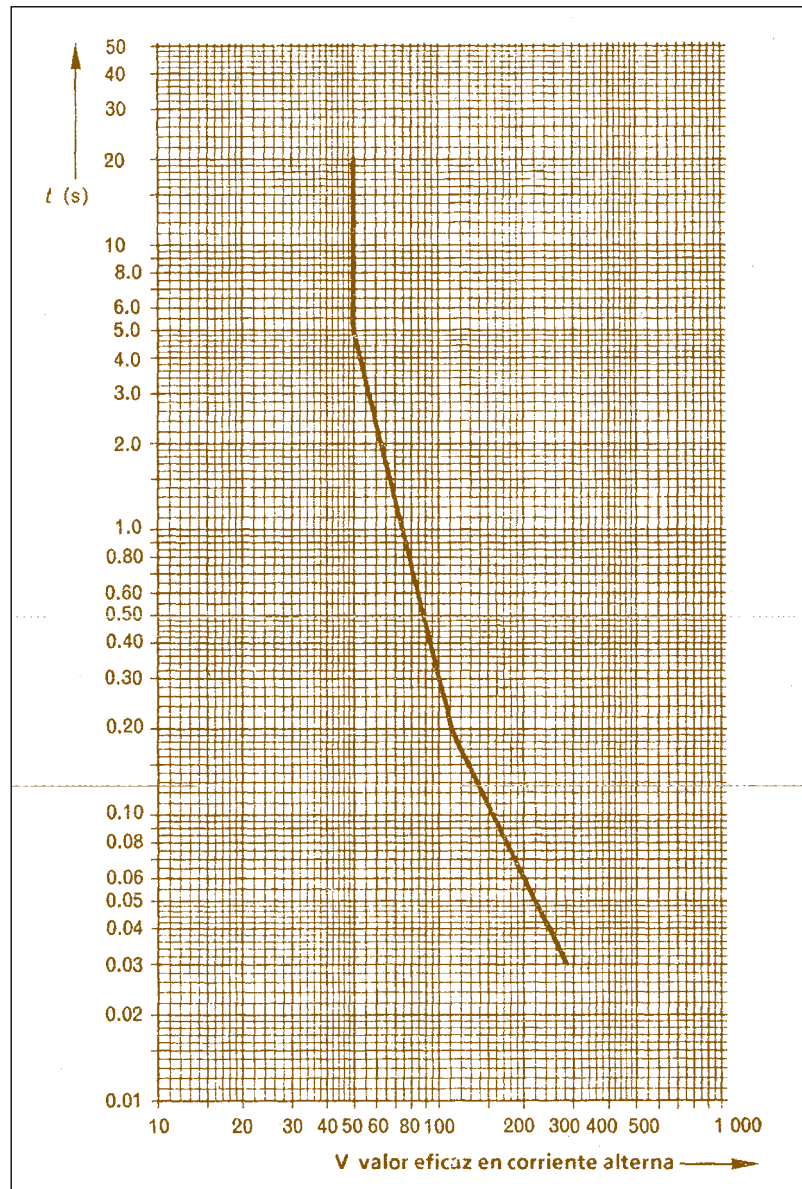
Un tercer tipo de protección tiene el propósito de limitar las tensiones que, en el caso de defecto en el aislamiento de algún elemento de la instalación, podrían presentarse en partes del equipo que, normalmente, no deberían estar en tensión, tales como las superficies metálicas exteriores de los aparatos recep-

tores. Es lo que se conoce con el nombre de “contactos indirectos”. La tabla 41-A (Tabla I) y la figura 41-B (Fig. 1) de la norma UNE 20460/4-41 “Protección contra choques eléctricos”, señala el tiempo máximo de mantenimiento de esta tensión de defecto en función de su valor, de tal manera que su contacto no suponga un riesgo para las personas.

Como se habrá podido observar, este tiempo va desde 0,03 segundos para una tensión de defecto de 280 V hasta un tiempo ilimitado si esta tensión es inferior a 50 V. A este último valor de la tensión de defecto se le

denomina “tensión límite convencional U_L ”. Es igual a 50 V, valor eficaz de la corriente alterna, en condiciones normales. En ciertas condiciones en las que se prevean valores de muy baja impedancia del cuerpo humano, de unos 1000 ohmios o, incluso, inferiores (ambientes húmedos o mojados o recintos muy conductores) deberán especificarse valores menos elevados (12 ó 24 V). A estas tensiones más bajas se las denomina genéricamente “muy bajas tensiones de seguridad” (MBTS). Debe indicarse que, muy recientemente, ha fallecido un trabajador por el contacto con un electrodo de soldadura a 48 V, debido a que se en-

Figura 1. Curva de la tensión de contacto máxima en función del tiempo, de acuerdo con la Tabla I.



contraba en un recinto muy conductor con una fuerte presencia de humedad y sudado. Se supone que su impedancia interna podría ser equivalente a la de una persona sumergida (unos 300 Ω).

Esta limitación de la corriente de fuga se consigue con una adecuada combinación del valor de la resistencia (R_p) que presentan con respecto a tierra dichas partes no activas y el de la corriente máxima que se considera no peligrosa para la seguridad de las personas que pudieran estar en contacto con esas partes del equipo que accidentalmente hubieran adquirido una cierta tensión de defecto.

La figura 5 de la norma UNE 20-572/1 (Fig.2) muestra los distintos umbrales de corriente que, en función del tiempo de contacto, pueden ocasionar distintos efectos fisiológicos e indica que, con tiempos inferiores a 0,5 seg, no presenta habitualmente ningún peligro una corriente de 0,030 A.

Por lo tanto, si se utiliza un dispositivo de corte diferencial-residual de alta sensibilidad, que corta una corriente de defecto o fuga de 30 mA y se acepta un umbral de seguridad de 24 V, inferior a $U_L = 50$ V, se alcanzará un nivel de seguridad suficiente siempre y cuando el valor máximo de la resistencia de la toma de tierra sea inferior a 800 Ω .

$$24 \text{ (V)} = 0,030 \text{ (A)} \times 800 \text{ (\Omega)}$$

Lo normal es que una toma de tierra eficaz presente una resistencia de pocas decenas de ohmio.

Si no hay toma de tierra o el valor de la resistencia de esta es muy elevado, la seguridad que ofrece aquel diferencial de 30 mA es, cuando menos, muy discutible.

Para mantener el mismo umbral de seguridad con diferenciales menos sensibles se requerirá la utilización de tomas de tierra de resistencia menor. Por ejemplo,

un diferencial de 300 mA deberá ir asociado con una tierra de un valor máximo de 80 Ω .

Se debe insistir en que la protección que proporciona un diferencial es ilusoria si este aparato no está convenientemente asociado con una eficaz toma de tierra de la instalación por me-

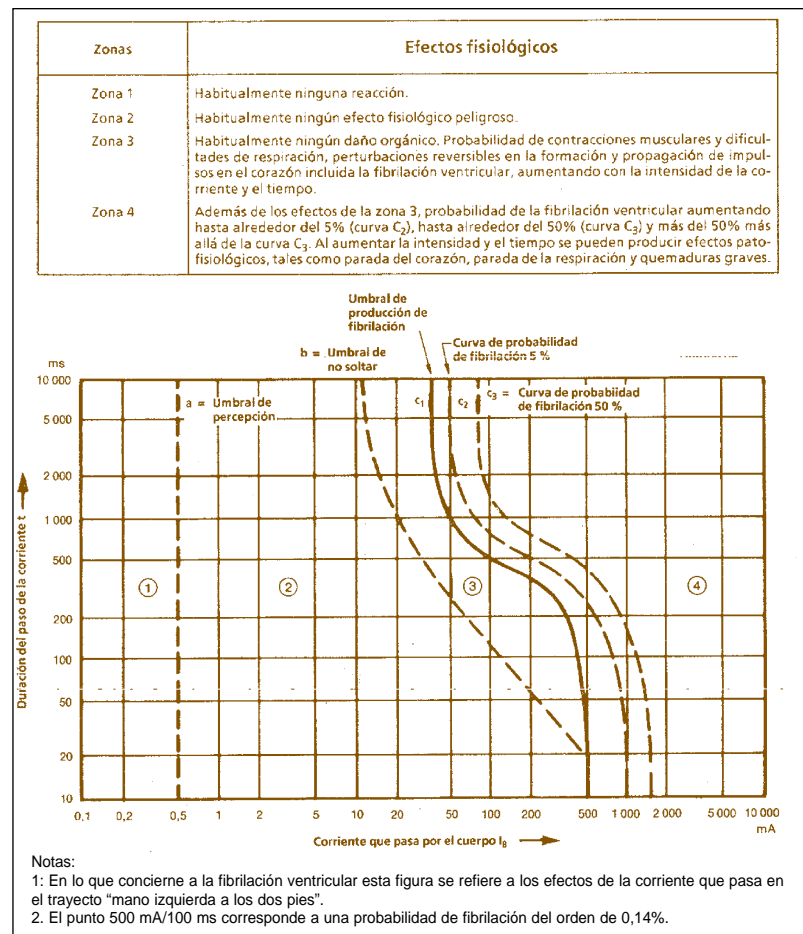
dio de una red adecuada de conductores de protección (CP).

Finalmente, un calentamiento excesivo de las canalizaciones supone un derroche de energía sin utilización práctica, que se traduce en una caída de tensión, que también viene limitada por las normas y/o reglamentos.

Tabla I. Duración máxima de mantenimiento de la tensión de contacto

| Tensión de contacto supuesta (V) | Tiempo de funcionamiento máximo (s) |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| < 50 | ∞ |
| 50 | 5 |
| 75 | 1 |
| 90 | 0,5 |
| 110 | 0,2 |
| 150 | 0,1 |
| 220 | 0,05 |
| 280 | 0,03 |

Figura 2. Zonas tiempo/corriente de los efectos de la corriente alterna (15 Hz a 100 Hz) sobre las personas



De todo lo indicado se desprende que las protecciones de las canalizaciones eléctricas deben satisfacer un conjunto de exigencias que permitan que la instalación funcione correctamente y en ningún caso suponga un peligro para las personas y los animales domésticos así como la de los bienes materiales (art. 2º del Real Decreto 7/1988 relativo a las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en baja tensión).

Evidentemente, la instalación deberá haber sido proyectada y realizada de tal manera que, ante cualquier sobrecarga anormal, las protecciones actúen desconectando la canalización antes de que esta sobrepase la máxima temperatura límite admisible en la canalización pero que no impidan el paso de las corrientes necesarias para el correcto funcionamiento de los receptores alimentados.

Resumiendo, debe existir una correspondencia entre las corrientes requeridas por el receptor (I_R), la de funcionamiento de las protecciones (I_P), y la máxima admisible en la canalización en servicio permanente (I_C), de tal forma que en ningún caso una actuación incorrecta de las protecciones impida el funcionamiento normal de los receptores por disparos intempestivos o permita un calentamiento excesivo de las canalizaciones.

Esto se consigue si: $(I_P) < (I_R) < (I_C)$.

Por lo tanto, la determinación de las características de las canalizaciones y de sus dispositivos de protección deberá responder a las siguientes consideraciones:

- Limitación de la corriente máxima admisible en los conductores.
- Protección contra sobrecargas.
- Protección contra cortocircuitos.
- Protección contra contactos indirectos.

- Limitación de la caída de tensión en las canalizaciones.

Según cuales sean los esquemas de distribución de acuerdo con el sistema de conexiones a tierra (TN, TT o IT) y las condiciones de instalación previstas, tendrán mayor o menor importancia unas u otras de las consideraciones citadas y se aplicarán unos u otros métodos para el cálculo de la instalación.

El procedimiento que se ha de seguir para la determinación de la sección de los cables y la elección de los dispositivos de protección, respetando las prioridades apuntadas, debe contemplar los siguientes pasos:

A – Determinación de la intensidad de servicio a garantizar (I_R), de acuerdo con el número, tipo y potencia requerida por los receptores alimentados por la canalización considerada.

B – Protecciones contra las sobrecargas previsibles, considerando el modo de instalación, el agrupamiento de los circuitos y la temperatura ambiente, para lo que se deberá hacer uso de los factores de corrección indicados en la norma UNE 20-460/5-523 y definiendo el tipo del dispositivo de protección (fusible o interruptor automático) adecuado para que actúe antes de que se alcance la temperatura máxima admisible en la canalización proyectada, pero nunca con valores inferiores a los previstos para el correcto funcionamiento de los receptores.

C – Protección contra las corrientes de cortocircuito. Aquí, la norma UNE 21-145 facilita las intensidades máximas (I_{CC}) de cortocircuito en función del tiempo (t_{CC}) que puede soportar, sin daño la canalización considerada. Este valor determinará el poder de corte del dispositivo y el tiempo de disparo, en función de las limitaciones térmicas de los conductores.

D – Protección contra los contactos indirectos. El apartado

413.1 de la norma UNE 20-460/4-41 “Protección por corte automático de la alimentación” indica que este corte tiene por objeto evitar que una tensión de contacto de valor suficiente se mantenga durante un tiempo que pueda resultar peligrosa. Este tiempo está determinado por una curva, que es función de la tensión de contacto prevista. Según cual sea el esquema de la instalación: TN, IT o TT, se deberá determinar la corriente de defecto prevista, así como las longitudes máximas de las canalizaciones protegidas contra los contactos indirectos y la sección de los conductores de protección de acuerdo con sus características térmicas, lo que permitirá definir las del dispositivo de protección diferencial necesario.

E – Llegados a este punto se deberá comprobar si, considerando los elementos definidos hasta ahora, se satisfacen las limitaciones térmicas de los conductores previstos, tanto desde el punto de las corrientes admisibles en servicio permanente como desde el de su capacidad para soportar las eventuales sobrecargas previsibles.

F – A continuación, se determinarán las caídas de tensión en las distintas canalizaciones. Como el REBT prescribe unos valores máximos de las caídas de tensión en las canalizaciones que alimentan a los receptores, también se deberá comprobar que no se incumple este punto.

Si durante el desarrollo del método de cálculo de la instalación, no se cumpliera alguna de las condiciones previstas, por ejemplo, una canalización fuese demasiado larga de tal manera que se excediera de los límites de la caída de tensión admisible y/o el valor de la intensidad de cortocircuito, se debería adoptar bien sea una sección del cable superior y la realización de un nuevo cálculo desde el comienzo o la aplicación de un diferente sistema de protección contra los cortocircuitos.

Todo cuanto sigue se refiere a las instalaciones eléctricas de baja tensión, en los que las canalizaciones están constituidas por cables multiconductores o conductores unipolares aislados. No se aplica a canalizaciones prefabricadas del tipo “blindosbarra”, cuyas características se pueden contemplar en el “Manual técnico de cálculo de líneas en baja tensión y aplicaciones – Canalizaciones eléctricas prefabricadas”, tomo 1 de Joan Gallego y Fernández, editado en 1993.

Por tanto, cuanto se ha comentado será válido para instalaciones alimentadas en corriente alterna monofásica de 230 V o en trifásica a 230/400 V y sin gran error para 220/380 V. Para tensiones distintas a estas, se deberán aplicar unos factores de corrección adecuados que modifican los datos correspondientes de las tablas que aparecen en el Manual que comentamos y que nos proporcionan las longitudes de las canalizaciones protegidas contra cortocircuitos o contactos indirectos y las que se corresponden a una caída de tensión dada.

Igualmente, los valores de las mencionadas tablas serán válidas para corrientes alternas de 50 ó 60 Hz. Para frecuencias superiores será preciso considerar también unos factores de corrección adecuados, sobre todo por lo que se refiere a las corrientes admisibles. Esto adquiere una especial relevancia en el caso de la presencia de corrientes armónicas que contaminan la calidad de la energía utilizada.

2. Métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito y de defecto

Existen distintos métodos para determinar las características de cada circuito de una instalación y sus dispositivos de protección. La elección del método más adecuado en cada caso dependerá de:

- Los valores de las intensidades de las corrientes cuyo previo conocimiento es necesario: intensidad de servicio, corrientes de cortocircuito máximo y mínimo y/o corrientes de defecto.
- Grado de precisión requerido.
- Características previstas de la alimentación y de los distintos parámetros de la instalación.
- Importancia de la instalación.
- Medios de cálculo a disposición del proyectista o instalador.

A continuación, se citan algunos de los métodos de cálculo que se pueden utilizar, apuntando aquellas observaciones que permitirán decidir cual será el método más apropiado a cada caso:

2.1. Método de las impedancias

Permite calcular con muy buena aproximación todas las corrientes de cortocircuito (máximas, mínimas, trifásicas, bifásicas o monofásicas) y las corrientes de defecto en cualquier punto de la instalación.

Puede utilizarse cuando se conocen todas las características de los diferentes elementos del eventual bucle de defecto (fuentes, canalizaciones, etc.).

Consiste en calcular separadamente el valor de las diferentes resistencias y reactancias del bucle de defecto desde el origen, incluida la fuente de alimentación, hasta el punto considerado y calcular la impedancia relativa, lo que permitirá determinar las corrientes de cortocircuito y de defecto correspondientes y las condiciones de protección adecuadas contra los cortocircuitos y contra los contactos indirectos. Se entiende por “bucle de defecto” el recorrido efectuado por la corriente cuando una avería deriva ésta por un camino inadecuado.

2.2. Método de composición y el método convencional

Se trata de unos métodos que

permiten determinar con una buena aproximación las corrientes de cortocircuito en el extremo de un circuito basándose en unas características supuestas para la parte situada aguas arriba del circuito.

– Método de composición. Puede utilizarse cuando, si bien no se conocen las características de la fuente de alimentación, la estimación de las corrientes de cortocircuito en el origen de un circuito permiten evaluar la impedancia aguas arriba de este circuito.

Este método no tiene en consideración las diferencias del factor de potencia ($\cos \phi = R/X$) entre los distintos circuitos. Se emplea para calcular los valores de la corriente de cortocircuito que se utilizarán para determinar el poder de corte de los dispositivos de protección.

– Método convencional. Permite calcular las corrientes de cortocircuito mínimo y las corrientes de defecto en el extremo de una canalización, aún cuando no se conozcan las características de la parte de la instalación aguas arriba del circuito considerado. Este método se basa en la hipótesis de que la tensión en el origen del circuito es el 80% de la tensión nominal de la instalación durante la duración del cortocircuito o del defecto.

Permite determinar las condiciones de protección contra los contactos indirectos en los esquemas TN y TT y verificar los esfuerzos térmicos en los conductores.

Este método está indicado, preferentemente, en el caso de circuitos receptores cuyo origen está suficientemente alejado de la fuente de alimentación. No se debe aplicar a instalaciones alimentadas por alternadores próximos. En el Manual de próxima aparición que comentamos es el método que se ha utilizado para establecer los cuadros que facilitan las longitudes máximas de las canalizaciones protegidas

contra cortocircuitos o contra contactos indirectos, dependiendo de la naturaleza y características de los dispositivos de protección y de la naturaleza y sección de los conductores.

2.3. Método simplificado (MS)

Este método facilita, directamente para cada sección del conductor, la corriente nominal del dispositivo que asegura su protección contra sobrecargas, las longitudes máximas de las canalizaciones protegidas contra los contactos indirectos y las admisibles desde el punto de vista de las caídas de tensión.

Se basa en ciertas hipótesis simplificadoras que, no obstante, garantizan un nivel de seguridad adecuado sea cual sea el modo de instalación y la naturaleza de las canalizaciones.

También permite determinar, sin necesidad de un cálculo adicional, las características de un circuito añadido a una instalación anterior, cuyas características no se conocen suficientemente.

Una vez que se ha escogido el método que se va a emplear para desarrollar el proyecto de la instalación que nos ocupa, entre los distintos métodos que se ofrecen en el Manual citado, deberán respetarse íntegramente sus indicaciones, tanto por lo que se refiere al desarrollo del proyecto como a la ejecución de la instalación.

3. Elección de los dispositivos de protección

En este punto, el Manual pretende facilitar una guía que permita decidir sobre las condiciones de utilización de los distintos dispositivos de protección que se pueden utilizar en las instalaciones eléctricas. Estos dispositivos de protección se re-

lacionan en la norma UNE 20-460, en particular en las secciones 432, 433, 434 y 533. (publicadas en la norma UNE 20-460-90/4-43 de mayo de 1990).

Con carácter general se considerará que los conductores activos de una instalación deberán estar protegidos por uno o varios dispositivos de corte automático contra las sobrecargas y contra los cortocircuitos.

Tales dispositivos de protección pueden ser: interruptores automáticos de disparo de máxima intensidad y cortacircuitos fusibles.

En el punto 432 – “Naturaleza de los dispositivos de protección”, se indica que estos dispositivos deben escogerse entre los que se apuntan a continuación:

432.1.- Dispositivos que aseguran, a la vez, la protección contra las corrientes de sobrecarga y la protección contra las corrientes de cortocircuito.

Deberán poder interrumpir cualquier sobreintensidad inferior o igual a la corriente de cortocircuito esperada en el punto donde el dispositivo está instalado.

Estos dispositivos pueden estar constituidos por: interruptores automáticos con relés de sobrecarga o interruptores automáticos asociados con cortacircuitos fusibles.

Por lo que se refiere a los fusibles, sus características deberán ser como:

- Los del tipo gI, ensayados conforme a la norma UNE 21-103, que protegen simultáneamente la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos.

- Los del tipo gII, que incluyen elementos de reemplazamiento.

Pendientes de la publicación de la norma UNE correspondiente a la CEI 269, se podrá utilizar el fusible del tipo gG en lugar del gI

En lo que se refiere a los interruptores automáticos, se considerarán dos categorías:

- Los pequeños interruptores automáticos, cuya corriente nominal llega hasta 125 A y cuyas características se corresponden con los tipos que se citan a continuación, en los que la corriente de funcionamiento I_m estará comprendida entre los límites que se indican.

- tipo L: $2,6 \cdot I_n < I_m \leq 3,85 \cdot I_n$
- tipo U: $5,5 \cdot I_n < I_m \leq 8,80 \cdot I_n$
- tipo B: $3 \cdot I_n < I_m \leq 5 \cdot I_n$
- tipo C: $5 \cdot I_n < I_m \leq 10 \cdot I_n$
- tipo D: $10 \cdot I_n < I_m \leq 20 \cdot I_n$

En el futuro, los tipos B, C y D reemplazarán a los L y U.

Se deberán tomar en consideración los valores definidos por el límite superior.

- Interruptores automáticos de uso general. Para la redacción de las tablas del texto del Manual, se ha convenido utilizar los valores de la corriente de disparo instantáneo de estos equipos.

432.2.- Dispositivos que aseguran únicamente la protección contra las corrientes de sobrecarga.

Se trata de dispositivos que poseen generalmente una característica de funcionamiento a tiempo inverso y un poder de corte inferior a la corriente de cortocircuito prevista para el punto donde están instalados. Deben satisfacer las prescripciones de la sección 433.

432.3.- Dispositivos que aseguran únicamente la protección contra las corrientes de cortocircuito.

Pueden utilizarse cuando la protección contra las sobrecargas se realiza por otros medios o cuando de acuerdo con la norma UNE 20-460/4-473 se permite el no instalar una protección contra las sobrecargas. Estos dispositivos deben ser capaces de in-

terrompirla una corriente de cortocircuito inferior o igual a la corriente de cortocircuito supuesta. Deben satisfacer las prescripciones de la sección 434.

Tales dispositivos de protección pueden ser:

- Interruptores con dispositivos de disparo de máxima intensidad.
- Cortocircuitos fusibles.

433.- Protección contra las corrientes de sobrecarga.

Los dispositivos de protección deben estar previstos para interrumpir toda corriente de sobrecarga en los conductores del circuito antes de que se pueda provocar un calentamiento perjudicial al aislamiento, a las conexiones, a los terminales o al medio que rodea las canalizaciones.

Las características de funcionamiento de un dispositivo que proteja una canalización contra sobrecargas deberán satisfacer las dos condiciones siguientes (Fig. 3):

- 1) $I_B \leq I_n \leq I_Z$
- 2) $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$

donde:

I_B : es la intensidad utilizada en el circuito.

I_n : es la intensidad nominal del dispositivo de protección (para los dispositivos de protección regulables, I_n es la intensidad de regulación adoptada).

I_Z : es la intensidad admisible en la canalización, según UNE 20460/5-523.

I_2 : es la intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección. En la práctica I_2 se toma igual a:

- La intensidad de funcionamiento en el tiempo convencional de los interruptores automáticos.
- La intensidad de fusión en el tiempo convencional de los fusibles tipo gI.
- 0,9 veces la intensidad de fusión en el tiempo convencional para los fusibles del tipo gII.

La protección prevista en este apartado no asegura una protección completa en ciertos casos, por ejemplo contra sobrintensidades prolongadas inferiores a I_2 . Por esta razón, el circuito deberá estar concebido de tal forma que no se produzcan frecuentemente pequeñas sobrecargas de larga duración.

434.- Protección contra las corrientes de cortocircuito.

Los dispositivos de protección contra estas corrientes deben ser de tal naturaleza que sean capaces de interrumpir cualquier corriente de cortocircuito antes de que esta pueda resultar perjudicial debido a los efectos térmicos y mecánicos producidos en los conductores y en las fijaciones y/o conexiones.

Dichas corrientes de cortocircuito deben haberse determinado, por cálculo o medición, en los

lugares de la instalación que se considere necesario.

Todo dispositivo que asegure la protección contra los cortocircuitos debe responder a las dos condiciones siguientes:

- Su poder de corte debe ser, como mínimo, igual a la corriente de cortocircuito supuesta en el punto donde está instalado.
- El tiempo de corte de la corriente de cortocircuito debe ser inferior al tiempo necesario para que los materiales que forman la instalación alcancen la temperatura límite admisible.

En el caso de los cables, de acuerdo con la norma UNE 21145, para cortocircuitos de una duración máxima de cinco segundos, esta temperatura límite se alcanza con una combinación de intensidad y tiempo que responde a la siguiente expresión:

$$I_{CC}^2 \cdot t_{CC} = k^2 \cdot S^2 \cdot \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right) = K_2 \cdot S_2$$

donde:

I_{CC} : es la intensidad del cortocircuito, en A, en valor eficaz.

t_{CC} : es la duración del cortocircuito, expresado en segundos.

S : es la sección del conductor, en mm^2 .

k : es una constante que depende del material conductor y de la naturaleza de los materiales aislantes, que se determina a partir de la expresión:

$$k = \sqrt{\frac{Q_C \cdot (\beta + 20)}{\rho_{20}}}$$

donde:

Q_C : es la capacidad térmica volumétrica del conductor (en $J/K \cdot m^3$)

β : es la inversa del coeficiente de temperatura de la resistividad a $0^\circ C$ para el conductor (en K).

ρ_{20} : es la resistividad eléctrica del material conductor a $20^\circ C$ (en $\Omega \cdot m$).

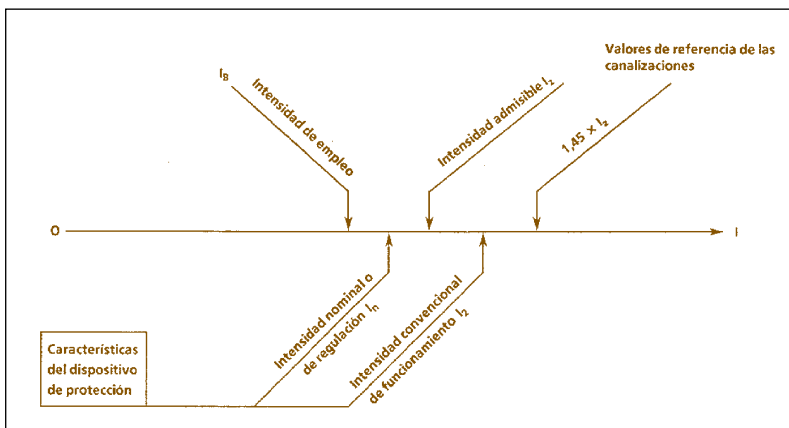


Figura 3. Ilustración de las condiciones 1) y 2).

Tabla II

| Material | β (K) | CV (J/K·m ³) | ρ_{20} ($\Omega \cdot m$) |
|----------|-------------|--------------------------|----------------------------------|
| Cobre | 234,5 | 3,45 x 10 ⁶ | 17,241 x 10 ⁻⁹ |
| Aluminio | 228 | 2,5 x 10 ⁶ | 28,264 x 10 ⁻⁹ |

Tabla III. Valores de k

| Aislamiento | TP | TE |
|-------------|-----|-----|
| Cobre | 115 | 135 |
| Aluminio | 74 | 87 |

Tabla IV. Valores de k

| Aislamiento | TP | TE |
|-------------|-----|-----|
| Cobre | 115 | 143 |
| Aluminio | 75 | 94 |

En base a los valores de k de la Tabla III y tomando los valores de β citados para el cobre y el aluminio y las temperaturas inicial y final del cortocircuito, θ_i y θ_f , de 90°C y 250°C para los aislamientos termoestables (TE) y de 70°C y 160°C para los termoplásticos (TP), quedan los valores de K que se muestran en la Tabla IV y que permitirán calcular directamente $I_{CC}^2 \cdot t_{CC} = K^2 \cdot S^2$:

Con estos valores, de la expresión: $I_{CC}^2/S^2 = K^2/t_{CC}$ se puede obtener la intensidad de cortocircuito de los distintos cables, en A/mm², para distintas duraciones del cortocircuito en seg. (Tablas V y VI).

Para duraciones muy cortas (<0,1 segundos) donde la asimetría es un considerando importante, para los dispositivos que limitan la corriente, $K^2 \cdot S^2$ debe ser superior al valor de la energía ($I_{CC}^2 \cdot t_{CC}$) indicado por el fabricante, que deja pasar el dispositivo de protección.

533.- Dispositivos de protección contra las sobreintensidades.

Al tratar de la elección de los dispositivos de protección contra sobrecargas se remite al lector al contenido del punto 433.2, ya citado, mientras que al referirse a los dispositivos de protección contra los cortocircuitos se apunta que la intensidad de cortocircuito mínima prevista es, generalmente, la que corresponde a un defecto franco que se produce en el punto más alejado de la canalización protegida.

Los fusibles del tipo aM, sólo aseguran la protección de la instalación contra los cortocircuitos.

Nota: Como se ha indicado en el texto, se trata de un resumen del libro, de próxima aparición, editado bajo el mecenazgo de SOFTELEC, S.A., que esperamos contribuya a un mejor conocimiento de la necesaria coordinación entre la potencia a suministrar a los receptores, el poder de corte y otras características de los dispositivos de protección y las adecuadas secciones de las canalizaciones, de tal manera que se garantice la seguridad de la instalación y la de las personas que estarán en contacto con ella.

θ_i : es la temperatura del conductor al iniciarse el cortocircuito (en °C).

θ_f : es la temperatura final del conductor al interrumpirse el cortocircuito (en °C).

k: es la expresión (A·s^{1/2}·mm⁻²).

De la expresión anterior se han obtenido los valores de k y K que se citan en las Tablas III y IV y que se utilizan para el cálculo de las corrientes de cortocircuito de los distintos tipos de cables.

Tabla V. Densidad máxima del cortocircuito en A/mm² (material TP)

| Duración del c.c. (s) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Cable de Cu | 364 | 257 | 210 | 163 | 115 | 94 | 81 | 73 | 66 |
| Cable de Al | 237 | 168 | 137 | 106 | 75 | 61 | 53 | 46 | 43 |

Tabla VI. Densidad máxima del cortocircuito en A/mm² (material TE)

| Duración del c.c. (s) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Cable de Cu | 452 | 320 | 261 | 202 | 143 | 117 | 101 | 90 | 83 |
| Cable de Al | 297 | 210 | 172 | 133 | 94 | 77 | 66 | 59 | 54 |

