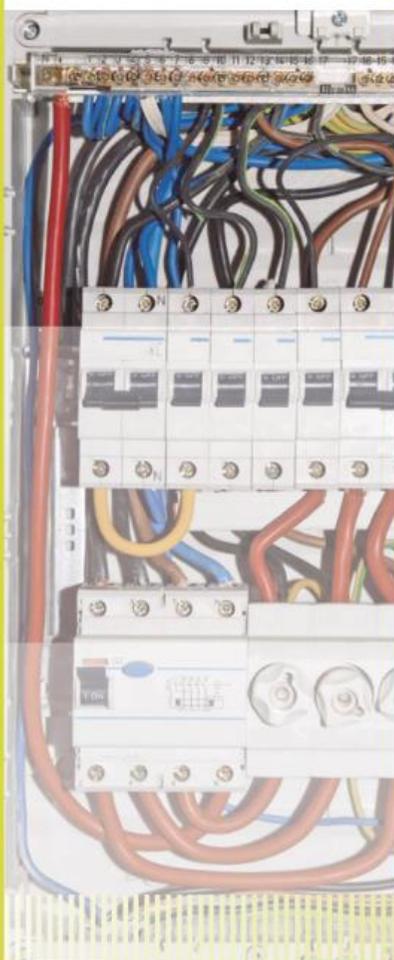


7 Protecciones eléctricas



Vamos a conocer...

1. Sistemas de protección eléctrica
2. Fusibles
3. Interruptores magnetotérmicos o automáticos
4. Interruptor diferencial
5. Selectividad
6. Protección contra sobretensiones
7. Instalaciones de puesta a tierra

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA
Instalación eléctrica de un local comercial

RETO PROFESIONAL

Ajuste de un interruptor automático de caja moldeada

Resultados de aprendizaje

- Monta circuitos eléctricos básicos interpretando documentación técnica.
- Monta la instalación eléctrica de un local de pública concurrencia, aplicando la normativa y justificando cada elemento en su conjunto.
- Mantiene instalaciones interiores aplicando técnicas de mediciones eléctricas y relacionando la disfunción con la causa que la produce.
- Cumple las normas de prevención de riesgos laborales y de protección ambiental, identificando los riesgos asociados, las medidas y equipos para prevenirlos.

Protecciones eléctricas

1. Sistemas de protección eléctrica

Los sistemas de protección eléctrica están constituidos por todos los medios destinados a proteger de los riesgos eléctricos a las personas y a los equipos de una instalación, así como a evitar las consecuencias que se derivan de los mismos como, por ejemplo, caídas, electrocución, incendios, explosiones, etc.

Atendiendo a su naturaleza, podemos realizar la siguiente clasificación de los riesgos eléctricos:

Riesgos eléctricos	
Profesionales (choque eléctrico)	■ Contacto directo
Contra personas y animales domésticos	■ Contacto indirecto
Materiales contra equipos eléctricos	■ Sobreintensidad:
	– Sobrecarga
	– Cortocircuito
	– Por descargas eléctricas atmosféricas
	■ Sobretensión

Tabla 7.1.

1.1. Contacto directo e indirecto

Las redes de distribución pública, propiedad de las empresas suministradoras de energía eléctrica, emplean un sistema de conexiones para distribuir la baja tensión denominado sistema TT. (Véase figura 7.1). Este sistema consiste en la puesta a tierra del neutro del centro de transformación y, también, la puesta a tierra de todas las masas. Esto garantiza la derivación a tierra de las corrientes de defecto que puedan aparecer en la instalación, y su detección por un dispositivo de corte, que generalmente será el diferencial.

El contacto directo se produce cuando las personas o animales tocan directamente partes activas de la instalación, entendiéndose como tales aquellas que están habitualmente con tensión (conductores, bornes, etc.).

El contacto indirecto se produce cuando las personas o animales tocan la masa de un receptor en el cual se ha producido un fallo de aislamiento. Este fallo o defecto se conoce como derivación a masa.

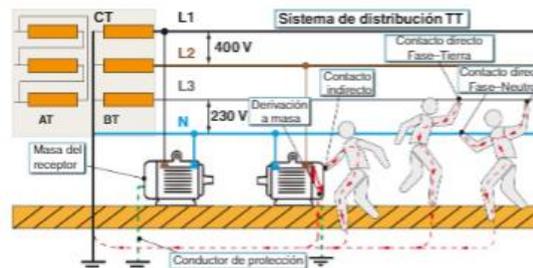


Figura 7.1. Sistema de distribución TT con un contacto indirecto y dos contactos directos (Fase-Tierra y Fase-Neutro).

Saber más

Si bien las redes de distribución TT son las más utilizadas, existen otros dos tipos, denominados TN e IT, cuyas características vienen recogidas en la ITC-BT 08. Estas se emplean fundamentalmente en redes de distribución privadas (con centro de transformación propio).

Saber más

Si bien los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano son diversos, debemos recordar siempre que, a partir de una intensidad de contacto superior a 30 mA, existe el riesgo de muerte si el contacto es muy prolongado.

Saber más

Las medidas de protección por aislamiento con barreras y envolventes las encontramos en los materiales y equipos eléctricos que se comercializan (el aislamiento de cables y bornas, cajas de registro, carcasas de maquinaria, cuadros eléctricos, etc.). La protección por obstáculos y alejamiento se da en instalaciones donde solo tiene acceso personal autorizado, ya que no facilitan una protección total (salas de máquinas, centros de transformación, etc.).

1.2. Protección contra contactos directos e indirectos

Las medidas de protección contra contactos directos, según la ITC-BT-24, son las siguientes:

- Protección por aislamiento de las partes activas.
- Protección por medio de barreras o envolventes.
- Protección por medio de obstáculos.
- Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento.
- Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual.

Las cuatro primeras (denominadas pasivas) están dirigidas a evitar el contacto directo, mientras que la quinta se basa en el corte automático del diferencial una vez que se ha producido el contacto; por tanto, está destinada a complementar a las anteriores.

El diferencial basa su funcionamiento en la desconexión del circuito cuando la diferencia entre la corriente entrante y saliente de sus bornes supera su intensidad diferencial o sensibilidad. En el croquis de la figura 7.2, observamos como la imprudencia de un usuario puede anular las medidas pasivas, quedando solamente protegido por la actuación del diferencial. Igualmente en dicha figura, se observa el caso en que el diferencial no actúa, ya que la corriente de contacto es menor que la sensibilidad del diferencial.

Las medidas de protección contra contactos indirectos, según la ITC-BT 24, son:

- Protección por empleo de equipos de la clase II o por aislamiento equivalente.
- Protección en los locales o emplazamientos no conductores.
- Protección mediante conexiones equipotenciales locales no conectadas a tierra.
- Protección por separación eléctrica.
- Dispositivos de protección de corriente diferencial-residual (diferencial).

Al igual que las medidas de protección contra contactos directos, las cuatro primeras son denominadas pasivas y están dirigidas a evitar las intensidades a tierra, mientras que la quinta se basa en el corte automático de la instalación una vez que el diferencial ha detectado una corriente a tierra, impidiendo que aparezca una tensión de contacto peligrosa (ver figura 7.2).

Saber más

Para calcular la sensibilidad del diferencial, así como la resistencia de la toma de tierra, se utilizará como referencia la **tensión máxima de contacto** a la que puede quedar sometida una persona cuyos valores son: **50 V** en locales o emplazamientos secos y **24 V** en locales o emplazamientos húmedos o mojados, teniendo que cumplir la siguiente expresión:

$$R_{\text{Tierra}} \cdot I_{\text{Sensibilidad}} \leq U_{\text{Máxima de contacto}}$$

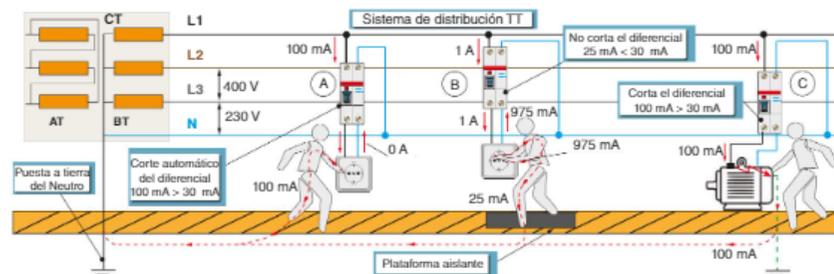


Figura 7.2. Actuación de un diferencial ante contactos directos e indirectos.

1.3. Sobreintensidad

La sobreintensidad se define como la intensidad que puede circular a través de una línea, y cuyo valor no es capaz de soportar. Las sobreintensidades que pueden circular por los conductores pueden ser debidas a tres factores:

- **Sobrecargas:** debidas al gran consumo de uno o varios aparatos conectados a la línea, o a algún defecto en los aislamientos. La figura 7.3 representa una línea protegida por un dispositivo de 20 A que alimenta a dos receptores cuyo consumo es de 10 A cada uno; ambos no suponen inicialmente una sobrecarga a la línea general que los alimenta, pero si se conectase un nuevo receptor de las mismas características, dicha línea se vería sometida a una intensidad de 30 A que haría saltar su protección; en caso contrario, correría el riesgo de «quemarse».
- **Cortocircuitos:** ocurren cuando dos partes activas entran en conexión a través de una resistencia prácticamente nula, lo que hace que circule una alta intensidad en la línea. Recordando la expresión $I = V/R$, observamos que, cuando la resistencia es muy baja, la intensidad se hace muy alta.
- **Por descargas eléctricas atmosféricas:** la tensión elevada que provoca un rayo o un defecto en una línea trifásica pueden llegar a producir intensidades muy elevadas.

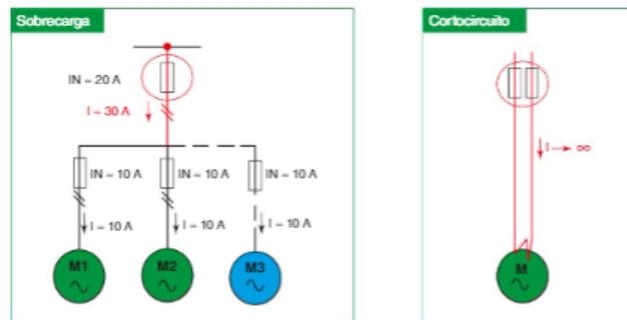


Figura 7.3. Ejemplos de sobreintensidades por sobrecarga y por cortocircuito.

1.4. Protección contra sobreintensidades

Los medios empleados son dispositivos de corte capaces de detectar dicha sobreintensidad y efectuar el corte de forma automática en un tiempo adecuado, el cual dependerá del valor de dicha sobreintensidad.

El tiempo de actuación es importante, ya que no es lo mismo un cortocircuito que una sobrecarga, debido a que en los cortocircuitos las intensidades son muy elevadas (los dispositivos de protección deben actuar en un tiempo lo suficientemente corto); sin embargo, en una sobrecarga las intensidades son mucho menores, con lo cual dichos elementos de protección son más lentos. Los dispositivos de corte más utilizados como medida de protección son los interruptores automáticos y los fusibles, que estudiaremos a continuación con más detenimiento.



Saber más

Los fusibles se identifican mediante dos letras, siendo minúscula la primera y mayúscula la segunda.

La primera letra puede ser:

g: indica que el fusible es capaz de cortar cualquier sobreintensidad que lo funda.

a: indica que son fusibles de acompañamiento; es decir, que deben estar en serie con otro dispositivo de protección, ya que estos no garantizan la protección contra sobrecargas prolongadas.

Y la segunda letra indica la aplicación o equipo a proteger, siendo:

L o G: ambas letras indican la protección para líneas o aparatos en general.

M: indica protección de motores.

Aunque estas tres segundas letras son las más comunes en instalaciones eléctricas, existen otras, como **R**, para protección de equipos electrónicos, y **TR**, para transformadores.

2. Fusibles

La función de estos dispositivos es la protección frente a sobrecargas y cortocircuitos.

Para aplicaciones eléctricas, se construyen en forma de cartucho en cuyo interior se aloja un hilo metálico calibrado a una determinada intensidad, de tal forma que cuando la intensidad que lo atraviesa es superior a dicho calibre, el calor producido en el hilo hace que este se funda, abriendo el circuito al cual protege. Dentro del cartucho, el hilo fusible está rodeado de un material que actúa como extintor del arco que puede llegar a producirse en el momento de la fusión. Este material es el que convierte a los fusibles en el dispositivo con más alto poder de corte.

2.1. Características de los fusibles

Un fusible está definido por tres características principales:

- **Intensidad nominal o calibre:** es la intensidad máxima que puede circular a través del fusible. Cuando la intensidad que lo atraviesa supera este valor, el hilo metálico se funde interrumpiendo el paso de la corriente. Los calibres empleados en los fusibles los siguientes:

2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355, 400, 500, 600, 630, 800, 1000 y 1250 A.

- **Poder de corte:** es la intensidad máxima capaz de poder ser interrumpida por el fusible. Al ser esta intensidad de un valor muy elevado, se expresa en kA.

Los métodos para conocer el poder de corte que debe tener cualquier tipo de protecciones (fusibles o magnetotérmicos) se estudiarán más adelante en esta unidad.

- **Curvas de fusión:** definen de forma gráfica la relación intensidad-tiempo; es decir, el tiempo de actuación del fusible o corte de la línea una vez que se ha sobrepasado su intensidad nominal o calibre.

2.2. Tipos de fusibles

En las instalaciones eléctricas de baja tensión, se utilizan principalmente dos tipos de fusibles:

- **Tipo gG o gL:** fusibles de distribución de uso general.
- **Tipo aM:** fusibles de acompañamiento (a) de motor (M).



Figura 7.4. Símbolo del fusible.



Figura 7.5. Características de los fusibles.



Los fusibles de uso general, **gG** o **gL**, realizan una protección contra sobrecargas y cortocircuitos; para sobrecargas, la respuesta de su curva de fusión es lenta, al contrario que en cortocircuitos, donde su respuesta es rápida.

Los fusibles de acompañamiento tipo **aM** se utilizan exclusivamente para la protección de motores, presentando una respuesta de fusión muy lenta frente a sobrecargas y muy rápida frente a cortocircuitos. Se utilizan como elementos de protección en líneas de alimentación para motores, cuando la intensidad en el pico de arranque supere 10 veces su intensidad nominal.

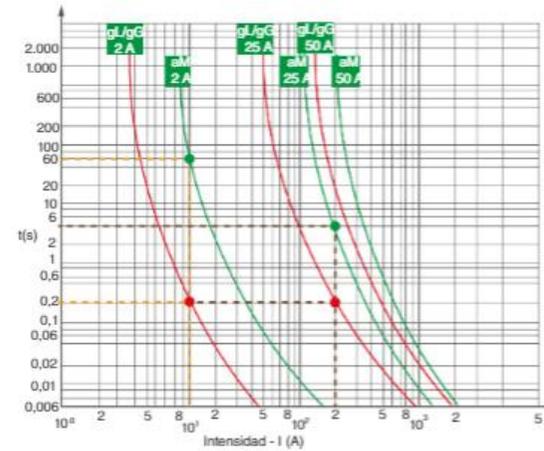


Figura 7.6. Ejemplo de curva de disparo de fusibles.

En la figura 7.6, se representa la curva intensidad-tiempo de dos fusibles tipo gL/gG y aM de 2 A y 25 A dada por los fabricantes. En ella, podemos observar claramente la diferencia entre ambos tipos de fusibles.

Analizando dicha curva para un fusible gL/gG de 2 A, cuando la intensidad que circula por él es 5 veces su intensidad nominal, es decir 10 A, el fusible se funde en un tiempo de 0,2 segundos. Ahora bien, para el mismo fusible de 2 A pero de tipo aM no se fundiría hasta transcurridos unos 60 segundos; es decir, para este último tipo de fusibles, la respuesta de fusión es muy lenta. Por este motivo, serán muy útiles en motores que presenten una **punta de arranque** elevada o por sus condiciones de trabajo, que les hacen susceptibles a demandas de potencia mecánica superiores a las nominales, lo que se traduce en sobrecargas.

La misma interpretación la podemos realizar para las curvas de los fusibles gL/gG y aM de 25 A representadas en las curvas de la figura 7.6. Supongamos que se conecta este calibre de fusible como protección de una línea de alimentación de un motor que presenta una sobreintensidad máxima a los 2 segundos en el arranque de 8 veces la intensidad nominal del mismo (8 · 25 A = 200 A), con un pico de arranque que se produce a los 2 segundos, tal y como se puede apreciar en la figura 7.7. Si se utiliza un fusible de tipo gL/gG, este se fundiría a los 200 ms, con lo cual cortarían la línea sin que el motor llegara a arrancar; ahora bien, si se utilizase un fusible de 25 A de

Vocabulary

- Fusible: fuse.

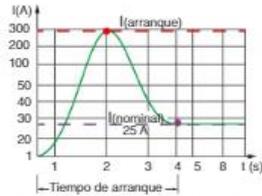


Figura 7.7. Puntita de arranque de un motor.

tipo aM, éste cortaría la corriente a los 5 segundos, tiempo suficiente para que el arranque del motor no llegue a producir la fusión del mismo, motivo por el cual este tipo de fusibles son los utilizados para protección de líneas de alimentación de motores que provocan elevadas sobreintensidades en el arranque como, por ejemplo, grandes motores con arranques a plena carga. Pero hay que recordar que el fusible aM no garantiza la protección por sobrecarga del motor, por lo que es imprescindible que el motor lleve asociado algún tipo de protección por sobrecargas, como puede ser un relé térmico.

2.3. Clasificación de fusibles y aplicaciones

Los fusibles se pueden clasificar según su forma constructiva. Son los siguientes:

- **Fusibles cilíndricos:** se utilizan principalmente en cajas de protección y medida, en cajas generales de protección y en cuadros de distribución para motores. Se comercializan en tres medidas: 10x38, 14x51 y 22x58, e intensidades que van desde los 2 A hasta los 100 A, tanto de tipo gG/gL como aM. Se alojan en bases portafusibles acordes con su tamaño.



Figura 7.8. Bases portafusibles de 10x38/1cc máx 100 kA.



Figura 7.9. Fusibles cilíndricos.

- **Fusibles Diazed:** comúnmente llamados de botella, se ubican a través de una base portafusibles para carril o pletina; aunque se utilizan en cuadros de distribución, una de sus mayores aplicaciones es como fusible de seguridad de los diferentes abonados en los edificios. Estos fusibles se alojan a través de su base portafusible en las pletinas de los embarrados de las centralizaciones de contadores. Se comercializan igualmente desde los 2 A hasta los 100 A.



Figura 7.10. Detalle de conexión de base portafusibles Diazed sobre pletina en un embarrado de centralización de contadores.



Figura 7.11. Fusibles Diazed.



Figura 7.12. Bases portafusibles de tamaño D02 para fusibles Diazed.

En el mercado, se comercializan de diferentes tamaños, pero los básicos son de dos tipos: **tipo D** (DII, DIII y DIV) y **tipo DO** (DO1, DO2 y DO3).

Como este tipo de fusibles es adecuado para ser manejado por personas inexpertas, se debe imposibilitar el reemplazo por uno de mayor corriente nominal (los diámetros del contacto interior están fijados en base a la corriente nominal), poseyendo además un anillo de seguridad en la base portafusibles que asegura su extracción mediante rosca sin que en ningún momento el operario pueda entrar en contacto con partes activas.

- **Fusibles NH:** también denominados de cuchilla, son fusibles de baja tensión pero con alto poder de ruptura (APR). Poseen un cuerpo aislante cerámico rectangular con cuchillas que actúan como contacto.

Se fabrican en siete tamaños, denominados 00, 0, 1, 2, 3, 4 y 4a, respectivamente, con intensidades nominales que van desde los 4 A hasta los 1250 A. Puede existir solapamiento entre diferentes tamaños; es decir, puede darse por ejemplo un fusible NH de 100 A tanto en tamaño 0 como en tamaño 1.



Figura 7.13. Fusible NH.



Figura 7.14. Bases portafusibles NH00 de 160 A.



Figura 7.15. Caja general de protección con bases portafusibles BUC para fusibles NH.

Ejemplo

Una derivación individual que alimenta el CGMP de una vivienda cuya protección se encuentra en el Cuadro de Protección y Medida (CPM) está protegida mediante un fusible cilíndrico de 22x58 de 50 A de tipo gL/gG, cuya curva de intensidad-tiempo es la que muestra la figura 7.6. Teniendo en cuenta esta gráfica, se pide determinar el tiempo en el que el fusible se fundirá para una intensidad de cortocircuito de 1kA producida en bornes del contador.

Solución:

Para el cálculo, basta trazar una vertical desde el valor de 1000 A (10^3) hasta la intersección de la curva del fusible de tipo gL/gG de 50 A, y una línea horizontal desde este punto de intersección hasta encontrar el valor del tiempo de corte del fusible, siendo dicho tiempo de unos 20 ms.

Actividades

- Una línea de alimentación de un motor trifásico de 17,5 CV, 400 V, $\cos \phi = 0,87$ con rendimiento $\eta = 0,8$ está protegida por un fusible de 50 A. Teniendo en cuenta las curvas de la figura 7.6, se pide elegir el tipo de fusible (gG/gL o aM):
 - Si el motor, por sus características de trabajo, arranca a plena carga generando a los 350 ms una sobreintensidad de 500 A en el pico de arranque.
 - Si este motor ofrece una sobreintensidad en el arranque de 5,4 veces su intensidad nominal a los 5 segundos.

Saber más

Interruptores automáticos de caja moldeada

Para calibres superiores a 125 A, los interruptores automáticos no son adaptables a carril DIN, sino que presentan una carcasa-soporte de material aislante que es parte integrante del interruptor automático, denominándose «interruptores automáticos de caja moldeada o compactos», siendo una de sus principales características su alto poder de corte.



Figura 7.18. Interruptores automáticos de caja moldeada.

Actividades

- Un cuadro de alimentación y control de un horno trifásico de resistencias con potencia de 30 kW, 400 V, $\cos\phi = 1$. Se alimenta de un Cuadro Principal de una industria con una manguera trifásica de tipo RV-K 0,6/1 kV bajo tubo en montaje superficial. La longitud de la línea de 21 m. La Línea General de Alimentación del Cuadro Principal de la industria parte del CT y se realiza con conductores de cobre de 70 mm² de sección y su longitud es de 32 m. La intensidad de cortocircuito en el punto de salida de esta línea del CT de 48 kA. Se pide:
 - Calcular el calibre y poder de corte necesario del interruptor automático ubicado en el Cuadro Principal que protege la línea de alimentación del horno.
 - El poder de corte necesario de cualquier dispositivo de protección que se instale en el cuadro del horno.

Sin embargo, a diferencia de los fusibles, cuya ventaja principal es precisamente su elevado poder de corte, los interruptores automáticos (exceptuando los de uso industrial) poseen un poder de corte muy inferior al de aquellos, siendo estos del orden de 4,5 kA, 6 kA, 10 kA y 20 kA.

Ejemplo

El poder de corte de los PIA instalados en una vivienda unifamiliar es de 4,5 kA. Si la línea que alimenta al CGMP (la derivación individual) tiene una sección de 10 mm² y una longitud de 25 m, comprueba si este poder de corte es correcto.

Utilizamos el método simplificado que ofrece la Guía. Desde el punto donde se encuentran los PIA de la vivienda hasta la línea de distribución, existe una única línea (la DI), con lo que únicamente tenemos en cuenta la resistencia del cable (ida y vuelta) de este tramo, siendo su valor de:

$$R_{di} = \rho \cdot \frac{LDI}{S} = 0,017 \cdot \frac{2 \cdot 25}{10} = 0,085 \Omega \rightarrow I_{cc} = \frac{0,8 \cdot 230}{0,085} = 2164,7 \text{ A} \rightarrow 2,16 \text{ kA}$$

Como podemos comprobar, $I_{cn}(4,5 \text{ kA}) > I_{cc,max}(2,16 \text{ kA})$. Por tanto, será válido.

En una industria en la que a la salida de su CT se tiene una I_{cc} de 25 kA, se quiere conocer el poder de corte necesario de los interruptores automáticos a instalar en cuadros ubicados en los puntos (A y B) alimentados con conductores de secciones de 120 mm² y 6 mm², tal cual muestra la siguiente figura:

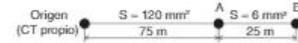


Figura 7.19.

De la tabla 7.2 utilizamos los valores más aproximados a los datos que tenemos y a los resultados que vayamos obteniendo.

- Tramo desde el origen al punto A: I_{cc} en el origen = 25 kA, cable de cobre de 120 mm², longitud: 75 m (75 m de la tabla), I_{cc} en A = 11,9 kA. $I_{cn} > 11,9 \text{ kA}$.
- Tramo de A a B: I_{cc} en A = 11,9 kA (redondeando a 15 kA en tabla), cable de cobre de 6 mm², longitud: 25 m (22 m en tabla), I_{cc} en B = 2,4 kA. $I_{cn} > 2,4 \text{ kA}$.

- El CGMP de un local comercial ubicado en un edificio de viviendas se alimenta a través de cables de cobre de 16 mm². Su longitud es de 20 m. Por otro lado, la Línea General de Alimentación, que parte de un CT propio del edificio, se realiza con cables de cobre de 95 mm² de sección y tiene una longitud de 27 m. Se pide calcular:
 - El poder de corte que deben tener los dispositivos de mando y protección del cuadro general del local. Para el cálculo, utiliza las ecuaciones de la tabla 7.3, teniendo en cuenta que la resistencia total hasta la acometida tiene los dos tramos descritos: derivación individual y línea general de alimentación.
 - El poder de corte necesario en la CGP si la distribución desde el CT hasta esta caja se hace con cobre y 150 mm² y el CT se encuentra a 21 m, siendo la I_{cc} en este punto de 80 kA. Utiliza la tabla 7.2 para el cálculo.



Protecciones eléctricas

- Curvas: determinan los tiempos de corte en función de la intensidad que circula por el dispositivo. A diferencia de los fusibles, no expresan la intensidad que puede circular a través de él, sino la intensidad que circula en función del calibre del automático expresado como I/I_n ; es decir, veces I_n .

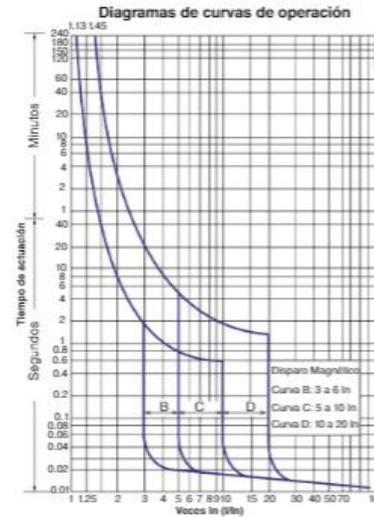


Figura 7.20. Curvas de disparo de interruptores automáticos.

Las curvas se pueden obtener de diferentes normas:

- La norma IEC 60898: en la que los usuarios no necesitan cualificación para operar con el interruptor automático. Los dispositivos que operan con estas curvas se utilizan para proteger instalaciones de todo tipo de ámbito (doméstico, industrial, servicios, etc.). Se aplica a dispositivos de hasta 125 A y 25 kA de poder de corte.
- La norma de ámbito industrial IEC 60947-2: en la que se supone que, además, puede haber usuarios cualificados que operan con los dispositivos de protección y contempla el ajuste de las curvas por parte del usuario cualificado. Esta norma clasifica los interruptores en dos categorías: Categoría A, para los interruptores sin ninguna temporización para la activación bajo cortocircuito. Categoría B: para los interruptores que poseen una temporización regulable para la activación.

La figura 7.20 representa tres tipos de curvas definidas en estas normas: curvas B, C y D, que son ajustadas en fábrica para una serie de dispositivos de las mismas características independientemente del calibre. Para obtener el tiempo de disparo de la curva conociendo la sobreintensidad, hay que obtener las veces (I/I_n) que supone esta sobreintensidad el calibre del automático, y trazar una vertical hasta obtener el punto de corte con la curva



Accede a nuestra web (www.editex.es) y podrás descargar un resumen con todas las tablas de los elementos de protección de esta unidad.



Saber más

Curvas Z y MA

También se pueden encontrar curvas específicas para la protección de receptores, como son las curvas Z para preceptores electrónicos y MA para la protección de arranque de motores, aunque los dispositivos con esta última curva no son enteramente magnetotérmicos, ya que carecen de protección térmica.

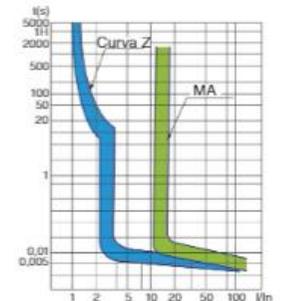


Figura 7.21. Curvas Z y MA.

correspondiente. Por ejemplo, los tiempos de disparo para dispositivos de curva C con calibres de 10 A y 50 A para una sobrecorriente de 100 A serán: Para C10: $I/I_n = 100/10 = 10$ veces $I_n \rightarrow$ tiempo de actuación = 18 ms aprox. Para C50: $I/I_n = 100/50 = 2$ veces $I_n \rightarrow$ tiempo de actuación = 8 s mínimo. Por tanto, el interruptor automático se determina no solo por su calibre sino también por el tipo de receptor o instalación a proteger. Su elección dependerá también de la curva de disparo, que se compone de dos partes: una correspondiente al **disparo térmico** y otra correspondiente al **disparo magnético**, siendo las curvas y aplicaciones las de la siguiente tabla:

Curva	Disparo magnético	Aplicaciones
B	Entre 3 y 5 veces I_n	Protección donde se prevean intensidades de cortocircuito bajas, tales como alimentación de circuitos puramente resistivos, de iluminación, calefacción, etc.
C	Entre 5 y 10 veces I_n	Protección de circuitos de uso general, en los cuales se prevea la conexión de lámparas de descarga, pequeños motores, etc.
D	Entre 10 y 20 veces I_n	Protección de cables que alimentan a receptores con grandes picos de intensidad, tales como grandes motores, etc.
MA	12 veces I_n	Protección de arranque de motores. No ofrece protección contra sobrecargas.
Z	Entre 2, 4 y 3,6 veces I_n	Protección de circuitos electrónicos.

Tabla 7.4.

Ejemplo

En un cuadro de distribución, se debe instalar un interruptor automático tripolar para la protección de una línea que alimenta a un motor de un molino de 20 CV, 400 V, $\cos \phi = 0,73$ y un rendimiento $\eta = 0,8$. El motor, además de ser fuertemente inductivo, posee una elevada intensidad en su arranque directo (unas 11 veces su intensidad nominal) durante un periodo de tiempo de unos 500 ms. Para alimentar el cuadro del motor, se utilizan conductores H07V-K bajo tubo helicoidal en montaje al aire, siendo la longitud de la línea de 6 m. Se pide:

- Calcular la sección de los conductores si en este tramo se permite una c.d.t. del 4%, y calcular también el diámetro del tubo y el calibre del interruptor automático, así como su curva de disparo.
- Comprueba en las curvas el tiempo de disparo si ahora se emplea para su arranque estrella/triángulo, que reduce su intensidad una tercera parte y razona en qué afecta esto a la elección de un dispositivo de un tipo u otro.

La potencia para el cálculo de secciones será: $P = [(20 \cdot 736)/0,8] \cdot 1,25 = 23\,000$ W

- Secciones, tubo y protecciones en el arranque directo:

Calculamos la sección de los conductores:

Por c.d.t.:

$$S = \frac{23000 \cdot 6}{48 \cdot 16 \cdot 400} = 0,44 \rightarrow 1,5 \text{ mm}^2$$

Según las intensidades máximas reflejadas en la tabla CS2-1 bis de la Norma UNE HD 60364-5-52, para el método B1-3xPVC la sección del conductor debe ser de 16 mm², cuya $I_{m\acute{a}x}$ es de 59 A.

El diámetro del tubo se establece en la tabla 7 de la ITC-BT 21, en la cual para 4 conductores (3 fases + T) de 16 mm² en montaje al aire, el diámetro exterior del tubo helicoidal debe ser de 32 mm.

Para establecer el interruptor automático de protección, en primer lugar, determinamos el calibre, valor que obtenemos mediante la expresión: $I_s \leq I_n \leq I_{m\acute{a}x}$. Siendo, por tanto:

$$45,47 \text{ A} \leq 50 \text{ A} \leq 59 \text{ A}$$

continúa >

> continuación

Es decir, se utilizará un interruptor automático de **50 A**.

El siguiente paso es determinar la curva de disparo, siendo la más adecuada una **curva D**, al ser un receptor fuertemente inductivo, ya que, como podemos observar, el motor ofrece un factor de potencia relativamente bajo (0,73) y una elevada punta de arranque (11 veces su I_n), siendo la intensidad de arranque del motor de:

$$I_{\text{arranque}} = 11 \cdot \frac{20 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,73 \cdot 0,8} = 400 \text{ A}$$

Nota: El 1,25 únicamente computa en el cálculo de secciones.

Este valor supone $400/50 = 8$ veces la I_n del interruptor automático de 50 A.

Utilizamos un interruptor automático no industrial basado en la norma IEC 60898 y comprobamos los tiempos de actuación en este tipo de curvas.

El tiempo de disparo para una sobrecorriente de **8 veces** su intensidad nominal, como podemos observar en la figura 7.22, para un automático de **curva C** dispara casi de forma instantánea en menos de 20 ms. Sin embargo, para automáticos de **curva D**, disparará a los 600 ms, tiempo suficiente para que el motor haya arrancado y esté operando a su intensidad nominal.

- Arranque estrella/triángulo:

Con este método de arranque, se reduce la intensidad a la tercera parte, la correspondiente a la del arranque directo, siendo esta de:

$$I'_{\text{arranque}} = 400/3 = 133,3 \text{ A} \rightarrow 133,3/50 = 2,66$$

Es decir, 2,66 veces la intensidad nominal del automático y, como podemos observar en la figura 7.22, el corte se realiza en la parte térmica de cualquier tipo de curva, no disparando nunca antes de aproximadamente 2,5 segundos. Por tanto, en este caso, se utilizarán automáticos con curvas C.

Hay que recordar que, en cualquier modo de arranque, este interruptor automático solo se diseña para proteger el tramo de línea que va desde el cuadro de distribución al cuadro del motor; por tanto, este último cuadro debe disponer, además de los equipos de maniobra, otros elementos de protección, tales como relés térmicos o guardamotors. Esto se hace imprescindible sobre todo si se utilizan **curvas D** o fusibles **aM**, ya que estos no garantizan la protección del motor frente a sobrecargas prolongadas.

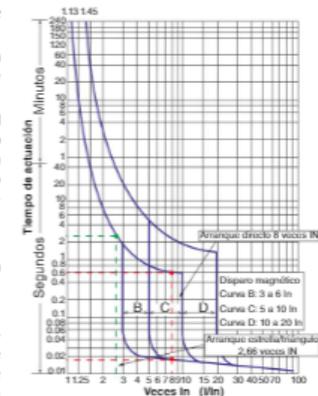


Figura 7.22.

Actividades

- Un cuadro de distribución está alimentado por una línea trifásica compuesta por conductores unipolares de cobre de 10 mm² con aislamiento de PVC en tubos empotrados. Calcular:
 - La intensidad máxima admisible.
 - Calibre de interruptor magnetotérmico necesario para proteger a la línea contra sobrecargas. La intensidad que circula por los conductores de fase es de 37 A.
 - ¿Es correcta la protección que has calculado en el punto anterior si, en vez de utilizar interruptores magnetotérmicos, se utilizan fusibles de tipo gG/gL del mismo calibre (valor de fusión 1,6 In)?
- Una línea monofásica alimenta una carga de 10 kW, 230 V, $\cos \phi = 1$ y está protegida por un interruptor automático de 50 A, curva C. Resuelve los siguientes supuestos:
 - ¿Se podría sobrecargar dicha línea conectando una carga resistiva adicional de 4,3 kW durante 5 minutos a intervalos de dos horas? Razona tu respuesta.
 - ¿Cuánto tiempo podríamos sobrecargar la línea con una carga resistiva de 7,25 kW sin que salten las protecciones? Razona tu respuesta.
 - Se sustituye la carga inicial de 10 kW por una carga inductiva de 5,175 kW, 230 V, $\cos \phi = 0,75$, que presenta un pico de arranque de 300 A y no establece su valor nominal hasta pasados 550 ms. ¿Podría conectarse esta carga a al automático inicial? En caso contrario, razona la solución que le darías.

4. Interruptor diferencial

Es un dispositivo cuya misión es la protección:

- De las personas contra contactos directos e indirectos. Cuando una persona entra en contacto directo con las partes activas de la instalación (conductor, borne de conexión, etc.), o de forma indirecta (entrando en contacto con una parte metálica de un aparato en derivación), el diferencial es capaz de detectar la corriente que puede circular a través de las personas. De este modo, cuando las corrientes son peligrosas, este realiza el corte de la línea en un tiempo lo suficientemente rápido como para evitar los riesgos que pueden derivarse del paso de la corriente a través del cuerpo humano.
- De la instalación eléctrica. En este caso, detectando los defectos de aislamiento en cables, aparataje eléctrico y receptores eléctricos.
- Contra riesgos de incendio. En este caso, el diferencial es capaz de detectar las corrientes de defecto a tierra persistente que no son capaces de provocar la actuación del dispositivo de protección contra sobreintensidad; es decir, fusibles o interruptores automáticos.

4.1. Funcionamiento

La protección consiste en hacer pasar los conductores de la línea a través de un núcleo magnético toroidal (forma de aro macizo), en el cual se encuentra arrollada una bobina. Cuando se cierra el circuito a través de una carga, toda la corriente retorna a través del neutro, de forma que se obtienen intensidades iguales pero de sentido contrario, anulándose los efectos de estas corrientes. Ahora bien, si existe un defecto a tierra, supongamos que por el contacto de una persona, las intensidades de entrada y de retorno ya no son iguales, de forma que si esta diferencia de intensidades es igual o superior a un valor denominado sensibilidad, se induce una tensión lo suficientemente alta como para provocar una fuerza que haga abrir los contactos del diferencial produciendo la apertura del circuito.

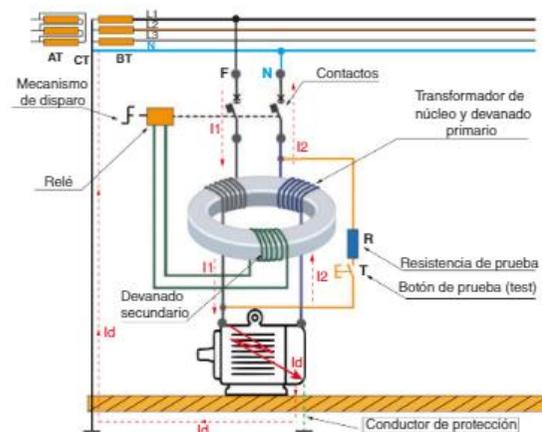


Figura 7.24. Funcionamiento del diferencial.

Vocabulario

Aguas arriba: se denomina a todos aquellos dispositivos conectados por encima de un determinado dispositivo al cual se hace referencia.

Aguas abajo: se denomina a todos aquellos dispositivos conectados por debajo de un determinado dispositivo al cual se hace referencia.



Figura 7.25. Si se hace referencia al dispositivo A, entonces B se encuentra aguas abajo. Y si, por el contrario, se hace referencia al dispositivo B, entonces A se encuentra aguas arriba.

Vocabulary

- Interruptor diferencial: differential circuit breaker.

El diferencial está estrechamente relacionado con la instalación de puesta a tierra, que consiste en poner las masas metálicas que son susceptibles de entrar en contacto con partes activas (por fallos de aislamiento dentro de los receptores) con el conductor de tierra (conductor de protección) de la instalación. De esta forma, se ofrece una protección preventiva; es decir, cuando la corriente derivada supera el valor de la sensibilidad del diferencial, este abre sus contactos, de forma que antes de que una persona entre en contacto con la masa metálica (contacto indirecto) el diferencial realizará el corte de la línea.

4.2. Características

Las características de los interruptores diferenciales son las siguientes:

- **Intensidad nominal o calibre:** se define como la máxima intensidad que el diferencial es capaz de soportar. Hay que destacar que los diferenciales no están diseñados para la protección de los conductores, con lo cual su calibre se elige siempre de un valor igual o mayor a la intensidad que pueda circular por dicha línea. Si la intensidad que circula por el diferencial superara su calibre, este corre el riesgo de quemarse.
- **Sensibilidad (IΔn):** es la intensidad mínima de defecto que provoca que el diferencial realice la apertura del circuito. La sensibilidad de los diferenciales son las siguientes:

Tipo de sensibilidad	Valor
Muy alta sensibilidad	10 mA
Alta sensibilidad	30 mA
Baja sensibilidad	300 mA, 500 mA y 1A

Tabla 7.5.

- **Clase:** indica el tipo de desconexión, distinguiendo los siguientes tipos reflejados en la siguiente tabla:

Clase	Modo de desconexión
AC	Desconexión por defectos a tierra producidos por corrientes alternas, tanto si estas son aplicadas instantáneamente como si se incrementan lentamente.
A	Desconexión por defectos a tierra producidos por corrientes alternas sinusoidales o por corrientes continuas pulsantes, tanto si estas son aplicadas instantáneamente como si se incrementan lentamente.
S	SELECTIVO. Puede ser usado aguas arriba de la instalación para obtener una coordinación selectiva con los diferenciales instalados aguas abajo, en el propio cuadro. Los diferenciales estándar son, habitualmente, de disparo instantáneo. Esto significa que la conexión en serie de este tipo de aparatos no provee de una coordinación de disparo selectivo en caso de defecto a tierra. Para obtener una correcta selectividad de desconexión de los diferenciales, es necesario conectar, por encima de todos los diferenciales instantáneos, uno o más diferenciales retardados (tipos AC-S o A-S).

Tabla 7.6.

- **Tiempo de disparo:** esta característica es importante, en el sentido de que el tiempo que una corriente peligrosa atraviesa el cuerpo de una persona es fundamental. Un diferencial debe realizar un corte de corriente lo suficientemente rápido para no poner en riesgo a las personas por el tiempo de exposición al paso de dicha corriente a través de ellas.

Saber más

La norma UNE EN 61008 indica que es obligatorio el funcionamiento del botón de test. En redes trifásicas de 230 V sin Neutro, éste se debe puentear con una de las fases para asegurar el funcionamiento del test. Y en redes de 400 V sin Neutro, se debe puentear una de las fases con él a través de una resistencia externa indicada por el fabricante para limitar la corriente que atraviesa la resistencia interna del diferencial y así evitar su destrucción.

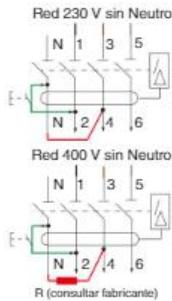


Figura 7.25. Puenteo de diferenciales.

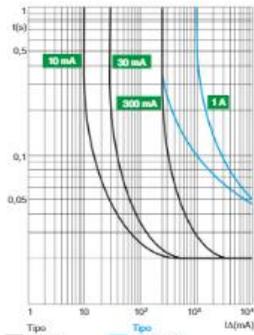


Figura 7.27. Curvas de disparo de diferenciales.

Este tiempo de intervención está estrechamente ligado a las características de sensibilidad y clase del diferencial, siendo los tiempos de funcionamiento máximos los de la siguiente tabla, según las normas EN 61008/EN 61009.

Clase AC y A			Selectivos clase S-AC y clase S-A		
1xIΔn	2xIΔn	5xIΔn	1xIΔn	2xIΔn	5xIΔn
0,3 s	0,15 s	0,04 s	0,5 s	0,20 s	0,15 s

Tabla 7.7.

Número de polos: se comercializan de dos tipos, bipolares (2 polos) y tetrapolares (4 polos).



Figura 7.26. Interruptores diferenciales.

4.3. Protección de diferenciales

Un interruptor diferencial debe estar asociado a un dispositivo que realice la protección contra sobrintensidades, es decir, un interruptor automático o un fusible, y la condición que debe cumplir es que su intensidad nominal tenga un valor igual o mayor al dispositivo de protección contra sobrintensidades que lo protege.

5. Selectividad

En una instalación eléctrica, las consecuencias en caso de producirse un defecto en la instalación, bien por sobrintensidad (cortocircuitos o sobrecargas) o bien por un defecto a tierra, deben limitarse en lo posible solo a la parte afectada de la instalación. Si ello se consigue y se puede seguir trabajando normalmente en el resto de la instalación, podremos afirmar que está presente la selectividad.

5.1. Selectividad entre interruptores automáticos

Condiciones de selectividad:

- Los dispositivos de protección contra sobrintensidad, en caso de un defecto en la instalación, deben interrumpir en el tiempo más breve únicamente el circuito averiado.
- Los picos de intensidad como, por ejemplo, los que se producen en el arranque de motores, no deberán provocar un disparo.
- En caso de fallo de un dispositivo, se deberá desconectar el dispositivo de protección inmediatamente anterior.

Métodos para garantizar la selectividad:

- Por intensidad. Se obtiene con dispositivos de protección ubicados aguas arriba con calibres superiores a los ubicados aguas abajo. Esta selectividad está garantizada frente a sobrecargas, pero no lo está siempre frente a cortocircuitos, encontrándonos en este caso diferentes situaciones:

a) En tramos largos entre cuadros (caso 1 de la figura 7.28), el hecho de que las intensidades de cortocircuito disminuyan debido a la distancia y haya una diferencia notable entre ellas favorece a la selectividad. En el ejemplo, se aprecia que entre los dispositivos del cuadro principal y secundario se consigue selectividad total. Esto se debe a que la intensidad máxima de cortocircuito que se puede producir en el interruptor B —aguas abajo— es de 5,8 kA, valor inferior a los 7 kA de intensidad de disparo (Im) del interruptor A —aguas arriba—. En este caso, incluso aunque las curvas se crucen (véase apartado b de las curvas de la figura 7.28) hay garantía de selectividad total.

b) En tramos cortos entre cuadros (caso 2 de la figura 7.28), debido a la poca amortiguación que ofrece esta longitud de cable entre ambos interruptores, las intensidades de cortocircuito máximas posibles pueden ser muy similares. En el ejemplo, a la salida del interruptor B, se puede producir una intensidad máxima de cortocircuito de 7,9 kA, que es mayor que la intensidad de disparo (Im) del interruptor A —aguas arriba— que es de 7 kA. En este supuesto, solo se obtendría una selectividad parcial.

Este es el planteamiento que reflejan las curvas b) de la figura 7.28, de manera que a partir de una determinada intensidad de cortocircuito —la correspondiente a la de disparo del interruptor A (Im) — ambas curvas se cruzan, pudiendo desconectar incluso el interruptor A —aguas arriba— antes que el interruptor B —aguas abajo—.

- Selectividad energética: en ocasiones, en tramos cortos entre interruptores automáticos en cascada o incluso con curvas que pueden llegar a cruzarse, se puede conseguir la selectividad en ciertas combinaciones de automáticos.

Esta combinación es ofrecida por los diferentes fabricantes (ej.: tabla 7.8) y se basan en que un automático de menor calibre actúa como limitador, siendo esta limitación tan eficaz que la energía que puede ver el dispositivo aguas arriba no es suficiente para hacerlo disparar. Este principio de selectividad es efectivo a pesar de que las curvas clásicas "tiempo/intensidad" indiquen un solapamiento de características de interruptores automáticos.

Caso 1- Cuadros muy alejados
Caso 2- Cuadros próximos

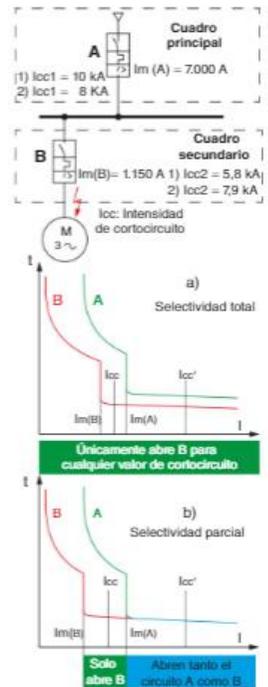


Figura 7.28.

Aguas arriba	C/CL3+L	H125	H160	H25	H400	H400	H630	H630
Pdc IEC 947-2	100 kA	25/40 kA	25/40 kA	40 kA	45 kA	45 kA	50 kA	50 kA
Fusibles gG								
IΔn(A)	20 25 32 40 50 63 80 100	25 40 63 80 100 125 160	200 250 320 400 400 500 630 630					
Ag. abajo								
NºI								
6 A	0,42 0,62 1 1,5 2,3 3,8 7,1 1,4	1,4 2 3,4 4,8 5,8 6,7	T T T T T T T T					
10 A	0,37 0,55 0,9 1,3 2 3,3 6 11	1,2 1,7 2,5 3 3,5 4,3	T T T T T T T T					
16 A	0,48 0,75 1,1 1,7 2,8 5 8,5	1,6 2,1 2,4 2,7 3,2 3,9	T T T T T T T T					
20 A	0,65 0,97 1,3 2,3 4 6,8	1,6 2,1 2,4 2,7 3,2 3,9	T T T T T T T T					
25 A		0,97 1,3 2,3 4 6,8	1,6 2 2,2 2,5 3,4 6,7	T T T T T T T T				
32 A		1,2 1,9 3,1 5,4	1,8 2 2,2 2,5 3,4 6,7	T T T T T T T T				
40 A			1,5 1,7 2 4,3 7	T T T T T T T T				
50 A			1,5 1,5 2,8 5,9	6 T T T T T T T T				
63 A			4,5 1,1 2,8 5,2 8,2	T T T T T T T T				

T Selectividad Total Los números indican que por debajo de un cortocircuito menor al valor indicado solo dispara el de aguas abajo (Selectividad Parcial)

Tabla 7.8. Tablas de selectividad entre interruptores automáticos (Hager).

■ Por tiempo o cronométrica en caso de cortocircuitos

En este tipo de casos, la selectividad se consigue seleccionando un dispositivo de protección aguas arriba con un retardo en el disparo. Con esto, se consigue que el interruptor conectado aguas abajo tenga tiempo suficiente para desconectar su circuito sin que afecte al resto de la instalación. Si los tramos de cableado entre el interruptor principal y los secundarios son tan cortos que los cortocircuitos son prácticamente iguales en ambos lados de cableado, se deberán introducir retardos en el interruptor principal. La figura 7.29 muestra un caso de selectividad cronométrica que emplea un interruptor automático selectivo (Q1) e interruptores automáticos estándar (Q2, Q3, Q4) como últimos interruptores protegiendo a las líneas que alimentan a los receptores. El interruptor selectivo va equipado con dispositivos de disparo por cortocircuito instantáneo y de corto retardo. El tiempo de retardo se escoge de forma que los interruptores aguas abajo tengan tiempo suficiente para desconectarse por sí solos.

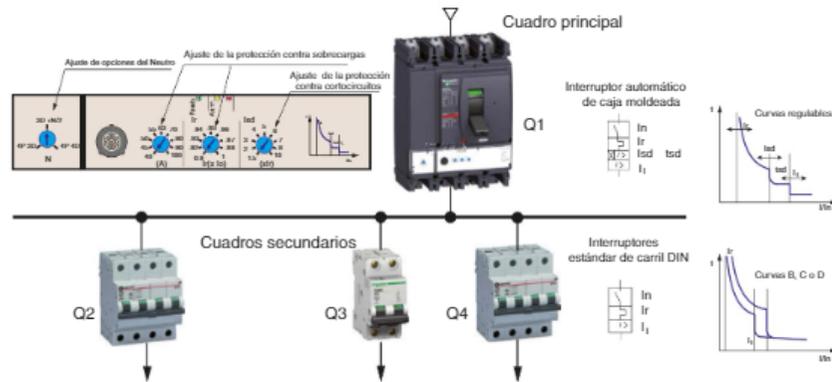


Figura 7.29.

5.2. Selectividad entre diferenciales

Para conseguir selectividad entre diferenciales, es decir, para lograr que dispare únicamente aquella salida del cuadro eléctrico afectada por un defecto a tierra o derivación y que el corte de tensión se produzca lo más cerca del defecto, hay que considerar un retardo voluntario en el dispositivo de cabecera, por lo que este debe ser de tipo selectivo o retardado.

El diferencial selectivo (clase S) tiene ya retrasado su disparo, por construcción, para poder conseguir selectividad con su protección diferencial inmediato ubicado aguas abajo (generalmente un interruptor diferencial de disparo instantáneo y sensibilidad 30 mA). También se puede realizar con bloques diferenciales que permiten regular sensibilidad y tiempo para conseguir selectividad en la instalación.

5.3. Selectividad entre fusibles

La tabla 7.9 muestra cómo alcanzar la selectividad total de fusibles ubicados aguas arriba con respecto a fusibles instalados aguas abajo. Se dan de acuerdo a las normas IEC 60269-1 y IEC 60269-2-1. Según esta tabla, un fusible



Figura 7.30. Bloques diferenciales.

aguas abajo de 32 A de tipo gG o bien de 16 A de tipo aM tienen garantizada la instalación respecto a un fusible de 50 A de tipo gG ubicado aguas arriba.

Aguas arriba	gG/gL	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
Aguas Abajo	gG/gL	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
	aM	4	6	10	12	16	25	20	25	32	40	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500

Tabla 7.9.

A partir de 16 A, se consigue la selectividad total entre fusibles gG/gL, siempre que la relación de calibres sea igual o mayor a 1,6. Por ejemplo: un fusible gG de 25 A aguas abajo tiene garantizada su selectividad con un fusible de 40 A (1,6 - 25 A) ubicado aguas arriba.

Ejemplo

En un cuadro principal, se instala un interruptor automático Q1 de caja moldeada de Hager, modelo H125, con una intensidad nominal de 200 A. Aguas abajo se instalan tres cuadros secundarios, cuyos IGA (Q2, Q3 y Q4) son del mismo fabricante, siendo interruptores automáticos de carril DIN, modelo NR de intensidades nominales: 20 A, 40 A y 63 A, todos ellos de curva C.

La Icc máx. en los cuadros secundarios es de 6 kA y Q1 dispara a esta intensidad en 8 ms (obtenido de su curva para 6 000/200 = 300 veces In). Se pide comprobar si existe selectividad entre los tres automáticos de carril DIN respecto al de caja moldeada.

El peor cortocircuito que se puede dar (6 kA) supone: (6 000/63 = 95), (6 000/40 = 150) y (6 000/20 = 300) veces In. Según las curvas C (figura 7.20), todos los interruptores disparan próximos a los 10 ms (tiempo cercano al de disparo de Q1). Por tanto, no hay selectividad total, pero puede que alguno de ellos actúe como limitador. Comprobando las tablas dadas por este fabricante (tabla 7.8) de cada interruptor de carril DIN con respecto al de caja moldeada, se obtiene:

Automático C20 (Q2): este automático con respecto al de caja moldeada tiene selectividad total (T), incluso aunque se crucen las curvas intensidad-tiempo, debido a que actúa como limitador. Q1 ve pasar la corriente de cortocircuito, pero no actúa.

Automático C40 (Q3): comprobamos en la tabla que el H125 de 200 A (Q1) dispara respecto del NR 40 A (Q3) a partir de intensidades de cortocircuito de 7 kA. En un principio, hay selectividad parcial pero, como en la posición de Q3 no se van a dar nunca corrientes de cortocircuito mayores a 6 kA, se podría decir que hay selectividad total.

Automático C63 (Q4): en este caso, Q1 dispara a partir de intensidades de cortocircuito de 5,2 kA. Este valor puede darse por ser menor de los 6 kA de límite en este punto. Por tanto, no hay selectividad total y, para conseguirla, habría que introducir un retardo en Q1 ajustado para que Q4 tenga tiempo suficiente para desconectar por sí solo.

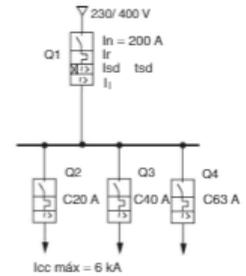


Figura 7.31.

Actividades

6. La figura representa las curvas de disparo de dos diferenciales conectados en serie: uno de 30 mA que protege un circuito, y otro de 300 mA general conectado aguas arriba del anterior. Se pide determinar qué diferencial dispararía antes para intensidades de defecto a tierra de 100 mA, 500 mA y 10 A. En función de esto, deduce, razonando la respuesta, si la conexión de ambos diferenciales es correcta, y cuál sería la solución en caso de que dicha conexión no fuese la adecuada.

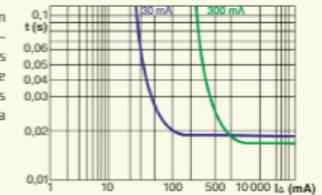


Figura 7.32.

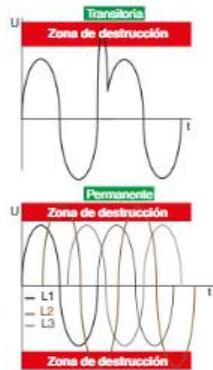


Figura 7.33. Tipos de sobretensiones.

6. Protección contra sobretensiones

Hay que destacar dos tipos de sobretensión:

- **Transitorias:** son de corta duración, del orden de μs , y se producen por el impacto de rayos en las líneas o como consecuencia de conmutaciones o maniobras en la red, por ejemplo, conexiones de cargas inductivas. En cualquier caso, cuando el pico de tensión alcanza un valor no soportado por el equipo, este puede destruirse.
- **Permanentes:** se deben a la rotura del neutro o a anomalías en el suministro eléctrico. Son de menor valor que las anteriores, pero provocan una descompensación en las líneas, lo que produce en los receptores una sobretensión que da lugar a la reducción de la vida útil, destrucción inmediata e incluso a riesgo de incendio. Como podemos apreciar en la figura 7.33, si la totalidad o parte de una instalación es monofásica y está conectada a la fase L2, los equipos conectados a ella se destruirán. Las situaciones e instalaciones donde es obligatorio o recomendado instalar protecciones contra sobretensiones se reflejan en las tablas 7.10 y 7.12, según la Guía Técnica de aplicación sobre la ITC-BT 23.

6.1. Dispositivo de protección contra sobretensiones

A este dispositivo se le denomina **limitador de tensión** o **descargador**, y tiene como misión detectar cualquier sobretensión en la línea. Su conexión se realiza en paralelo con la línea a proteger a través de la línea de tierra.



Figura 7.34. Limitadores de sobretensiones.

Según la tecnología aplicada en su construcción, existen diferentes tipos: **varistor** (resistencia variable), tipo **diodos supresores**, tipo **descargadores de gas** constituidos por un tubo cerámico en cuyo interior hay dos electrodos y un gas sometido presión, tipo **descargadores de arco**, combinaciones de los anteriores, etc. Todos ellos ofrecen una muy alta resistencia en estado normal que baja rápidamente a medida que la tensión aumenta.

En cualquiera de ellos, la conexión se realiza en paralelo con la línea en un extremo y con tierra en el otro extremo. Para tensiones normales de línea, la resistencia que ofrece es muy elevada, no afectando para nada a la instalación; ahora bien, si por cualquier evento la línea se ve sometida a un pico de sobretensión transitorio, el limitador baja su resistencia bruscamente, permitiendo una circulación de corriente a tierra, manteniendo así la tensión en la línea dentro de unos límites aceptables.

6.2. Tipos, características y elección de limitadores de sobretensiones transitorias

Para limitadores de sobretensiones transitorias, existen tres tipos de limitadores, que están diseñados principalmente en función de su capacidad de absorción y su rapidez de respuesta:

Tipo	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Capacidad de absorción	Muy Alta-Alta	Media-Alta	Baja
Respuesta	Baja-Media	Media-Alta	Muy Alta
Origen	Rayos		
Utilización en equipos	Categorías II y III	Categorías II y III	Categoría I

Tabla 7.11. Tipos de limitadores de sobretensiones.

Sus principales características son:

- **Intensidad nominal de descarga (In):** es el valor de cresta de la corriente de descarga en forma de onda 8/20 μs que es capaz de soportar sin dañarse, en una sola vez. Una onda de corriente 8/20 μs indica que llega al 90 % del valor máximo de su intensidad en 8 μs y disminuye al 50 % de su valor en 20 μs .
- **Intensidad máx. (Imp):** es el pico máximo de la corriente de descarga que es capaz de soportar el limitador.
- **Tensión de protección (Up):** es el valor de la tensión en bornes del limitador cuando se produce una descarga, expresada en kV.
- **Tensión nominal (Un):** indica el valor de la tensión de referencia para la que el limitador deberá funcionar.
- **Tensión residual (Ur):** es la tensión a la que están sometidos los receptores cuando el limitador está actuando.
- **Tensión máxima admisible (Uc):** indica el valor máximo de tensión permanente que puede aplicarse en bornes del limitador. Por ejemplo, en una red TT a 230/400 V, la máxima tensión permanente puede llegar a un 10 % por encima de la nominal ($230 \text{ V} \cdot 1,1 = 253 \text{ V}$), siendo, por tanto, la tensión máxima en régimen constante que este soporta sin quemarse de 253 V.

Para la elección de un limitador, hay que tener en cuenta que el objetivo a conseguir es que la actuación de este dispositivo reduzca la sobretensión transitoria a un valor de tensión inferior a la soportada por el equipo protegido. Para alcanzar este objetivo, puede ser necesario utilizar más de un dispositivo de protección. En general, se puede lograr la protección de la instalación mediante un dispositivo tipo 2, instalado lo más cerca posible del origen de la instalación interior, en el cuadro de distribución principal.

En función del dispositivo instalado en cabecera y de las distancias entre este y los equipos a proteger, puede ser necesario instalar dispositivos de protección adicionales para proteger equipos sensibles. Estos podrán ser de tipo 2 o de tipo 3. Cuando el edificio disponga de pararrayos, además será necesario instalar en el origen de la instalación (preferentemente antes de los contadores) un dispositivo de protección de tipo 1.

Las secciones mínimas de conexión con el borne de tierra serán: para tipo 1 = 16 mm², para tipo 2 = 4 mm² y para tipo 3 = 2,5 mm².

Situaciones en las que es obligatorio instalar limitadores de sobretensiones	
Situaciones	Ejemplos
Línea de alimentación de baja tensión total o parcialmente aérea o cuando la instalación incluye líneas aéreas.	Todas las instalaciones, ya sean industriales, terciarias, viviendas, etc.
Riesgo de fallo afectando la vida humana.	Los servicios de seguridad, centros de emergencias, equipo médico en hospitales.
Riesgo de fallo afectando la vida de los animales.	Las explotaciones ganaderas, piscifactorías, etc.
Riesgo de fallo afectando los servicios públicos.	La pérdida de servicios para el público, centros informáticos, etc.
Riesgo de fallo afectando actividades agrícolas o industriales no intermumpibles.	Industrias con hornos o procesos industriales no intermumpibles.
Riesgo de fallo afectando las instalaciones y equipos de los locales de pública concurrencia que tengan servicios de seguridad no autónomos.	Sistemas de alumbrado de emergencia no autónomos.
Instalaciones en edificios con pararrayos instalados en el mismo edificio o en un radio menor de 50 m.	Todas las instalaciones, ya sean industriales, terciarias, viviendas, etc.

Tabla 7.10. Resumen de las situaciones en las que es obligatorio el limitador.



Situaciones en las que es recomendable instalar limitadores de sobretensiones	
Situaciones	Ejemplos
Viviendas (cuando no sea obligatorio según los casos anteriores)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Con sistemas domóticos (ITCBT-51) ■ Con sistemas de telecomunicaciones en azoteas
Instalaciones en zonas con más de 20 días de tormenta al año	Todas las instalaciones, ya sean industriales, terciarias, viviendas, etc.
Equipos especialmente sensibles y costosos	Los locales incluidos en la ITCBT-28
Riesgo de fallo afectando las instalaciones y equipos de los locales de pública concurrencia que no sean servicios de seguridad	

Tabla 7.12. Resumen de las situaciones en las que se recomienda el limitador.

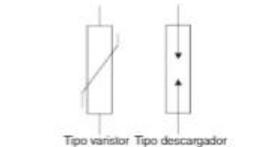


Figura 7.35. Símbolos del limitador de sobretensiones.

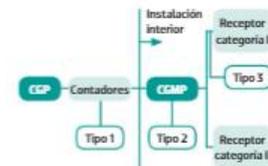


Figura 7.36. Ejemplo de instalación que incluye los tres tipos de dispositivos de protección contra sobretensiones.

Ejemplo

La instalación eléctrica de una gasolinera se compone de un cuadro principal del que parten tres líneas que alimentan a tres cuadros secundarios: cuadro de tienda, cuadro de equipos de lavado de vehículos y cuadro de bombas de carburante. Las líneas que parten de los cuadros de tienda y lavado alimentan a equipos sensibles, como ordenadores, equipos de seguridad, cajas de registro, etc., y el cuadro de bombas de surtidores alimenta a equipos de control con autómatas. La estación de servicio se encuentra ubicada en un entorno susceptible de recibir sobretensiones de origen atmosférico, de forma directa o indirecta. Se alimenta de una línea trifásica de BT a 230/400 V y la corriente máxima de cortocircuito es de 8,6 kA. Se pide diseñar la instalación contra sobretensiones. Partimos de los esquemas del conjunto de la instalación para determinar el tipo, las características y la ubicación de los limitadores:

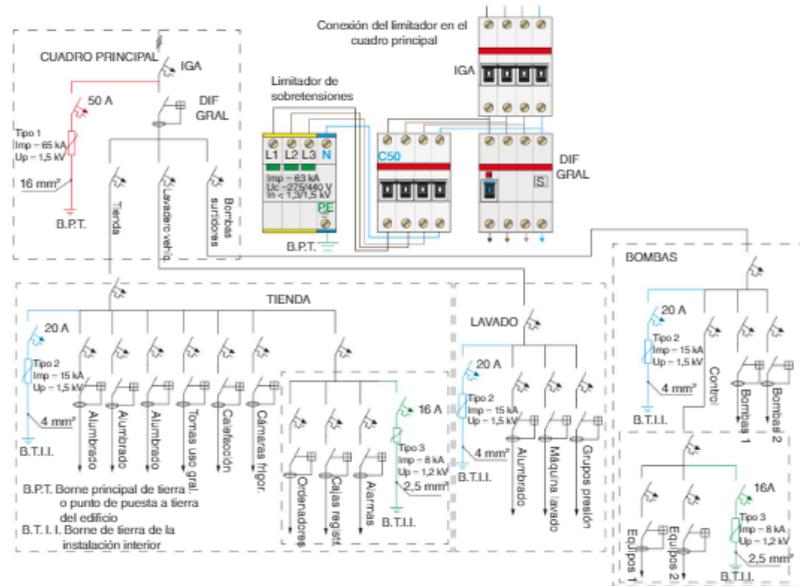


Figura 7.37.

Se han instalado tres tipos de limitadores de sobretensiones transitorias conforme a la posición y a los equipos a proteger. Veamos su ubicación y características:

Cuadro principal: se ha instalado un limitador de tipo 1 con $I_{máx} = 65 \text{ kA}$ (8/20), de 1,5 kV de tensión máxima en bornes del limitador cuando se produce una descarga. Este está protegido, a su vez, por un interruptor automático de 50 A, curva C y con poder de corte de 10 kA (>8 kA). El cableado se realiza con conductores de 16 mm².

Cuadros secundarios: se conectarán con cable de 4 mm² limitadores de tipo 2, con $I_{máx} = 15 \text{ kA}$ (8/20) y de 1,5 kV, protegidos por interruptores automáticos de 20 A, curva C y con poder de corte de 10 kA.

Cuadros de control y equipos: en la tienda, en el cuadro de protecciones para alimentación a equipos informáticos, cajas registradoras y alarmas, así como en el cuadro de control automatizado de las bombas de los surtidores, se instalarán limitadores de tipo 3, con $I_{máx} = 8 \text{ kA}$ (8/20) y de 1,2 kV, protegidos por interruptores automáticos de 16 A, curva C y con poder de corte de 10 kA. El cableado se realiza con conductores de 2,5 mm². Los limitadores tendrán un señalizador de final de vida en la parte frontal (la aparición de una pestaña roja indicará que es preciso cambiarlo).

7. Instalaciones de puesta a tierra

La puesta a tierra consiste en la unión eléctrica directa (sin fusibles ni protección alguna) de una parte del circuito eléctrico (masas metálicas de receptores, canalizaciones metálicas de conductores, etc.) mediante una toma de tierra formada por un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo. Su objetivo es limitar la tensión que, con respecto a tierra, se pueda presentar en un momento dado en las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos de una instalación.

Las partes que componen una instalación de tierra son las siguientes: el terreno, las tomas de tierra, el conductor de tierra, el borne principal de tierra, el conductor de protección y los conductores de equipotencialidad.

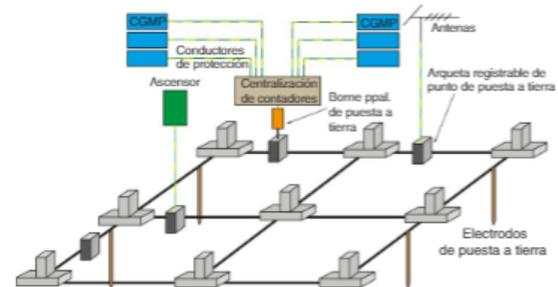


Figura 7.39. Esquema de una puesta a tierra.

7.1. La toma de tierra. Los electrodos

La toma de tierra se define como el conjunto de elementos enterrados en el terreno, denominados electrodos, utilizándose para ello materiales tales como el cobre y el acero galvanizado. Según su estructura, pueden ser:

- Picas en forma de barras de acero-cobre o acero galvanizado, con geometría tubular o en forma de perfiles.
- Conductores desnudos de cobre de 35 mm² de sección como mínimo.
- Placas rectangulares o cuadradas con un espesor mínimo de 2 mm, si estas son de cobre, o de 3 mm, si son de acero.
- Anillos o mallas metálicas constituidos por conductores desnudos en combinación con placas o picas.
- Armaduras de hormigón enterradas en el terreno, exceptuando las armaduras pretensadas.

La profundidad del enterramiento del electrodo (medida desde su parte superior) no deberá ser inferior a 0,5 m y, en zonas en las que existan continuos riesgos de heladas, la profundidad mínima deberá ser de 0,8 m.

En edificios de viviendas, locales comerciales, oficinas y otros locales similares, se exige que la toma de tierra se realice en forma de anillo cerrado que integre a todo el perímetro del edificio al que se conectan y si existe la necesidad de disminuir la resistencia de tierra se conectarán picas verticales en diferentes puntos del anillo.



Figura 7.38. Picas.

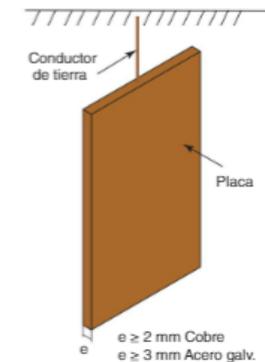


Figura 7.40. Placas.

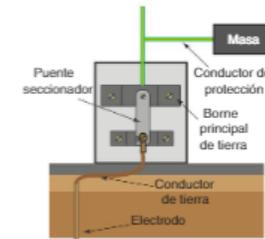


Figura 7.41. Representación esquemática de la puesta a tierra.

Electrodo	Resistencia de tierra en ohm
Placa enterrada	$R = 0,8\rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2\rho/L$

Nota:
 ρ : resistividad del terreno (Ohm · m)
 P : perímetro de la placa (m)
 L : longitud de la pica o del conductor (m)

Tabla 7.13. Fórmulas para estimar la resistencia de tierra (Tabla 5 ITC-BT 18).

Saber más

Toda instalación de tierra debe tener un punto accesible que permita medir la resistencia de tierra de la instalación. Para efectuar la medición, se desconectan siempre los conductores de protección del conductor de tierra. El borne de puesta a tierra puede realizar dicha función; en tal caso, debe ser desmontable necesariamente por herramientas.



Figura 7.42. Telurómetro (Fluke).

7.2. Conductores de tierra y borne de puesta a tierra

En toda instalación de tierra, debe haber un borne de puesta a tierra. Este es el elemento al cual acomete la toma de tierra formada por el electrodo o conjunto de electrodos necesarios. La unión entre dichos electrodos y el borne principal de tierra del cual partirán los conductores de protección de la instalación interior se realiza con el denominado conductor de tierra. Las secciones a utilizar para este conductor son las siguientes:

- Para conductores de tierra protegidos contra la corrosión mediante envoltente, si no llevan protección mecánica serán de 16 mm², tanto si son de cobre como si son de acero galvanizado.
- Para conductores de tierra no protegidos contra la corrosión (desnudos) siempre será de sección mínima de 25 mm² para el cobre. Aunque se recomienda que esta sección sea de 35 mm², si va enterrado, y de 50 mm², si son de hierro.

7.3. Conductores de protección y conductores de equipotencialidad

Los conductores de protección parten del borne de puesta a tierra y sirven para unir eléctricamente las masas metálicas de una instalación, es decir, las partes metálicas de los receptores, los cuadros de distribución metálicos, las canalizaciones de conductores metálicas, etc., con la puesta a tierra. Con esto se asegura la protección contra contactos indirectos. Estos conductores deben tener una sección conforme a la tabla 2 de la ITC-BT 18, en función de los conductores de fase al cual acompañan.

El conductor de equipotencialidad es el conductor que proporciona una conexión equipotencial, poniendo al mismo potencial a partes conductoras simultáneamente accesibles. Se pueden distinguir dos tipos: Conductor principal de equipotencialidad, que conecta la canalización metálica principal de agua a tierra, y conductores suplementarios de equipotencialidad, que conectan las masas puestas a tierra con el elemento conductor.

7.4. Resistencia de tierra

Cuando se produce un contacto de una masa metálica conectada al conductor de protección con un conductor activo, una corriente de fuga atraviesa los conductores de protección pasando por el conductor de tierra hasta llegar a los electrodos que hacen difundir dicha corriente en el terreno. De tal forma, la resistencia de tierra debe ser lo menor posible para facilitar el paso de corriente.

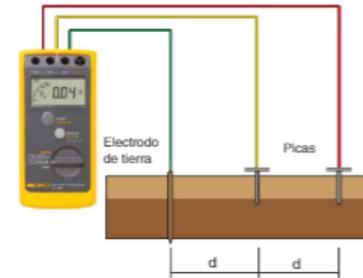
Los electrodos deben dimensionarse para que su resistencia final sea tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V, en emplazamientos conductores (por ejemplo, locales húmedos o mojados), y a 50 V, en el resto de los casos.

La resistencia de los electrodos depende de varios factores: de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el cual se entierran. La tabla 3 de la ITC BT-18 indica valores orientativos de resistividad para diversos tipos de terrenos, cuyo objeto es dar una primera aproximación de la resistencia de tierra para la realización de cálculos estimativos, que pueden efectuarse utilizando la tabla 4 de la ITC-BT 18 para picas, placas y conductores desnudos.

La realización de la medida de tierra es esencial en toda instalación, antes de su puesta en marcha y en todas aquellas que requieran una verificación periódica de la misma. El aparato de medida se denomina telurómetro y su uso y manejo dependen del modelo, atendiendo a las especificaciones del fabricante.

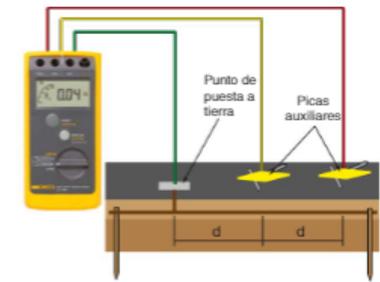
Protecciones eléctricas

Las figuras 7.43 y 7.44 muestran de forma gráfica una medición de tierra.



El modo de medición de tierra se realiza introduciendo dos picas auxiliares en el terreno, separadas a una distancia «d» que especificará el fabricante en cada modelo de medidor de tierra, y conectadas a los bornes correspondientes del telurómetro. Otro de los bornes que ofrece el telurómetro se conecta a un punto de puesta a tierra, teniendo en cuenta que esta debe estar desconectada de los conductores de protección de la instalación. Seguidamente, y según las especificaciones técnicas del modelo de medidor, se realizará la medida.

Figura 7.43. Medida de tierra con las picas clavadas en el terreno.



En caso de que no pudieran clavarse las picas auxiliares a causa de la naturaleza del terreno (hormigón, roca, etc.), la medida se realizará conectando el borne de conexión a tierra a un punto de puesta a tierra de la instalación y las picas auxiliares se colocarán posadas en el suelo envueltas en bayetas o trapos que se mojarán mientras se realiza la medida. Las distancias de separación serán las mismas que si estas estuviesen clavadas en el terreno.

Figura 7.44. Medida de tierra con las picas posadas en el suelo.

Ejemplo

Para la puesta a tierra de la estructura de un edificio situado sobre terreno de granito y gres alterado de resistividad 600 Ωm, se dispone de un cable de tierra de cobre desnudo de sección 35 mm² formando un anillo con longitud total en planta de 102 metros, enterrado en zanja a una profundidad de 80 cm, soldado a las armaduras, a la estructura metálica y entre sí por soldadura aluminotérmica. Calcular el número de picas necesarias, de longitud 4 metros, para lograr una resistencia de tierra total de 10 Ω.

Aplicamos la ecuación de la tabla 5 de ITC BT-18 para conductor enterrado, siendo la resistencia obtenida de: $R_{cable} = (2 \cdot 600) / 102 = 11,7 \rightarrow 12 \Omega$
 Cada pica tiene una resistencia en este terreno de: $R_{pica} = 600 / 4 = 150 \Omega$
 Las picas suponen resistencias en paralelo de 150 Ω y, a su vez, en paralelo con el cable que supone 12 Ω.
 Aplicando esto, realizamos el cálculo:

$$R_{TOTAL} = 10 \Omega$$

$$R_{TOTAL} = \frac{1}{\frac{1}{R_{CABLE}} + \frac{n}{R_{PICA}}} = \frac{1}{\frac{1}{12} + \frac{n}{150}} = \frac{1}{\frac{25 + 2n}{300}} = \frac{300}{25 + 2n}$$

$$250 + 20n = 300 \rightarrow n = \frac{300 - 250}{20} = 2,5 \rightarrow 3 \text{ picas}$$

Figura 7.46.

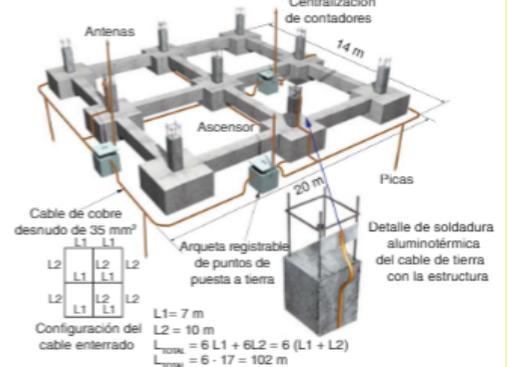


Figura 7.45. Detalle de la instalación de tierra en el edificio.

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

Material

- Interruptores automáticos: uno de 4x32A, 4 de 2x10A, 5 de 2x16A y 3 de 2x25A
- Dos limitadores de sobretensiones
- Una pastilla reguladora de luminosidad o similar y un interruptor horario
- Cajas de empotrar de 100x150 mm y de 150x200 mm
- Base de corriente schuko 16A 2p+T
- Conmutadores, interruptores y pulsadores
- Tubos corrugados de 16, 20 y 25 mm
- Carril DIN, abrazaderas, bornes de conexión, lámparas y portalámparas

Instalación eléctrica de un local comercial

Objetivo

Diseño y montaje de cuadros de distribución.

Planteamiento

Se va a realizar una instalación eléctrica de una tienda de ropa ubicada en un edificio de viviendas en el que se instala un pararrayos ubicado en una zona con más de 25 tormentas al año.

Los circuitos y equipos a instalar en la tienda los siguientes:

- 3 circuitos de alumbrado.
- 3 circuitos de fuerza monofásicos: tomas de la sala de ventas, tomas de escaparate y tomas para el almacén y el aseo.
- 1 circuito monofásico para climatización.
- Desde el cuadro general, se alimenta un cuadro secundario que contiene las protecciones de los equipos informáticos, hilo musical, caja registradora y alarmas de seguridad contra robo e intrusión.

El cliente desea que los dos focos del escaparate permanezcan unas horas encendidos después del cierre y que la línea de alumbrado ornamental de la sala de ventas disponga de regulación de iluminación.

Desarrollo

1. Se realiza el esquema eléctrico de distribución en planta.

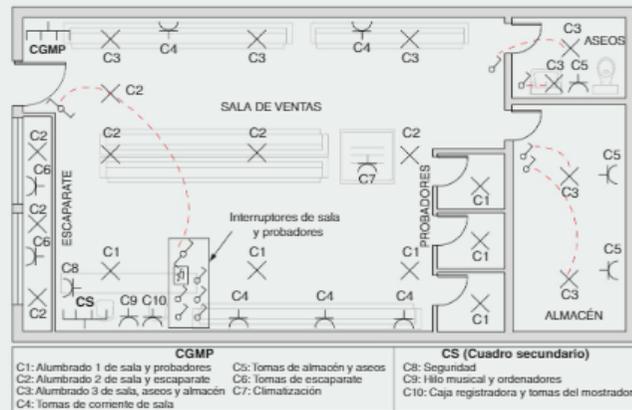


Figura 7.47. Esquema de distribución en planta del local.

2. Cálculos de la instalación teniendo en cuenta que los conductores a utilizar para la instalación interior serán unipolares H07Z1-K (AS) y se canalizarán bajo tubos empotrados.

Tabla de datos y resultados obtenidos:

Circuito	II/III	Tensión (V)	Potencia (W)	cos φ	L (m)	c.d.t. (%)	Canalización (∅ mm)	I _s (A)	Secc. (mm ²)	Protec. (A)
Derivación Individual DI (cable RZ1-K 0,6/1kV)	III	230/400	15.900 (Fs=0,6)	0,9	24	1	T. en conduct. ****	****	****	Fusible ****
CGMP										
C1: Alumbrado 1	II	230	1000	1	24	3	T. emprtr. 16	4,3	1,5	10
C1: Alumbrado 2	II	230	1000	1	27	3	T. emprtr. 16	4,3	1,5	10
C1: Alumbrado 3	II	230	1000	1	30	3	T. emprtr. 16	4,3	1,5	10
C4: Tomas sala	II	230	3500	1	26	3	T. emprtr. 20	15,2	2,5	16
C5: Tomas almacén	II	230	3500	1	30	5	T. emprtr. 20	15,2	2,5	16
C6: Tomas escaparate	II	230	2500	1	15	5	T. emprtr. 20	10,8	2,5	16
C7: Climatización	II	230	4000	0,9	20	5	T. emprtr. 20	19,3	4	20
Cuadro secundario	II	230	5000	1	15	1	T. emprtr. 25	21,7	6	25
Cuadro secundario										
C8: Seguridad	II	230	200	1	8	4	T. emprtr. 16	0,8	1,5	10
C9: Sonido/Informát.	II	230	2400	1	10	4	T. emprtr. 20	11,7	2,5	16
C10: Caja registrad.	II	230	2400	1	6	4	T. emprtr. 20	12,1	2,5	16

Nota: en algunos tramos de la instalación, existen agrupaciones de dos circuitos por tubo (C1 con C5 y C6 con C7); por tanto, el cálculo de la sección y protección se ha realizado teniendo en cuenta la reducción por agrupación de 0,8 en estos circuitos. Por otro lado, en los tramos en los que discurren estos dos circuitos en un mismo tubo este se ha dimensionado para albergar el total de conductores según la ITC-BF 21.

Interruptores generales automáticos.

En el CGMP, se instalará un IGA tetrapolar de 32 A y en el CS, un IGA bipolar de 25 A; ambos de clase C.

Cálculo de la derivación individual

Calcula la derivación individual formada por cables unipolares RZ1-K 0,6/1kV (AS) bajo tubo empotrado. En la centralización de contadores en planta baja, se instalan el contador del local y los tres fusibles de seguridad tipo Diazed.

La c.d.t. máx permitida para esta línea es del 1%. La longitud de este tramo es de 24 m, potencia 15900 W, tensión 400 V, cos φ = 0,9. Completa la siguiente tabla:

Por c.d.t. S = _____ mm ²	Por I _{máx} I _s = _____ A	
Método de instalación	Secc. (mm²)	I_{máx} cable (A)
.....
Calibre de los fusibles gG/gL de seguridad		
I _s ≤ I _n ≤ 0,91 I _{máx} final		
.....A ≤A ≤A		
Diámetro del tubo (según ITC-15)		
∅ Tubo = mm		

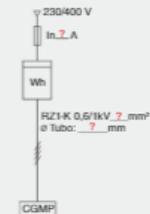


Figura 7.48. Esquema unifilar de la derivación individual.

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA

continuación

3. Interruptores diferenciales.

La siguiente tabla muestra las características de los diferenciales a instalar, teniendo en cuenta su posición y los tipos de receptores instalados en los circuitos que protege.

Diferencial	In/IΔn	Clase
Diferencial general	40 A/300 mA	S-AC
Diferencial de los circuitos interiores (aluminado, tomas y climatización)	25 A/30 mA	AC
Diferencial de los circuitos de equipos informáticos, caja, sonido y alarmas.	25 A/30 mA	A

4. Instalación del sistema de protección contra sobretensiones.

Será obligatoria la instalación de un limitador de sobretensiones de tipo 1 en la centralización de contadores, ya que hay instalados pararrayos. En los cuadros de la tienda, se instalarán limitadores de tipo 2 en el cuadro general y un limitador de tipo 3 en el cuadro secundario (informática, caja y seguridad).

Protectores contra sobretensiones	Tipo	Imp (kA)	Up (kV)	Secc. (mm ²)	In. Aut. (A)
En cuadro general	2	15	1,5	4	20
En cuadro secundario	3	8	1,2	2,5	16

5. Esquema unifilar de los cuadros de distribución.

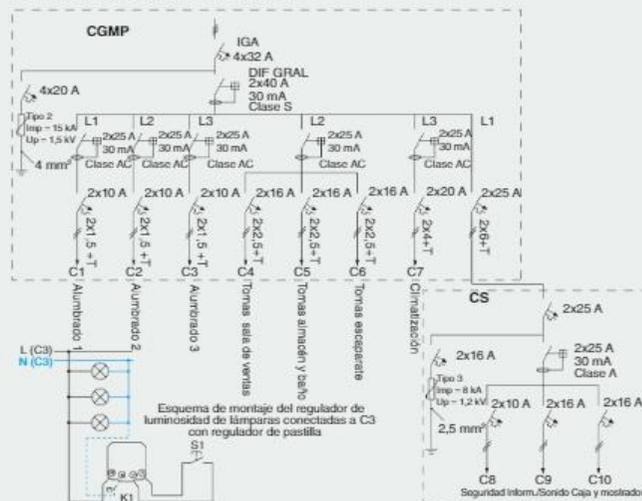


Figura 7.49. Esquemas de los cuadros de distribución.

6. Realiza el montaje práctico de los cuadros de distribución.

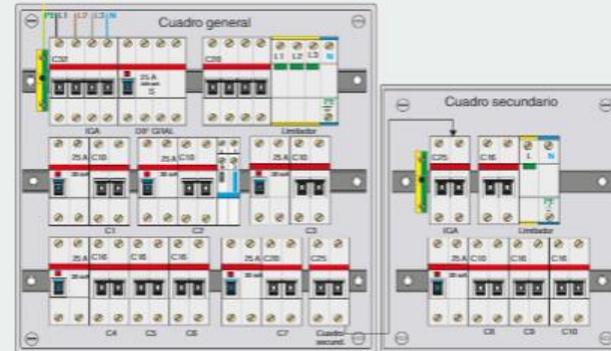


Figura 7.50. Esquema de montaje de los cuadros de distribución.

7. Realiza el montaje de la instalación tal y como muestra la siguiente figura, teniendo en cuenta que:

- En el cuadro de interruptores, se indica el circuito de las lámparas de la sala sobre el que actúa el interruptor (C3r puede ser pulsador o regulador de potenciómetro, según el tipo de regulador de luminosidad). P1, P2 y P3 son los interruptores de los probadores.
- Hay dos tramos de canalización con circuitos agrupados (C1 con C3 y C6 con C7).
- Algunas tomas no se han instalado, con el objeto de no sobrecargar la práctica, pero todos los circuitos han sido representados.

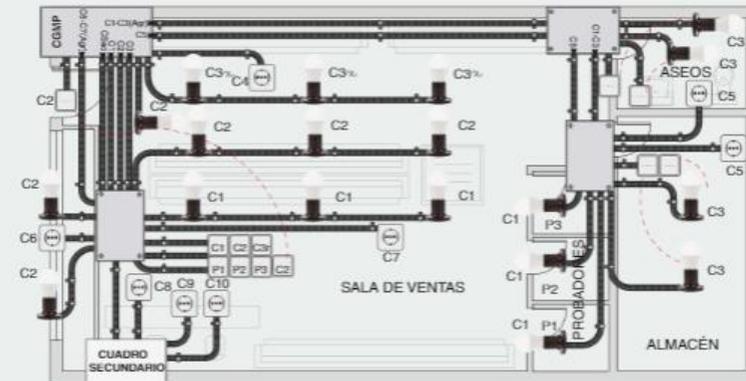


Figura 7.51. Esquema de montaje de la instalación.

EVALÚO MIS CONOCIMIENTOS

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. Una sobrecarga se produce:

- a) Cuando la tensión en un receptor es mayor que la admitida por su diseño.
- b) Cuando la intensidad en una línea alcanza valores extremadamente elevados.
- c) Cuando a una línea se conectan más cargas que las admitidas por su diseño.

2. La principal ventaja de los fusibles frente a los interruptores automáticos es:

- a) Su fácil instalación.
- b) Su mejor curva de disparo.
- c) Su poder de corte.

3. Se denomina sensibilidad de un diferencial:

- a) Al valor máximo que es capaz de aguantar un diferencial.
- b) A la máxima corriente de fuga derivada a tierra permitida por el diferencial.
- c) A la mínima corriente de fuga derivada a tierra permitida por el diferencial.

4. ¿La rotura del neutro en un sistema trifásico puede ser protegida con limitadores de tipo transitorio?

- a) Sí, siempre.
- b) No, ya que debe ser limitador de tipo permanente.
- c) No, ya que la rotura del neutro no genera sobretensiones.

5. El diseño de una instalación, en la cual se garantiza que solamente se disparan los dispositivos de protección afectados, se denomina:

- a) Sensibilidad.
- b) Selectividad.
- c) Clase.

6. Será obligatorio instalar limitadores de sobretensiones en:

- a) En zonas con más de 20 tormentas al año.
- b) En todo local de pública concurrencia.
- c) En centros de emergencia médica.

7. Los limitadores o descargadores de tipo 3 son aquellos que:

- a) Tienen una capacidad de absorción de energía muy alta y rapidez de respuesta elevada.
- b) Tienen una capacidad de absorción de energía baja y rapidez de respuesta muy alta.
- c) Tienen una capacidad de absorción de energía muy baja y rapidez de respuesta baja.

8. La máxima tensión de contacto que puede tener una masa metálica en una lavandería debe ser de:

- a) 24 V.
- b) 50 V.
- c) 12 V.

9. Se denomina conductores de protección:

- a) A los cables desnudos de cobre enterrados en el terreno.
- b) A los cables que conectan la instalación de tierra con las masas.
- c) A los cables que unen las estructuras metálicas de las edificaciones.

10. ¿Es eficaz la puesta a tierra de las masas sin instalar diferencial?

- a) Sí, siempre.
- b) No, nunca.
- c) Sí, pero únicamente en instalaciones industriales.

EVALÚO MI APRENDIZAJE

- 1. La placa de un motor trifásico indica: tensión = 400 V, $\cos \varphi = 0,87$, intensidad nominal = 20 A. Se sabe que tiene un pico de arranque de 3,5 veces su intensidad nominal y se quiere proteger con fusibles gG/gL cuyas curvas son la de la figura 7.52. Se pide:
 - a) Elegir el calibre mínimo si el motor tiene un tiempo de arranque de 8 s.
 - b) Con el calibre que has elegido, calcula la sección del conductor (c.d.t. despreciable) que alimenta al motor. Se utilizará una manguera tipo RV-K 0,6/1 kV grapada sobre la pared.

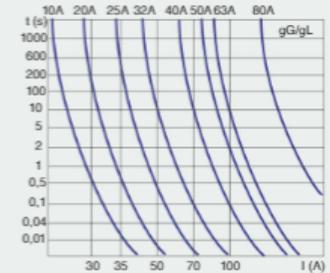


Figura 7.52.

- 2. Al circuito de tomas de corriente de uso general (C2) de una vivienda protegido por un PIA C16, se conectan tres calefactores: uno de ellos de 2000 W, otro de 1200 W y otro de 960 W. Se pide:
 - a) Determinar la intensidad que circulará por dicho circuito.
 - b) En función de la intensidad calculada, determina el factor I/I_n (veces la intensidad nominal).
 - c) Si el PIA C16 (calibre de 16 A, curva C) es de las características ofrecidas en la curva de la figura 7.20, determina aproximadamente el tiempo en horas que podrán estar funcionando los receptores antes de dispararse el interruptor automático debido a la sobrecarga en el circuito.

- 3. Un cuadro general —aguas arriba (A)— de una industria tiene instalado un diferencial selectivo de 300 mA, clase AC-S. De él parte una línea de alimentación a un cuadro secundario —aguas abajo (B)— en el que se instalan diferenciales de 30 mA, clase AC, para la protección individual de los diferentes circuitos a los que alimenta dicho cuadro. En caso de que en uno de los circuitos individuales se produjese una derivación a tierra de 1 A, se pide:
 - a) Obtén los tiempos de disparo de los diferenciales A y B, según las curvas de la figura 7.27.
 - b) ¿Existe selectividad de disparo?
 - c) Si el diferencial A no fuese selectivo y fuese un diferencial igualmente de 300 mA clase AC, en caso de un defecto a tierra en un circuito de un valor de 10 A, ¿cuál saltaría antes? ¿Existe selectividad en este caso?

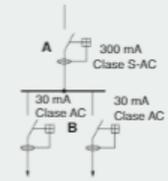


Figura 7.53.

- 4. Escoge del listado la clase y sensibilidad de diferencial que utilizarías en cada caso.

	Instalación	Diferencial
300 mA/ AC	En un quirófano	.....
10 mA/ AC	En una línea de alumbrado público	.....
300 mA/S-AC	En una vivienda	.....
30 mA/AC	En el diferencial general de un cuadro en una industria	.....

- 5. Escoge del listado el tipo de limitador a instalar según la situación e indica si es obligatorio o recomendado.

	Situación	Tipo	Obligatorio o recomendado
Tipo 1	Centralización de contadores de edificio con pararrayos	.....	.....
Tipo 2	Cuadro de protección de equipos de quirófano	.....	.....
Tipo 3	Cuadro general de una vivienda con equipos domésticos	.....	.....
	Cuadro secundario que alimenta un horno industrial	.....	.....

EVALÚO MI APRENDIZAJE

6. Conocida al I_{cc} de cortocircuito en el origen de donde parten diferentes líneas hasta cuadros secundarios. Utilizando la tabla 7.2, se pide calcular las intensidades máximas de cortocircuito que se pueden dar en los puntos donde se ubican dichos cuadros.

I_{cc} origen (kA)	Cable (mm ²)	Long. (m)	I_{cc} final (kA)	I_{cc} origen (kA)	Cable (mm ²)	Long. (m)	I_{cc} final (kA)
10	50	80	*****	18	16	53	*****
25	70	117	*****	42	95	37	*****

7. Realiza una medición de tierra utilizando los dos procedimientos descritos en las figura 7.43 y 7.44. Para ello, debes clavar una pica en el terreno de 1 m aproximadamente así como las picas auxiliares a unas distancias según las especificaciones técnicas del telurómetro. Conecta el borne de puesta a tierra a la pica y realiza la medición.

Test de REBT

8. Realiza el siguiente test del REBT de las instrucciones ITC-BT 18, 23 y 24.
- En una instalación eléctrica, la resistencia de toma de tierra es de 100 Ω , la sensibilidad del diferencial si pertenece a un emplazamiento mojado, será de:
 - 10 mA
 - 30 mA
 - 300 mA
 - La sección mínima de los conductores de cobre de puesta a tierra protegidos contra la corrosión y sin protección mecánica será de:
 - 10 mm²
 - 16 mm²
 - 35 mm²
 - 50 mm²
 - En una toma de tierra, pueden ser utilizados los siguientes electrodos de tierra (señala la **no** correcta):
 - Placas.
 - Canalizaciones metálicas de calefacción.
 - Picas.
 - Conductores desnudos enterrados.
 - La protección de equipos informáticos y electrónicos contra sobretensiones se realizará con limitadores de:
 - Tipo 1.
 - Tipo 2.
 - Tipo 3.
 - Tipo 4.
 - Cualquier tipo.
 - Las sobretensiones en un circuito pueden estar originadas por:
 - Elevadas derivaciones a tierra.
 - Sobrecargas o cortocircuitos.
 - Sobretensiones.
 - El dispositivo adecuado para la protección contra cortocircuitos será:
 - El relé térmico.
 - El interruptor diferencial.
 - El interruptor automático.
 - El limitador de cortocircuitos.
 - En un local seco, se ha medido una resistencia de tierra de 1428 Ω . ¿Qué sensibilidad será necesaria para el interruptor diferencial?
 - 63 mA
 - 30 mA
 - 300 mA
 - 500 mA
 - 25 mA
 - En locales o emplazamientos húmedos o mojados, la tensión de defecto máxima permitida es de:
 - 50 V
 - 60 V
 - 12 V
 - 24 V
 - La protección contra contactos indirectos se consigue con la aplicación de:
 - Medidas de aislamiento de las partes activas de la instalación.
 - Barreras o envolventes.
 - Dispositivos de corriente diferencial residual.
 - Medidas de alejamiento de las partes activas.
 - ¿Cuál es la fórmula que se debe utilizar para determinar la sensibilidad de un diferencial en locales de emplazamiento secos?
 - $R \leq 250/I_s$
 - $R \leq 24/I_s$
 - $R \leq 50/I_s$
 - $R \leq 400/I_s$

RETO PROFESIONAL

Material

- Manuales del fabricante de interruptores automáticos con relé electrónico

Ajuste de un interruptor automático de caja moldeada

Planteamiento

En una ampliación y reforma de una industria alimentaria, se van a instalar dos nuevos interruptores generales en un cuadro principal (CP), en cuyo punto la intensidad máxima de cortocircuito $I_{cc\max}$ es de 10 kA. De estos interruptores parten dos líneas, que se canalizan enterradas en la misma zanja y se destinan a alimentar dos cuadros secundarios: CS1 y CS2. Los interruptores de caja moldeada son los siguientes:

- Q1: protege a la línea L1 que va desde el CP a un cuadro secundario (CS1) y contiene las protecciones de los conductores que alimentan a nuevos equipos incorporados al proceso de producción industrial.
- Q2: protege a la línea L2 que va desde el CP a un cuadro secundario (CS2) y contiene las protecciones de las oficinas, equipos informáticos, telecomunicaciones y seguridad.

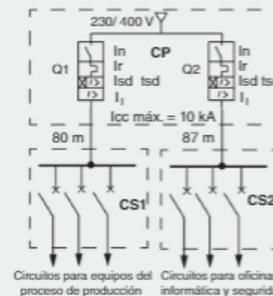


Figura 7.54.

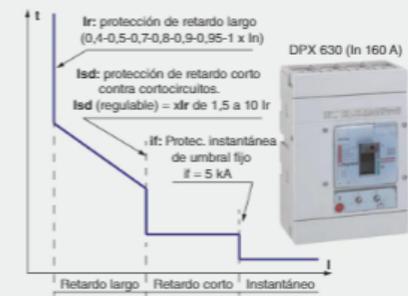


Figura 7.55. Interruptor automático con relé electrónico.

Se utilizarán conductores unipolares RZ1-K 0,6/1 kV enterrados bajo tubos en contacto mutuo. Los datos de esta instalación son los reflejados en la siguiente tabla:

Cuadro	Pot. (kW)	Tens. (V)	cos ϕ	L (m)	c.d.t. (%)	I_s (A)	$F_c^{(1)}$	Secc. (mm ²)	$I_{m\acute{a}x}^{(2)}$ (A)	$I_{cc}^{(2)}$ (kA)
CS1	85	400	0,80	80	2	153	0,85	95	202 · 0,85 = 171,7	6,2
CS2	75	400	0,90	87	1,5	120	0,85	70	170 · 0,85 = 144,5	5,3

Notas:

(1) Factor de corrección por agrupamiento de dos tubos en contacto en una misma zanja.

(2) La $I_{m\acute{a}x}$ de cortocircuito en los puntos de CS1 y CS2 las calculamos a través de la tabla 7.2 de esta unidad. En CS1 para cable de 95 mm² a 80 m (81 m en la tabla) y 10 kA en el origen se obtiene: $I_{cc1} = 6,2$ kA. Y en CS2 para cable de 70 mm² a 87 m (85 m en la tabla) y 10 kA en el origen se obtiene: $I_{cc2} = 5,3$ kA.

Desarrollo

- Elegimos como protección un interruptor automático de caja moldeada con relé electrónico DPX 630 de Legrand, de calibre $I_n = 160$ A con umbral de disparo instantáneo fijo $I_f = 5$ kA.

RETO PROFESIONAL

continuación

2. Los ajustes serán los siguientes:
 a) Ajuste I_r (retardo largo para sobrecarga)

Int. Aut.	Imáx. cable (A)	In (A)	Reg. $I_r^{(1)}$	$I_s \leq I_r(A) = Reg \cdot I_n \leq Imáx.$
Q1	171,7	160	1	$153 \leq (1 \cdot I_n = 1 \cdot 160 = 160 \text{ A}) \leq Imáx \text{ cable (171 A)}$
Q2	144,5	160	0,9	$120 \leq (0,9 \cdot I_n = 0,9 \cdot 160 = 144 \text{ A}) \leq Imáx \text{ cable (144,5)}$

Nota (1): El parámetro de Regulación I_r se ajusta en el interruptor automático, lo que permite tener un dispositivo de protección de calibre ajustable.

- b) Ajuste I_{sd} (retardo corto para cortocircuitos)
- Q1 (protege una línea con cargas muy inductivas): se ajusta el disparo por retardo corto a 10 veces I_r .
 - Q2 (protege una línea con cargas poco inductivas): se ajusta el disparo por retardo corto entre 5 y 8 veces I_r . A partir de estos ajustes y hasta cortocircuitos de 5 kA, los interruptores introducirán un retardo para mejorar la selectividad con los dispositivos ubicados aguas abajo.
- Completa la tabla de ajuste de I_{sd} para Q2.

Int.	Reg. I_{sd}	I_r (A)	$I_{sd}(A) = Reg \cdot I_r$
Q1	10	160	$10 \cdot 160 = 1600$
Q2	.....	.....	.....

- c) Estudio de los tiempos de disparo.
- Completa la siguiente tabla para retardo largo utilizando la gráfica de la figura 7.56.

Int.	Intensidades	T de disparo
Q1	160 A < I ≤ 1600 A	Entre 1 y 200 s
Q2	144 A < I ≤	Entre

- Completa la siguiente tabla para retardo corto utilizando la gráfica de la figura 7.56.

Aut.	Intensidades	T de disparo
Q1	1,6 kA < I ≤ 5 kA	t = 0,07 s
Q2	.....	.....

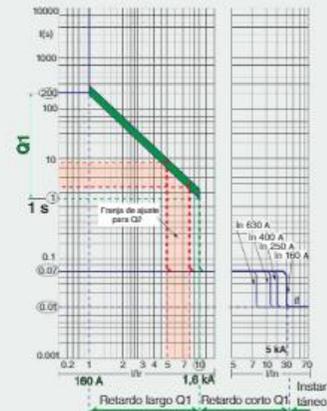


Figura 7.56. Curvas de disparo del interruptor DPX 630.

3. En resumen, frente a sobrecargas estos permiten ajustar su calibre en función de la $I_{máx}$ del cable, y para cortocircuitos de intensidad baja (< 5 kA) los disparos se realizarán con un retardo de aprox. 70 ms. Para cortocircuitos de intensidades elevadas ($I_{cc} \geq 5$ kA) cortan en aprox. 10 ms, tiempo similar al de los dispositivos ubicados aguas abajo, por tanto, no hay garantía absoluta de selectividad total. Para comprobar lo expuesto, se pide calcular la I_{cc} al final de una línea trifásica de alimentación de un horno conectado al cuadro CS1 (utiliza la tabla 7.2) y cuyos datos son los de la siguiente tabla:

Secc. (mm ²)	I_{cc} origen (kA)	Long. (m)	I_{cc} origen (tabla 7.2) (kA)	Long. (tabla 7.2) (m)	I_{cc} final (kA)	$I_{cc} < 5$ kA Sí/No
16	6,2	20	.....	.....	.....	.....

ORGANIZO MIS IDEAS

