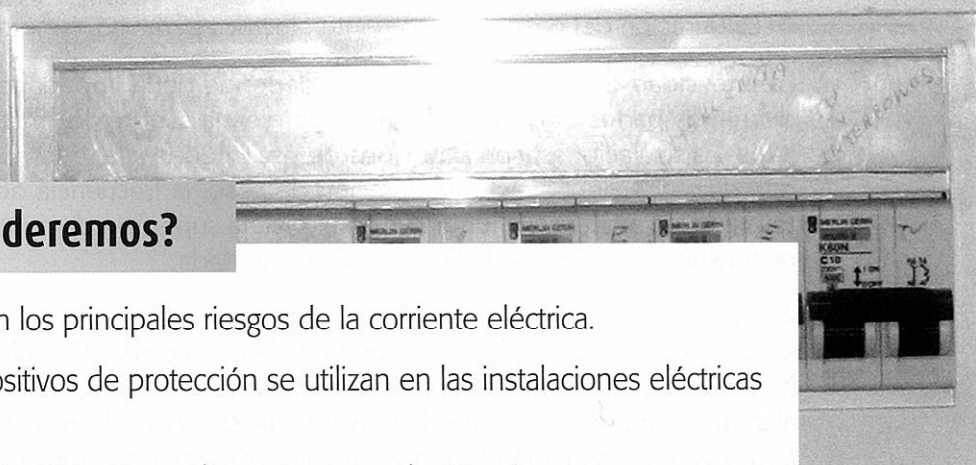
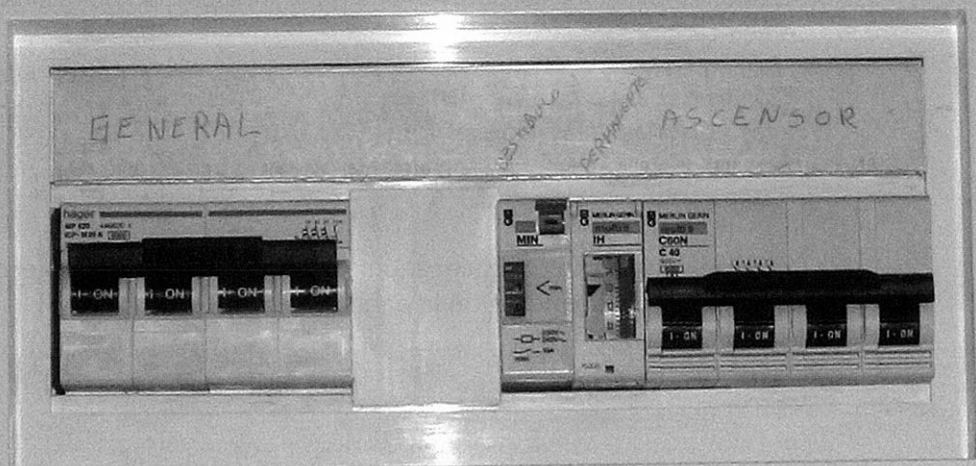


Unidad didáctica 6

Protección de las instalaciones eléctricas



¿Qué aprenderemos?

- Cuáles son los principales riesgos de la corriente eléctrica.
- Qué dispositivos de protección se utilizan en las instalaciones eléctricas interiores.
- Qué tipo de dispositivo utilizaremos en cada situación.
- Cómo leer las curvas características de cada dispositivo.

6.1. Introducción

6.1.1. La importancia de la protección en las instalaciones eléctricas

Como has ido viendo a lo largo de todas las unidades, actualmente las protecciones eléctricas constituyen una parte indispensable en cualquier instalación eléctrica.

Esto es debido a que las **protecciones eléctricas** tienen el objetivo de proteger a las personas, a las propias instalaciones y a todo lo que las rodea, de los efectos que pueda desencadenar un funcionamiento anómalo de una instalación o circuito eléctrico.

Siempre que ocurra cualquier anomalía, la función de una protección es la detección y rápido aislamiento de la parte afectada.

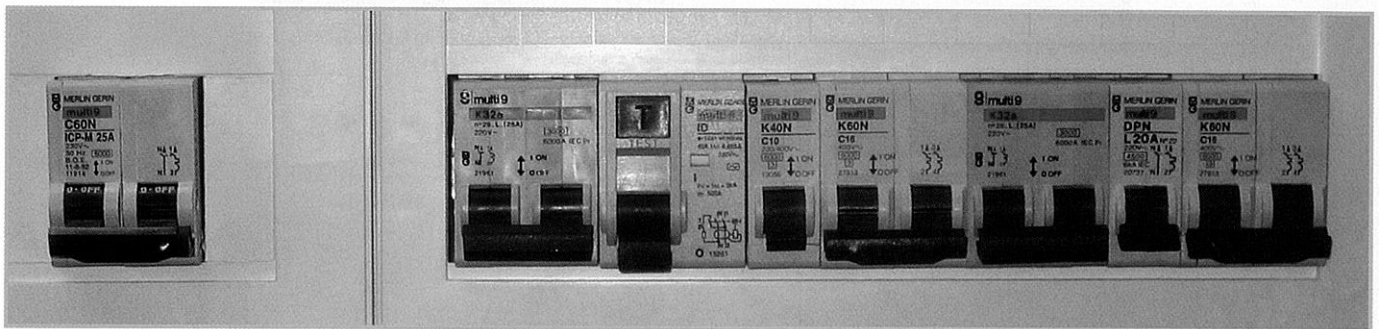


Fig. 6.1.
Las protecciones eléctricas tienen la misión de proteger a las personas y las instalaciones de los riesgos de la corriente eléctrica.

Efecto del paso de la corriente eléctrica en el cuerpo humano

Si uno de los objetivos de las protecciones eléctricas es el de proteger a las personas, es evidente que el estudio del paso de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano ha permitido desarrollar mecanismos de protección muy fiables. Dos son fundamentalmente los parámetros que indican el grado de peligrosidad:

- La intensidad de la corriente eléctrica.
- La duración del paso de la corriente eléctrica para un mismo trayecto.

La intensidad de la corriente eléctrica depende de la impedancia corporal. Las diferentes partes del cuerpo humano (la piel, la sangre, los músculos, otros tejidos y articulaciones) son partícipes de esa impedancia, que no es constante y que depende del trayecto, la duración de paso, la frecuencia de la corriente, la tensión de contacto, la humedad de la piel, la superficie de contacto y otras características fisiológicas de la persona accidentada.

A los efectos de la corriente eléctrica apreciables a 0,5 mA (cualquiera que sea su tiempo de paso) se les llama *umbral de percepción*. El *umbral de no soltar* (tetanización de los músculos o contracción que impide cualquier movimiento) se alcanza a partir de los 10 mA. Por encima de 25 mA se alcanza el *umbral de fibrilación ventricular*. La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual deja de enviar sangre a los distintos órganos y, aunque esté en movimiento, no sigue su ritmo normal de funcionamiento.

Choque eléctrico. Tipos de contactos eléctricos

Para que una persona sufra un choque eléctrico, su cuerpo debe conectarse entre dos puntos de diferente potencial eléctrico.

Los contactos eléctricos se pueden clasificar en *directos* e *indirectos*:

- El **contacto directo** se da cuando se entra en contacto con partes activas de la instalación o partes en tensión de los materiales eléctricos en servicio normal.
- El **contacto indirecto** se produce en una instalación con un defecto, cuando a través de una masa conductora, que por un fallo de aislamiento se somete a una tensión con respecto a tierra o a otras masas.

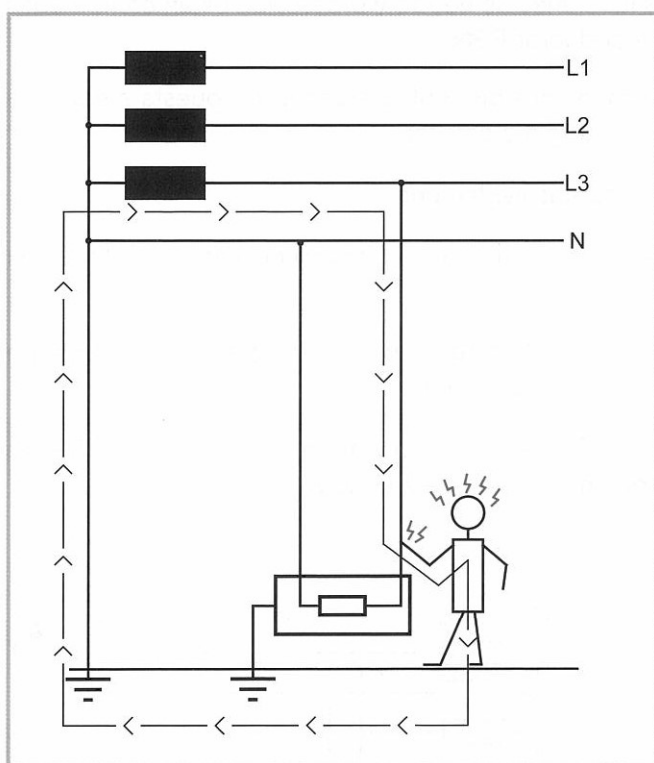


Fig. 6.2.
Contacto directo.

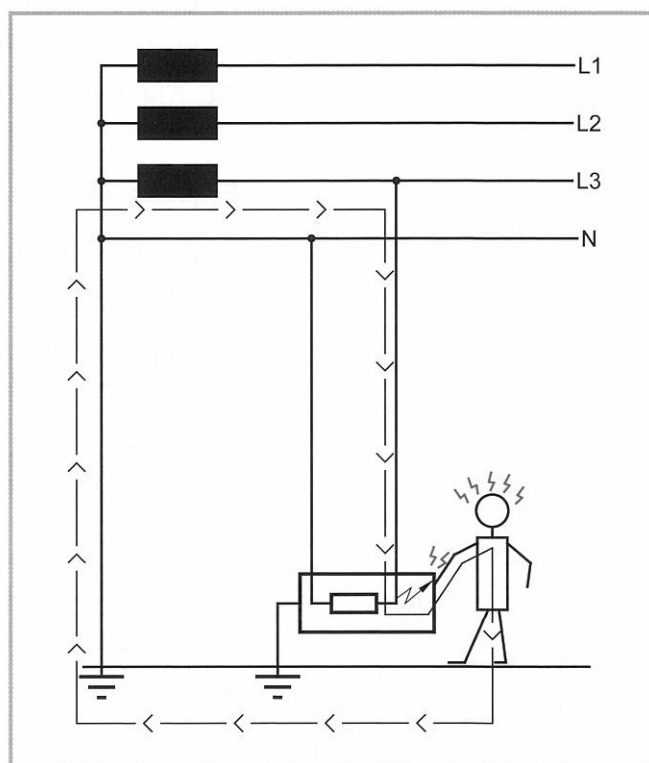


Fig. 6.3.
Contacto indirecto.

Puestas a tierra. Tipos de sistema de distribución

Las puestas a tierra son esenciales en los sistemas de protección contra contactos indirectos.

Una **puesta a tierra** es una conexión eléctrica directa, de masas de un circuito eléctrico o partes conductoras no pertenecientes al mismo, que permite el paso a tierra de las corrientes de defecto y las de descarga de origen atmosférico.

La protección contra los contactos indirectos está ligada por los diferentes modos de puesta a tierra de las redes de energía eléctrica y por la forma de conexión de las masas de la instalación. Para su identificación se utilizan dos letras:

- La primera indica el tipo de puesta a tierra de la red eléctrica y puede ser:
 - **T**, si existe una conexión directa con tierra.
 - **I**, si están aisladas las partes activas o están conectadas a través de una impedancia a tierra.

- La segunda indica la forma de conexión de las masas de la instalación y puede ser:
 - T**, cuando las masas están directamente conectadas a tierra.
 - N**, cuando las masas están directamente unidas al punto de alimentación puesto a tierra (normalmente el punto neutro).

Existen otras letras que indican la disposición del conductor del neutro y del conductor de protección y pueden ser:

- S**, para indicar que las funciones de protección (**PE**) están aseguradas por un conductor distinto del neutro (**N**) o desde el conductor de puesta a tierra (en sistema de corriente alterna, la fase a tierra).
- C**, para indicar que las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor (conductor **PEN**).

La ITC-BT-08 del REBT muestra los tres diferentes sistemas de puesta a tierra de las redes de distribución de la energía eléctrica:

- Esquema TN**, que a su vez se subdividen en:
 - Esquema TN-S.** El conductor de neutro y el de protección son distintos en todo el esquema.
 - Esquema TN-C.** Las funciones de neutro y protección están combinadas en un mismo conductor en todo el esquema.
 - Esquema TN-C-S.** Las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en una parte del esquema.

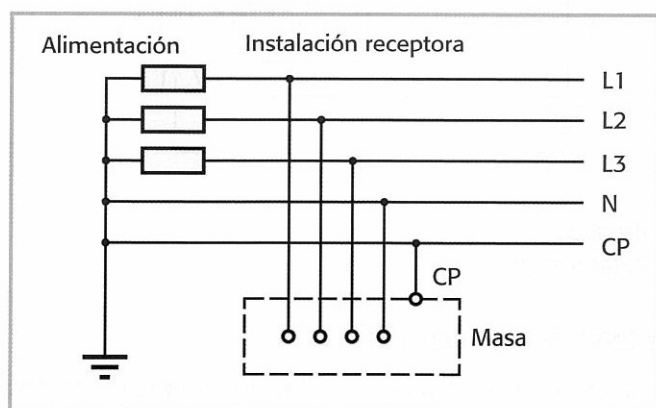


Fig. 6.4.
Esquema TN-S.

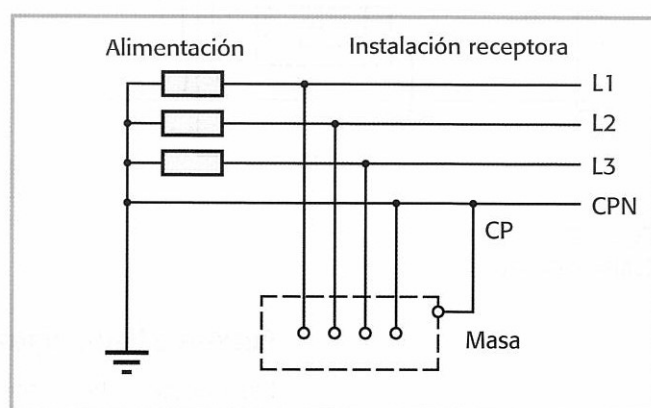


Fig. 6.5.
Esquema TN-C.

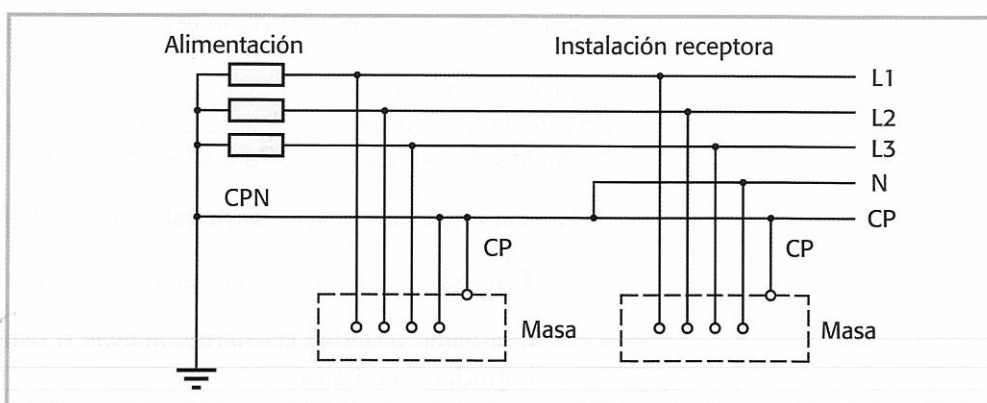


Fig. 6.6.
Esquema TN-C-S.

- **Esquema TT.** Tiene un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación.

Este es el sistema que se utiliza para las redes de distribución pública de baja tensión que tienen por prescripción reglamentaria un punto unido directamente a tierra. Este punto es el *punto neutro de la red*.

- **Esquema IT.** No tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra.

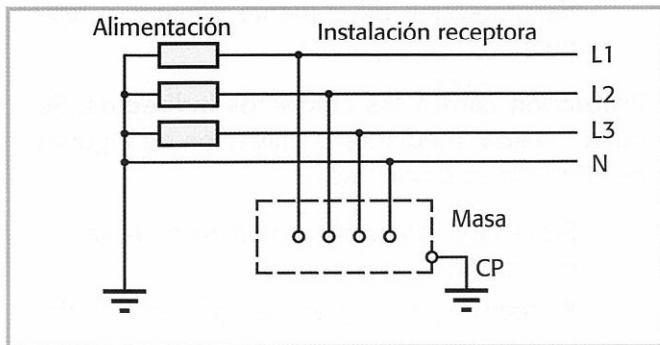


Fig. 6.7.
Esquema TT.

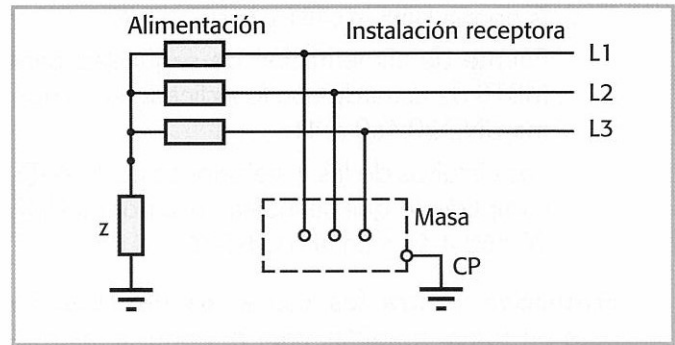


Fig. 6.8.
Esquema IT.

6.1.2. Necesidades de protección eléctrica

La protección eléctrica de las instalaciones debe estar diseñada para responder a las diferentes anomalías que se puedan producir en la instalación. Las más frecuentes son las que ocurren a causa de *sobreintensidades*, *sobretensiones* y los *contactos eléctricos*.

Protección contra las sobreintensidades

En los circuitos eléctricos pueden producirse dos tipos de sobreintensidades: *sobrecargas* y *cortocircuitos*.

- **Sobrecarga.** Se produce por un exceso de demanda de corriente (conectar más aparatos o por una avería de uno de ellos). La duración de la sobrecarga puede variar desde unos pocos segundos hasta horas e incluso días. Si no existe una protección adecuada, puede producirse la destrucción de la instalación por calor e incluso ocasionar un incendio en el lugar de la instalación.
- **Cortocircuito.** Se produce a consecuencia de un contacto accidental entre dos puntos de diferente potencial en una instalación. El valor de la corriente puede alcanzar hasta miles de veces la corriente asignada al circuito. La duración del mismo puede variar desde unos pocos milisegundos hasta 1 segundo. Al igual que ocurre en una sobrecarga, la protección defectuosa contra cortocircuitos puede provocar la destrucción del material empleado y ocasionar un incendio.

Protección contra las sobretensiones

El empleo de material eléctrico cada vez más sensible (ordenadores y otros aparatos electrónicos) ha obligado en los últimos años a la protección de los mismos de la caída de rayos, maniobras en las redes, etc. La duración de estos efectos es del orden de algunos microsegundos, lo cual implica que la protección utilizada debe tener un tiempo de respuesta de este orden.

Protección contra los contactos eléctricos

Las protecciones contra los contactos directos e indirectos se pueden dividir, atendiendo a la ITC-BT-023, de la manera que se adjunta en este cuadro. Un análisis pormenorizado de estas protecciones se explicó en la Unidad Didáctica nº5.

- **Protección conjunta contra contactos directos e indirectos.** Se realiza mediante la utilización de muy baja tensión de seguridad MBTS, que debe cumplir lo siguiente:

- Tensión nominal en el campo I de acuerdo a la norma UNE 20.481 y la ITC-BT-36.
- Fuente de alimentación de seguridad para MBTS de acuerdo con lo indicado en la norma UNE 20.460-4-41.
- Los circuitos de las instalaciones para MBTS cumplirán lo que se indica en la norma UNE 20.460-4-41 y en la ITC-BT-36.

- **Protección contra los contactos directos.** Se basa en tomar medidas para proteger a las personas contra los peligros de un contacto con partes activas de los materiales eléctricos. Se pueden clasificar en cinco tipos:

- Protección por aislamiento de las partes activas.
- Protección mediante obstáculos.

- Protección por posición fuera de alcance, por alejamiento.
- Protección mediante barreras o envolventes.
- Protección complementaria por dispositivos de protección de corriente diferencial residual.

- **Protección contra los contactos indirectos.** Se puede realizar mediante la utilización de algunas de las medidas siguientes:

- Protección por corte automático de la alimentación.
- 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.

6.1.3. Dispositivos de protección eléctrica

Una de las primeras protecciones utilizadas en un circuito fue la de colocar un trozo de hilo de menor sección que el cable utilizado. Si se producía un defecto, esta era la parte que se fundía, eliminando el defecto y protegiendo el resto del circuito (generadores, receptores y cables de conexión). A esta protección elemental se la conoce con el nombre de *fusible*.

Han pasado 125 años de la aparición de este primer dispositivo de protección, que aun sigue utilizándose, pero han aparecido otros muchos debido al gran desarrollo de la energía eléctrica durante el siglo xx. En esta unidad didáctica describiremos cuáles son estos dispositivos de protección, que enumeramos a continuación, así como sus características y aplicaciones:

- Fusibles.
- Interruptores magnetotérmicos (ICP, IGA y PIA).
- Interruptor diferencial.
- Limitador de sobretensiones.

Actividades

1. Describe diferentes situaciones en las que se pueda producir un contacto directo. Explica lo mismo para un contacto indirecto. Indica qué medidas de protección se pueden aplicar para evitarlos.
2. Explica cómo se puede producir un cortocircuito en una instalación y qué consecuencias puede tener. Explica lo mismo respecto a una sobrecarga.

6.2. Fusibles

6.2.1. Los fusibles y sus características

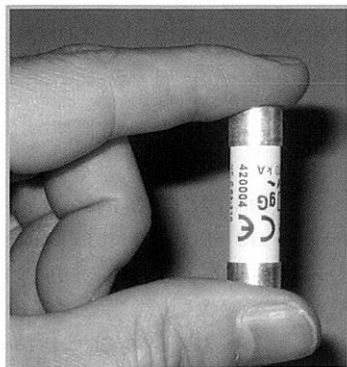


Fig. 6.9.
Fusible.

Como ya hemos visto, el fusible tiene una larga vida como dispositivo de protección. Alrededor de 1880, **Edison** solicitó la primera patente para un hilo fusible que servía como válvula de seguridad.

El **fusible** es un elemento de protección que se utiliza para proteger las instalaciones de las sobrecargas causadas por una sobrecarga o un cortocircuito.

Los fusibles ofrecen una combinación de características muy ventajosas:

- **La eliminación obligatoria del defecto antes de ponerse en marcha.** A diferencia de otros dispositivos de protección contra sobrecargas, los fusibles no pueden ser utilizados de nuevo, una vez que se han fundido, lo que obliga al usuario a identificar y corregir las causas del defecto antes de volver a utilizar un fusible nuevo y conectar el circuito.
- **Un funcionamiento seguro y silencioso.** Los fusibles no emiten gases, llamas, arcos u otros materiales cuando eliminan las corrientes de cortocircuito más elevadas. Además, la gran velocidad de funcionamiento para las corrientes de cortocircuito elevadas limita significativamente el peligro del arco eléctrico.
- **Un elevado poder de corte asignado.** Capaz de detectar, soportar y eliminar corrientes de cortocircuito de hasta 120 kA o más.

6.2.2. Componentes de un fusible

Un fusible está compuesto de: *cartucho fusible*, *base fusible* y *portafusible* o *empuñadora* (si es necesario).

El cartucho fusible

La *figura 6.10.* muestra el diseño de un cartucho fusible cilíndrico característico de baja tensión para aplicaciones industriales. Las partes principales de un cartucho fusible son:

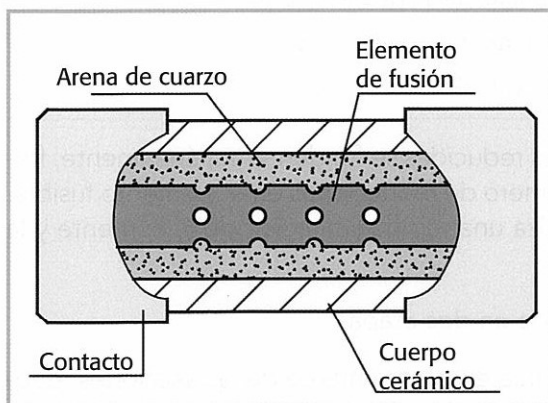


Fig. 6.10.
Cartucho fusible
cilíndrico.

- **El cuerpo del fusible.** Es el armazón o esqueleto que permite el montaje y posicionado del elemento de fusión. El material más empleado es la cerámica.
- **El material de relleno.** Se utiliza normalmente arena de cuarzo, como medio para apagar el arco y evacuar el calor del elemento de fusión al exterior.
- **Los contactos del cartucho fusible.** Los contactos permiten una conexión eléctrica entre el cartucho fusible y las bases fusibles o portafusibles. Los contactos son de cobre o aleaciones de cobre y normalmente están protegidos contra la corrosión ambiental mediante un recubrimiento de plata.
- **El elemento de fusión.** El elemento fusible está usualmente constituido por una cinta de plata o de cobre, con estrechamientos en su sección transversal. Estas reducciones de sección son una de las características importantes en el diseño de un fusible. Los puntos de soldadura añadidos en el elemento fusible son para asegurar el funcionamiento del fusible en el caso de sobrecargas.

- **Indicador de fusión y percutor.** Algunos cartuchos fusibles están equipados con indicadores para permitir un conocimiento rápido del funcionamiento del cartucho fusible o de percutores que, además, proporcionan una actuación mecánica.

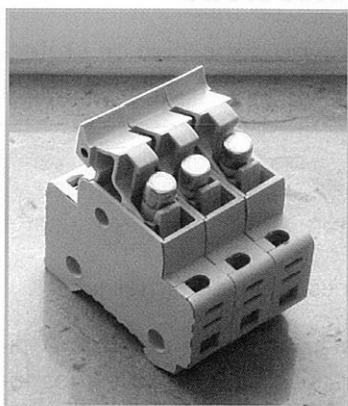


Fig. 6.11.
Portafusible.

La base fusible

La base fusible se compone de los contactos para el cartucho fusible, los bornes de conexión para los cables o las pletinas y el cuerpo o carcasa aislante.

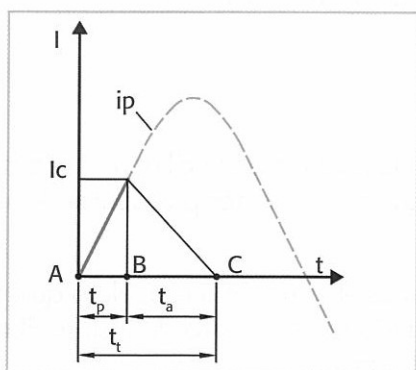
Portafusible o empuñadora

El portafusible o la empuñadora, donde se utilicen, permiten cambiar los cartuchos fusibles en un sistema bajo tensión según las reglas de seguridad especificadas. Están hechos de material aislante y sometidos a los ensayos requeridos para las herramientas de seguridad. En algunos sistemas, los portafusibles están integrados en la base fusible, eliminando la necesidad de utilizar una empuñadora.

6.2.3. Funcionamiento de un fusible

Cuando la corriente que circula a través de un fusible excede el valor permitido, el elemento de fusión se funde y se evapora (parcialmente), provocando un fuerte aumento de la temperatura (de varios miles de grados) y la interrupción de la corriente.

La función de la arena de cuarzo es absorber la energía de arco cuando se produce una sobrecarga o un cortocircuito y, además, permite una mejor y más rápida evacuación del calor generado en el elemento de fusión en condiciones de sobrecarga.



- t_p = tiempo de prearco
- t_a = tiempo de arco
- t_t = tiempo total de funcionamiento
- I_c = corriente cortada
- i_p = corriente prevista (en ausencia de fusible)
- A: instante del inicio del defecto
- B: instante del inicio del arco
- C: instante del fin del arco

Fig. 6.12.
Curva de funcionamiento
de un fusible.

Durante un cortocircuito las secciones reducidas se funden simultáneamente, formando una serie de arcos igual al número de reducciones en el elemento fusible. La tensión de arco resultante garantiza una rápida limitación de la corriente y la restablece a cero.

El funcionamiento del fusible se divide en dos etapas:

- **La etapa de prearco (t_p).** Se produce el calentamiento de las secciones reducidas hasta el punto de fusión y vaporización del material.
- **La etapa de arco (t_a).** El arco comienza y después es extinguido por el material de relleno (arena de cuarzo).

Las dos etapas dan el **tiempo total de funcionamiento (t_t)** = (t_p + t_a).

Definición de las principales características técnicas

Para una mayor facilidad y comprensión de las características de los fusibles se enumeran las definiciones que más se utilizan:

- **Tensión asignada (tensión nominal, U_n).** Valor máximo de tensión para el cual el fusible está diseñado. En alterna es el valor eficaz.
- **Corriente asignada (corriente nominal) de un cartucho fusible (I_n).** Valor de la corriente que el cartucho fusible es capaz de soportar de manera continuada sin deteriorarse y sin sobrecalentarse, en unas determinadas condiciones de uso normalizadas.
- **Tiempo de prearco (t_p).** Tiempo que transcurre desde el instante en que empieza a circular una corriente suficiente para fundir el elemento o elementos de fusión, hasta el instante en que comienza a formarse el arco.
- **Tiempo de arco (t_a).** Tiempo que transcurre desde el inicio del arco hasta el momento de extinción final del mismo.
- **Tiempo total de funcionamiento (t_f).** Suma del tiempo de prearco y del tiempo de arco.
- **Intensidad convencional de no fusión (I_{nf}).** Valor especificado de la corriente que el cartucho puede soportar durante un tiempo determinado (tiempo convencional) sin fundir.
- **Intensidad convencional de fusión (I_f).** Valor especificado de la corriente que provoca la fusión del cartucho fusible en un tiempo determinado (tiempo convencional).
- **Potencia disipada por un cartucho fusible (P_d).** Potencia liberada en un cartucho fusible cuando circula su corriente asignada y ha alcanzado su temperatura de régimen, en determinadas condiciones de uso normalizadas.
- **Característica t/I .** Curva que indica el tiempo de prearco o el tiempo de funcionamiento, en función de la corriente prevista para determinadas condiciones de funcionamiento. Para tiempos mayores a 100 ms la diferencia entre el tiempo de prearco y el tiempo de funcionamiento es despreciable.
- **Corriente prevista en un circuito (I_p).** Corriente que circularía por el circuito si el fusible en él instalado fuese sustituido por una conexión de impedancia (resistencia) despreciable.
- **Energía específica pasante (I^2t).** Es la máxima energía que deja pasar el fusible al eliminar un defecto. Si el valor de esta energía es superior al que soporta el receptor al que protege, se produce la destrucción térmica del mismo.
- **Característica I^2t .** Indica los valores de energía específica pasante I^2t (I^2t de prearco y/o de funcionamiento) en función de la corriente de cortocircuito prevista en un fusible.
- **Corriente cortada (I_c).** Valor máximo instantáneo alcanzado por la corriente durante el funcionamiento de un cartucho fusible, cuando éste actúa impidiendo que la corriente alcance el valor máximo al que llegaría en ausencia del fusible.
- **Característica de limitación.** Curva que indica la corriente cortada (I_c) en función de la corriente prevista (I_p), en determinadas condiciones de funcionamiento.
- **Poder de corte I_l (kA).** Valor (eficaz en corriente alterna) de la corriente prevista (I_p), que un cartucho es capaz de interrumpir bajo una tensión especificada y en las condiciones determinadas de empleo y funcionamiento.
- **Balizas.** Valores límite en el interior de los cuales deben encontrarse las características, por ejemplo, las características tiempo/corriente. Cada tipo de fusible tiene una serie de balizas que delimitan la zona de funcionamiento del mismo para que cumpla lo especificado en la norma para su fabricación.

6.2.4. Elección y tipos de fusibles

La mayoría de fabricantes de fusibles poseen un departamento para ayudar a la elección de la protección adecuada para cada tipo de aplicación, aunque la mayoría de veces no es necesario recurrir a esta solución.

Por lo general, los catálogos de los fabricantes nos dan unas condiciones de ensayo tipificadas, que se adaptan a la mayoría de aplicaciones que nos podemos encontrar y que enumeramos a continuación:

- Temperatura ambiente entre -5 y $+40$ °C.
- Corriente alterna de frecuencia $f = 50$ Hz.
- Secciones de los conductores utilizados en el conexionado según las normas vigentes.
- Ventilación natural.

La elección del fusible se complementa con las siguientes condiciones:

- La tensión asignada (U_n) del fusible ha de ser igual o mayor que la tensión nominal de la aplicación.
- La intensidad asignada (I_n) del fusible ha de ser igual o mayor que la intensidad nominal de la aplicación.
- El poder de corte asignado (I_1) al fusible ha de ser igual o mayor que la intensidad de cortocircuito prevista en el circuito de la aplicación.

Tabla. 6.1. Corrientes y tiempos convencionales para los cartuchos fusibles tipo gG

Calibre I_n (A)	Fusible tipo gG		
	I_{nf}	I_f	t
$I_n < 4$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
$4 \leq I_n < 16$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$16 \leq I_n \leq 63$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1 h
$63 < I_n \leq 160$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$160 < I_n \leq 400$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3 h
$400 < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	4 h

De todas maneras, en la mayoría de los casos, el tipo de fusible se elige además dependiendo de los receptores a proteger. Los tipos más utilizados se clasifican de la manera siguiente:

- **Tipo gG.** *Fusibles de uso general* (protección de conductores). Es un cartucho limitador de la corriente que, bajo las condiciones especificadas, es capaz de cortar todas las corrientes que provoquen la fusión del elemento fusible hasta su poder de corte asignado I_1 (se marcan las características técnicas en el cuerpo del fusible en color negro).
- **Tipo aM.** *Fusibles de acompañamiento de motor.* Es un cartucho limitador de la corriente que, bajo las condiciones especificadas, es capaz de cortar todas las corrientes comprendidas entre el valor mínimo de la corriente, indicado en su característica tiempo/corriente, y su poder de corte asignado (I_1). Estos fusibles deben ir necesariamente asociados a dispositivos de protección térmica contra sobrecargas, como por ejemplo un relé térmico (se marcan las características técnicas en el cuerpo del fusible en color verde).

Tabla. 6.2. Corrientes y tiempos convencionales para los cartuchos fusibles tipo aM

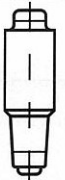
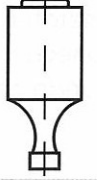
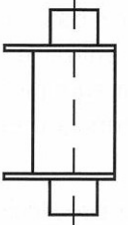
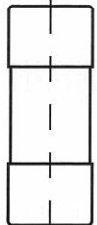
Balizas	$4 I_n$	$6,3 I_n$	$8 I_n$	$10 I_n$	$12,5 I_n$	$19 I_n$
$t_{\text{funcionamiento}}$	---	60 s	---	---	0,5 s	0,10 s
t_{prearco}	60 s	---	0,5 s	0,2 s	---	---

- **Tipo gB.** *Fusibles para la protección de líneas muy largas.* Fusible de uso general para las instalaciones mineras, donde los cables son muy largos. Actúa en un tiempo corto evitando un calentamiento excesivo del cable.
- **Tipo aD.** *Fusibles de acompañamiento de disyuntor.* Fusible que necesariamente tiene que ir acompañado de un disyuntor para una correcta protección. Previsto para funcionar normalmente entre el poder de corte nominal del disyuntor y el poder de corte asignado (I_1) al fusible.
- **Tipo aR y gR.** Fusibles de protección de semiconductores.
- **Tipo gD y gN.** Fusibles de protección de conductores utilizados en América del Norte.
- **Tipo gL, gF, gI y gII.** Tipos de fusibles antiguos para la protección de conductores (sustituídos por el tipo gG).

Además debemos tener en cuenta los diferentes tamaños constructivos de fusibles que existen, como por ejemplo los cilíndricos, los de cuchilla (NH), los de botella (Neozed), etc.

En la *Tabla 6.3* se indica abreviadamente una clasificación atendiendo a los tipos y tamaños de los fusibles.

Tabla. 6.3. Cuadro abreviado de los tipos y tamaños de fusibles

Forma exterior	Tipo	Talla	Rango intensidad asignada (A)	Tensión asignada (V)	Poder de corte (kA)
	DO	DO1	2 – 16	400	50
		DO2	20 – 63		
		DO3	80 – 100		
	D	DII	2 – 25	500	50
		DIII	35 – 63		
		DIV	80 – 100		
	NH De cuchilla	000 / 00	6 – 100 / 6 – 160	400 / 500 / 690	80 / 120
		0	6 – 160		
		1	80 – 250		
		2	125 – 400		
		3	315 – 630		
		4	500 – 1000		
		4A	500 – 1250		
	Cilíndricos	8 × 31	2 – 20	400 / 500 / 690	80 / 120
		10 × 38	2 – 25 / 32		
		14 × 51	16 – 40 / 50		
		22 × 58	32 – 100 / 125		

Actividades

- Consulta un catálogo de un fabricante de fusibles y elige un cartucho fusible para enumerar las características técnicas marcadas sobre el mismo (*tensión asignada, intensidad asignada, tamaño, tipo, poder de corte*, etc.). Explica qué significa cada una de ellas para este cartucho fusible en particular.
- Desmontad un fusible (por ejemplo de cuchilla) e identificad cada una de las piezas que lo componen.
- Entre toda la clase proveeros de fusibles de diferentes tipos y tamaños. Analizad cada uno y completad la tabla siguiente:

Tamaño del fusible	Tipo de fusible	Tensión asignada U_n (V)	Intensidad asignada I_n (A)	Poder de corte I_1 (kA)	Color del marcado	Normas	Aplicación

6.3. Interruptores magnetotérmicos

6.3.1. Los interruptores magnetotérmicos y sus características

El **interruptor magnetotérmico** es un dispositivo de tipo mecánico capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones anormales (sobrecarga y cortocircuito).

En comparación con los fusibles, los interruptores magnetotérmicos tienen la ventaja de que no hay que sustituirlos, cuando se desconectan al aparecer un defecto. Una vez eliminado, se rearman y la instalación puede continuar en funcionamiento.

En un cuadro de mando y protección de la vivienda recuerda que existen tres tipos de interruptores magnetotérmicos (dependiendo de su aplicación) llamados: ICP, IGA y PIA.

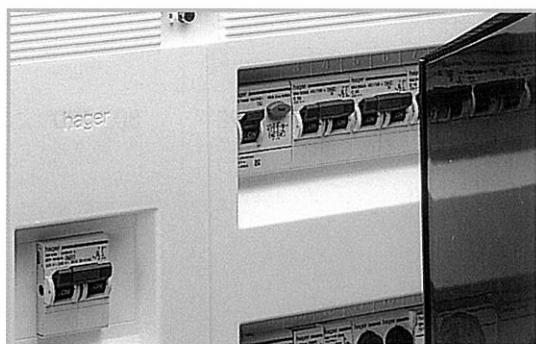


Fig. 6.13.
Interruptores magnetotérmicos en una instalación de interiores.

- **ICP.** Se utiliza como elemento de control para limitar la potencia instantánea máxima que se puede utilizar en una vivienda. Es propiedad de la compañía eléctrica suministradora y la intensidad asignada depende de la potencia contratada por el usuario.
- **IGA.** Es utilizado como interruptor de protección general de todos los circuitos de la instalación de la vivienda.
- **PIA.** Protegen a cada uno de los circuitos interiores de la instalación de la vivienda.

6.3.2. Componentes de un interruptor magnetotérmico

Las partes principales de un interruptor magnetotérmico son las siguientes:

- **Cuerpo o carcasa de plástico.** Está formado por dos medios cuerpos (de material plástico) que permiten el alojamiento de todas las piezas que conforman este dispositivo.
- **Bornes de conexión.** Hay dos bornes de conexión, uno de entrada y otro de salida, que permiten la conexión en el circuito a proteger.
- **Palanca de rearme.** Permite la conexión y la desconexión del interruptor magnetotérmico manualmente o volver a cerrar el interruptor después de que se haya producido un disparo.
- **Contactos (fijo + móvil).** El contacto móvil realiza la conexión y la desconexión, sobre el contacto fijo, ya sea, por un defecto eléctrico (sobrecarga o cortocircuito) o por una manipulación manual. El material más empleado es la plata (Ag), generalmente aleada con cadmio (Cd) o con wolframio (W) que aumentan su tiempo de vida.
- **Bobina de desconexión magnética.** Está formada por una bobina realizada con hilo de cobre aislado, con un número de espiras determinado y en su interior se encuentra un cilindro de acero que realiza la función de percutor, golpeando el contacto móvil, para permitir su apertura.

- **Bimetal de desconexión térmica.** Se compone de una lámina bimetálica, formada por dos metales de diferente punto de dilatación lineal, que se deforma al paso de la corriente eléctrica y en determinadas condiciones de paso de corriente permite la desconexión del contacto móvil.
- **Cámara apagachispas.** Está formada por una serie de láminas de acero, una al lado de la otra, de un espesor de aproximadamente 0,8 mm y separadas 1 mm que permiten dividir el arco en varios arcos más pequeños y facilita la eliminación más rápida de un cortocircuito.

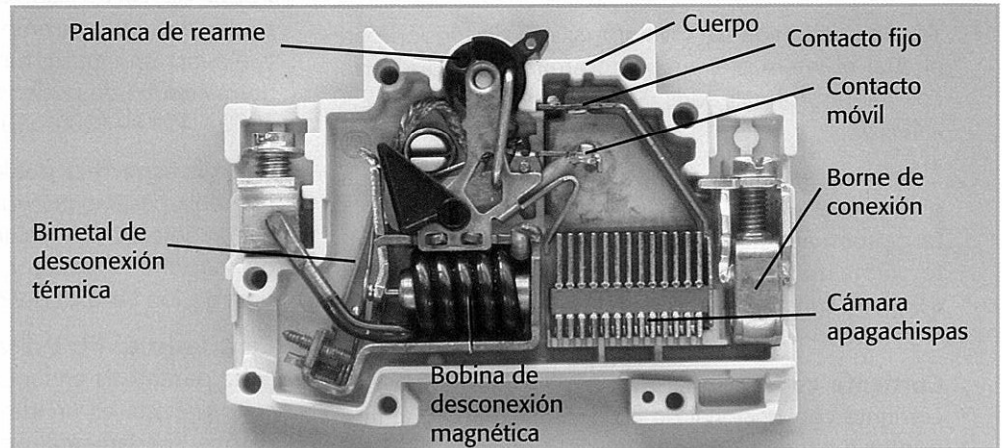


Fig. 6.14.
Interruptor magnetotérmico.

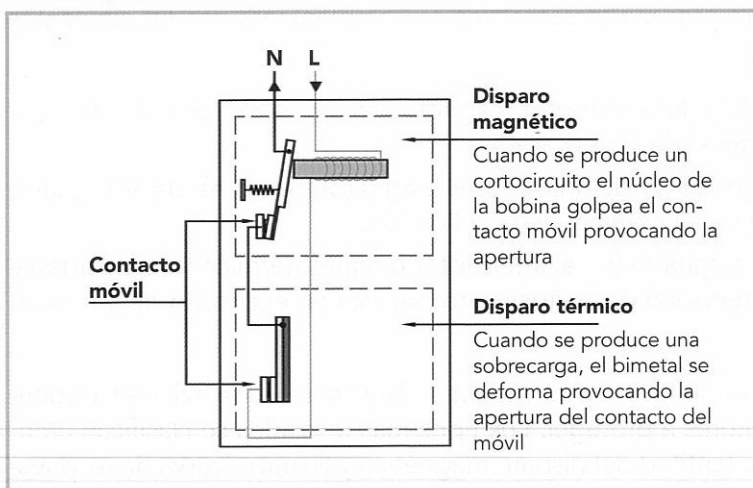
6.3.3. Funcionamiento de un interruptor magnetotérmico

Como su nombre indica, dispone de dos mecanismos diferenciados, uno *magnético* (rápido) y otro *térmico* (lento).

- **El mecanismo magnético** está formado por una bobina de varias espiras de hilo de cobre aislado, en cuyo núcleo interior se encuentra alojado un cilindro de acero.

Cuando se produce un cortocircuito, se crea un gran campo magnético que provoca una fuerza que tiende a desplazar el cilindro de acero hacia el exterior que golpea el contacto móvil y provoca la apertura del circuito. El mayor o menor número de espiras determina la rapidez o la lentitud de este mecanismo. El tiempo de desconexión puede ser del orden de milisegundos para corrientes muy elevadas de cortocircuito.

Fig. 6.15.
Esquema de funcionamiento de un magnetotérmico.



- **El mecanismo térmico** se compone de una tira o lámina, también llamada bimetal (unión de dos metales de diferente coeficiente de dilatación lineal). Cuando se produce una sobrecarga, el bimetal se calienta por el paso de la corriente eléctrica y se deforma hasta accionar un gatillo que libera el contacto móvil y provoca la apertura del circuito.

La rapidez o lentitud de la desconexión es inversamente proporcional a la corriente que circula. Para corrientes elevadas el tiempo de desconexión es de algunos segundos, mientras que para corrientes más pequeñas puede alcanzar hasta varias horas.

Definición de las principales características técnicas

Para una mayor facilidad y comprensión de las características de los interruptores magnetotérmicos se enumeran las definiciones que más se utilizan.

- **Número de polos.** Atendiendo al número de polos, los interruptores magnetotérmicos se clasifican en unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares.
- **Tensión asignada (U_n).** Valor máximo de tensión para el cual el interruptor magnetotérmico está diseñado. Los valores normalizados de tensión asignada son: 230 – 400 V.
- **Corriente asignada (I_n).** Valor máximo de corriente que puede soportar en servicio ininterrumpido un interruptor magnetotérmico, a una temperatura ambiente normalizada. Los valores normalizados de corriente asignada son: 6 – 10 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100 – 125 A.
- **Corriente convencional de no desconexión (I_{nt}).** La corriente convencional de no desconexión en un interruptor magnetotérmico es de 1,13 veces la corriente asignada $I_{nt} = 1,13 I_n$.
- **Corriente convencional de desconexión (I_d).** La corriente convencional de desconexión en un interruptor magnetotérmico es de 1,45 veces la corriente asignada $I_d = 1,45 I_n$.
- **Corriente de disparo instantáneo.** Indica los límites de disparo magnético para cada una de las curvas de los interruptores magnetotérmicos.
- **Poder de corte asignado (I_{cn}).** Es el valor eficaz del poder de corte máximo que es capaz de interrumpir y eliminar un interruptor magnetotérmico. Los valores normalizados de poder de corte asignado son: 1500 – 3000 – 4500 – 6000 – 10000 A.
- **Energía específica pasante (I^2t).** Es la máxima energía que deja pasar el interruptor magnetotérmico al eliminar un defecto. Si el valor de esta energía es superior al que soporta el receptor al que protege, se produce la destrucción térmica del mismo.
- **Característica I^2t :** Indica los valores de energía específica pasante I^2t en función de la corriente de cortocircuito prevista en un interruptor magnetotérmico. Este dato es fundamental para el diseñador de las instalaciones, para realizar una correcta selectividad entre las protecciones.

6.3.4. Elección y tipos de interruptores magnetotérmicos

Por lo general, los catálogos de los fabricantes nos dan unas condiciones de ensayo tipificadas, que se adaptan a la mayoría de aplicaciones que nos podemos encontrar y que enumeramos a continuación:

- Temperatura ambiente entre -5 y $+40$ °C.
- Corriente alterna de frecuencia $f = 50$ Hz.
- Secciones de los conductores utilizados en el conexionado según las normas vigentes.
- Ventilación natural.

La elección del interruptor magnetotérmico se complementa con las siguientes condiciones:

- Tensión asignada (U_n) del interruptor magnetotérmico ha de ser igual o mayor que la tensión nominal de la aplicación.
- La intensidad asignada (I_n) del interruptor magnetotérmico ha de ser igual o mayor que la intensidad nominal de la aplicación.
- El poder de corte asignado (I_{cn}) al interruptor magnetotérmico ha de ser igual o mayor que la intensidad de cortocircuito prevista en el circuito de la aplicación.

Generalmente el tipo de interruptor magnetotérmico se elige además dependiendo de los receptores a proteger. Los tipos más utilizados se clasifican atendiendo a la rapidez o lentitud del disparo magnético y térmico (curva de respuesta) y se clasifican en:

- **Curva B.** Se utilizan en el sector doméstico residencial. El disparo térmico es lento y el disparo magnético es rápido.
- **Curva C.** Se utilizan en el sector terciario-industrial en edificios e industrias. El disparo térmico es lento y el disparo magnético es medio.
- **Curva D.** Se utilizan en el sector terciario-industrial en edificios e industrias, en especial para la protección de motores con arranques muy exigentes y de larga duración. El disparo térmico es lento y el disparo magnético es muy lento.
- **Curva K.** Protección de motores. El disparo térmico es rápido y el disparo magnético es lento.
- **Curva Z.** Protección de equipos informáticos y electrónicos. El disparo térmico es rápido y el disparo magnético es rápido.
- **Curva ICP-M.** Es un interruptor magnetotérmico que utilizan las compañías eléctricas para realizar un control de la potencia consumida. Se le conoce como interruptor de control potencia de rearme manual.
- **Curva U.** Protección de motores y receptores en general, actualmente se ha sustituido por los interruptores magnetotérmicos curva C.
- **Curva L.** Protección de cables, actualmente se ha sustituido por los interruptores magnetotérmicos de curva B.

Tabla. 6.4. Cuadro abreviado de los tipos de interruptores magnetotérmicos más utilizados

Tipo curva	Balizas disparo térmico	Balizas disparo magnético	Curva
B	<p>Limitado hasta $3 I_n$</p> <p>$2,55 I_n: t < 60 \text{ s } (I_n \leq 32 \text{ A})$</p> <p>$2,55 I_n: t < 120 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$</p> <p>$2,55 I_n: t > 1 \text{ s}$</p>	<p>Situado entre $3 I_n$ y $5 I_n$</p> <p>$3 I_n: 0,1 < t < 45 \text{ s } (I_n \leq 32 \text{ A})$</p> <p>$3 I_n: 0,1 < t < 90 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$</p> <p>$5 I_n: t < 0,1 \text{ s}$</p>	
C	<p>Limitado hasta $5 I_n$</p> <p>$2,55 I_n: t < 60 \text{ s } (I_n \leq 32 \text{ A})$</p> <p>$2,55 I_n: t < 120 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$</p> <p>$2,55 I_n: t > 1 \text{ s}$</p>	<p>Situado entre $5 I_n$ y $10 I_n$</p> <p>$5 I_n: 0,1 < t < 15 \text{ s } (I_n \leq 32 \text{ A})$</p> <p>$5 I_n: 0,1 < t < 30 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$</p> <p>$10 I_n: t < 0,1 \text{ s}$</p>	
D	<p>Limitado hasta $10 I_n$</p> <p>$2,55 I_n: t < 60 \text{ s } (I_n \leq 32 \text{ A})$</p> <p>$2,55 I_n: t < 120 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$</p> <p>$2,55 I_n: t > 1 \text{ s}$</p>	<p>Situado entre $10 I_n$ y $20 I_n$</p> <p>$10 I_n: 0,1 < t < 4 \text{ s } (I_n \leq 32 \text{ A})$</p> <p>$10 I_n: 0,1 < t < 8 \text{ s } (I_n > 32 \text{ A})$</p> <p>$20 I_n: t < 0,1 \text{ s}$</p>	
ICP-M	<p>Limitado hasta $5 I_n$</p> <p>$2,48 I_n: t < 60 \text{ s } (I_n \leq 30 \text{ A})$</p> <p>$2,48 I_n: t < 120 \text{ s } (I_n > 30 \text{ A})$</p> <p>$2,48 I_n: t > 1 \text{ s}$</p>	<p>Situado entre $5 I_n$ y $8 I_n$</p> <p>$5 I_n: t > 0,1 \text{ s}$</p> <p>$8 I_n: t < 0,1 \text{ s}$</p>	

Ejemplo 1. Interpretación de las curvas características

Esta actividad nos ayudará a interpretar las curvas características más empleadas, especialmente para los fusibles y los interruptores magnetotérmicos. Nos permitirán un mayor conocimiento del funcionamiento de los mismos y poder evaluar cuáles son sus límites de protección. El estudio incluye 4 tipos de curvas, que son:

Curva característica t / I

Un fusible (también se puede aplicar a los interruptores magnetotérmicos) debe actuar cuando la corriente que lo atraviesa supera un valor dado y dentro de unos límites de tiempo. Cuanto mayor es la corriente de defecto mayores son los daños que puede causar a la instalación y menor es el tiempo permitido para que circule por el circuito. La característica t/I es una gráfica que muestra el tiempo de prearco en función de la corriente prevista. Se representa sobre papel de escala logarítmica.

Para obtener información de estas gráficas se puede proceder como sigue: (fig. 6.16)

- Si seleccionamos un fusible tipo gG de una $I_n = 10$ A y queremos saber cuánto tiempo tardará en fundir con una corriente de $I = 20$ A, debemos buscar en el eje de abscisas la corriente $I = 20$ A (punto A) y con una línea perpendicular a este eje hay que encontrar la curva del fusible de $I_n = 10$ A (punto B), posteriormente trazamos una línea hasta el eje de ordenadas donde obtendremos el tiempo de prearco (punto C) $t_p = 200$ s.
- Si seleccionamos un fusible tipo gG de una $I_n = 63$ A y queremos conocer con qué intensidad fundirá en un tiempo de 4 s, debemos buscar en el eje de ordenadas el tiempo (punto D). Con una línea perpendicular a este eje hay que encontrar la curva de dicho fusible (punto E). Finalmente trazamos una línea hasta el eje de abscisas para obtener la corriente que buscamos (punto F) $I = 300$ A.

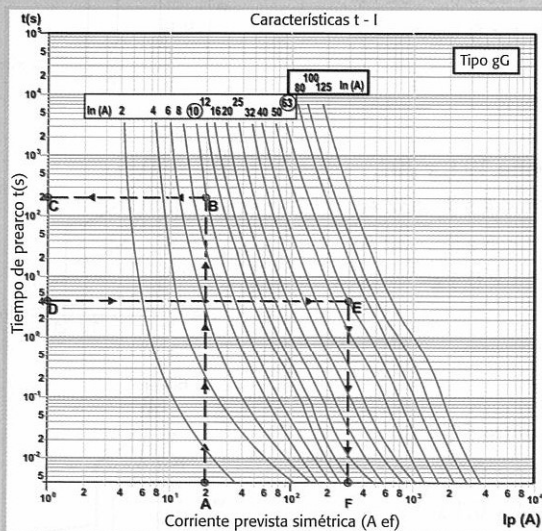


Fig. 6.16. Característica t/I . Tipo gG.

Curva característica de limitación

Un fusible (también se puede aplicar a los interruptores magnetotérmicos) tiene la característica de evitar que la corriente alcance el valor de cresta de la corriente prevista. Esta corriente limitada es de un valor muy similar al valor de la corriente que circula por el fusible cuando comienza el arco.

Para obtener información de estas gráficas se puede proceder como sigue: (fig. 6.17)

- Si hemos seleccionado un fusible tipo gG de una $I_n = 25$ A y queremos saber cuál será el valor de la corriente máxima (I_c) que alcanzará el circuito en caso de un cortocircuito de intensidad prevista $I_p = 10$ kA, debemos buscar en el eje de abscisas la corriente prevista $I_p = 10$ kA (punto A) y con una línea perpendicular encontrar la curva del fusible de $I_n = 25$ A (punto B). Posteriormente trazamos una línea hasta el eje de ordenadas donde obtendremos el valor máximo que alcanzará la corriente cortada en el circuito protegido con ese fusible (punto C) $I_c = 2$ kA. La corriente que alcanzaría el circuito con ausencia de fusible sería de 25 kA (puntos D-E).

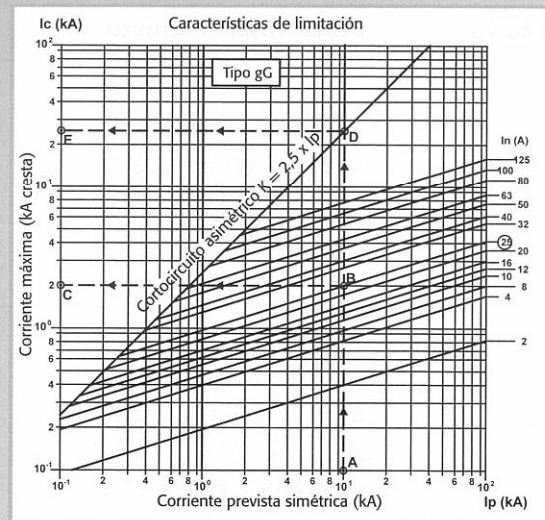


Fig. 6.17. Característica de limitación. Tipo gG.

La importancia de limitar la corriente máxima o de pico en la protección de circuitos se debe a que las fuerzas electromecánicas si son muy elevadas pueden originar la destrucción o rotura del aparato.

Curva característica I^2t

Las características I^2t muestran los valores de I^2t de prearco (mínimo) y de funcionamiento (máximo) en función de la intensidad asignada a cada fusible (también se puede aplicar a los interruptores magnetotérmicos). Los valores son obtenidos en las condiciones de ensayo más severas que las que se dan en la práctica (fig. 6.18)

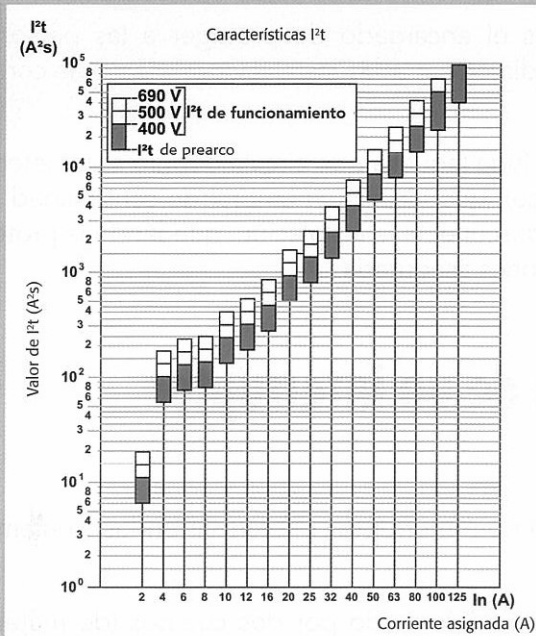


Fig. 6.18. Característica I^2t .

La I^2t determina la energía térmica del cortocircuito generada en el circuito que protege. El calor liberado en el circuito se puede calcular multiplicando la resistencia (Ω) por la I^2t (A^2s). Por ejemplo: Un circuito con un cable de resistencia $0,05 \Omega$ protegido por un fusible que permite una I^2t de $1000 A^2s$. Cuando se produzca un defecto, el fusible liberará solamente una energía de $1000 \times 0,05 = 50$ julios en el cable. De este ejemplo se deduce que el fusible es un dispositivo muy efectivo para limitar los daños térmicos, incluso para elevadas corrientes de cortocircuito.

Selectividad

La selectividad entre dispositivos de protección tiene lugar cuando al producirse una corriente de defecto sólo funciona el dispositivo más próximo al fallo y que es el que está protegiendo el circuito donde aparece el defecto.

Selectividad: $C2 > A1 + C1$

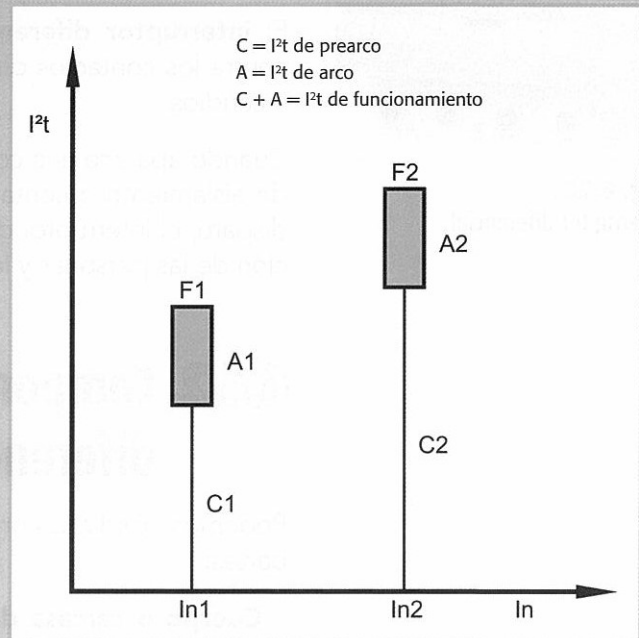


Fig. 6.19. Selectividad.

La selectividad entre fusibles (también se puede aplicar a los interruptores magnetotérmicos) se verifica siempre que la I^2t de funcionamiento del fusible F1 es inferior a la I^2t de prearco del fusible F2 (Fig. 6.19.). Cuando la corriente de defecto provoca que el tiempo de funcionamiento del fusible sea superior a 10 ms, el tiempo de arco será despreciable frente al tiempo de prearco. En este caso la selectividad se verificará comparando las I^2t de prearco, así como la característica t/I del fusible de mayor calibre que debe estar a la derecha de la característica t/I del fusible de menor calibre.

Actividades

6. Construye una tabla indicando las ventajas e inconvenientes de los interruptores magnetotérmicos con respecto a los fusibles.
7. Desmonta un interruptor magnetotérmico e identifica cada una de las piezas que lo componen.
8. Utilizando las curvas t/I y las características de limitación del ejemplo 1, realiza los cálculos siguientes:
 - a) Determina el tiempo de prearco para un fusible tipo gG de $I_n = 25 A$ cuando es atravesado por una corriente $I = 200 A$.
 - b) Determina la corriente I que tiene que circular para un fusible tipo gG de $I_n = 40 A$, para que el tiempo de prearco $t_p = 50 s$.
 - c) Determina la corriente cortada I_c para un fusible tipo gG de $I_n = 40 A$ para un cortocircuito de intensidad prevista $I_p = 50 kA$.
 - d) Determina la corriente cortada I_c para un fusible tipo gG de $I_n = 80 A$ para un cortocircuito de intensidad prevista $I_p = 20 kA$.

6.4. Interruptor diferencial

6.4.1. El interruptor diferencial y sus características

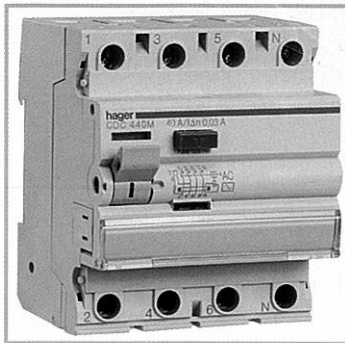


Fig. 6.20.
Interruptor diferencial.

El **interruptor diferencial** (ID) es el encargado de proteger a las personas contra los contactos directos e indirectos y a las instalaciones eléctricas contra incendios.

Cuando aparece una corriente de fuga (aquella que circula debido a un defecto de aislamiento o contacto eléctrico), que alcanza el umbral de sensibilidad de disparo, el interruptor diferencial desconecta la instalación, quedando la protección de las personas y las instalaciones asegurada.

6.4.2. Componentes de un interruptor diferencial

Podemos dividir la constitución de un interruptor diferencial en las siguientes partes:

- **Cuerpo o carcasa de plástico.** Está formado por dos cuerpos (de material plástico) que permiten el alojamiento de todas las piezas que conforman este dispositivo.
- **Bornes de conexión.** Hay dos conjuntos de bornes de conexión, unos de entrada y otros de salida, que permiten la conexión en el circuito a proteger.

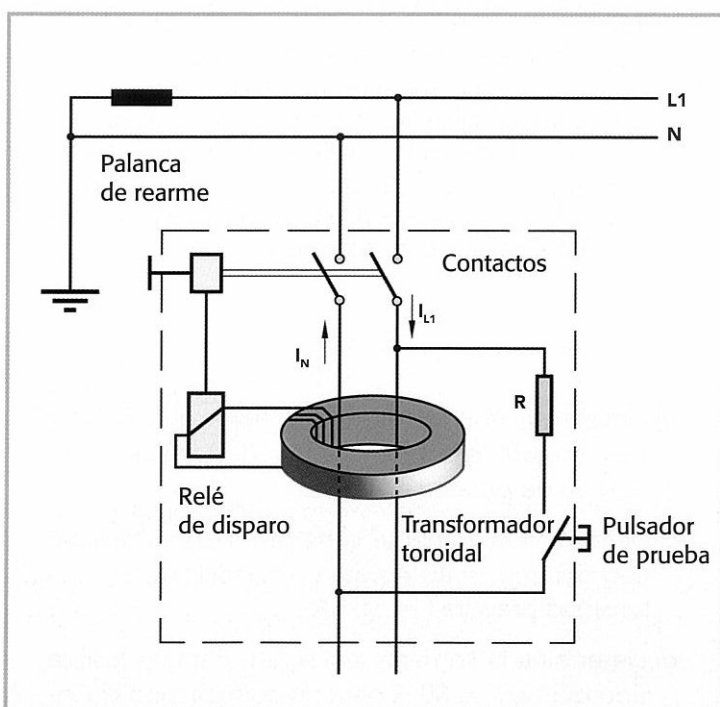


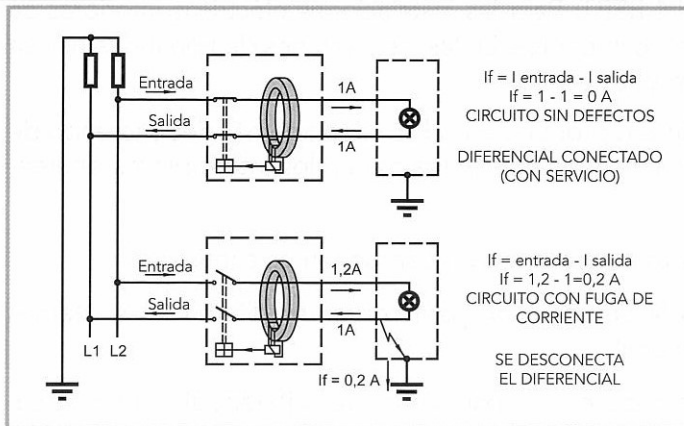
Fig. 6.21.
Esquema de funcionamiento.

- **Palanca de rearme.** Permite la conexión y la desconexión del interruptor diferencial manualmente o volver a cerrar el interruptor después de que se haya producido un disparo.
- **Pulsador de prueba.** Se utiliza para comprobar el buen funcionamiento del diferencial. Se compone de un circuito formado por una resistencia y un pulsador conectado entre la entrada de una fase y salida de otra fase. Los fabricantes recomiendan realizar esta prueba una vez al mes.
- **Contactos (fijo + móvil).** El contacto móvil realiza la conexión y la desconexión, sobre el contacto fijo, ya sea, por un defecto eléctrico (corriente de fuga) o por una manipulación manual.
- **Transformador toroidal para la detección de la corriente de fuga.** Abraza a todos los conductores necesarios para la conducción de la corriente, así como, dado el caso, también el conductor de neutro.

- **Relé de disparo** para la conversión de una magnitud eléctrica variable (corriente de fuga) en un desenclavamiento mecánico (desconexión o apertura de contactos).

6.4.3. Funcionamiento

Fig. 6.22.
Principio de funcionamiento
de un interruptor diferencial.



En caso contrario, si hay un fallo de aislamiento y circula una corriente de fuga, el equilibrio se deshace y aparece un campo magnético residual en el transformador toroidal, que genera una tensión en el devanado secundario, la cual a través del relé de disparo acciona el desenclavamiento mecánico, que permite la apertura de los contactos y desconecta el circuito afectado. Para comprobar su correcto funcionamiento, los interruptores diferenciales llevan integrados un circuito de prueba conectado entre dos fases (una en la entrada de una fase y la otra en salida de otra fase diferente), con una resistencia y un pulsador.

Al pulsarlo, aparece una corriente aproximadamente 2,5 veces superior a la corriente de sensibilidad de disparo, si el aparato se encuentra en buen estado, se provoca la desconexión del mismo.

Definición de las principales características técnicas

- **Número de polos.** Atendiendo al número de polos, los interruptores diferenciales se clasifican en bipolares, tripolares y tetrapolares.
- **Tensión asignada (U_n).** Valor máximo de tensión para el cual el interruptor diferencial está diseñado. Los valores normalizados de tensión asignada son: 230 – 400 V.
- **Corriente asignada (I_n).** Valor máximo de corriente que puede soportar en servicio ininterrumpido un interruptor diferencial, a una temperatura ambiente normalizada. Los valores normalizados de corriente asignada son: 25 – 40 – 63 A.
- **Corriente diferencial de funcionamiento asignada ($I_{\Delta n}$).** Los valores normalizados de la corriente diferencial de funcionamiento son: 0,01 – 0,03 – 0,1 – 0,3 – 0,5 – 1 A.
- **Corriente diferencial de no funcionamiento asignada ($I_{\Delta no}$).** El valor de la corriente diferencial de no funcionamiento asignada es $0,5 I_{\Delta n}$.
- **Tiempo de funcionamiento máximo con una corriente diferencial.** Tiempo máximo que tarda el interruptor diferencial entre la aparición de una corriente diferencial de funcionamiento y el instante en que se elimina, al extinguirse el arco en todos sus polos.
- **Tiempo de no funcionamiento mínimo con una corriente diferencial.** Tiempo mínimo durante el cual el interruptor diferencial al aparecer una corriente diferencial no actúa.

6.4.4. Tipos de interruptores diferenciales

Por lo general, los catálogos de los fabricantes nos dan unas condiciones de ensayo tipificadas, que se adaptan a la mayoría de aplicaciones que nos podemos encontrar y que enumeramos a continuación:

- Temperatura ambiente entre -5 y $+40$ °C.
- Corriente alterna de frecuencia $f = 50$ Hz.
- Secciones de los conductores utilizados en el conexionado según normas vigentes.
- Ventilación natural.

La elección del interruptor diferencial se complementa con las siguientes condiciones:

- La tensión asignada (U_n) del interruptor diferencial ha de ser igual o mayor que la tensión nominal de la aplicación.
- La intensidad asignada (I_n) del interruptor diferencial ha de ser igual o mayor que la intensidad nominal de la aplicación.
- La corriente diferencial de funcionamiento asignada ($I_{\Delta n}$) se ha de elegir según las recomendaciones del REBT. Para las instalaciones eléctricas interiores se utilizan los de $I_{\Delta n} = 30$ mA o inferiores. En las instalaciones de tipo industrial, se utilizan desde $I_{\Delta n} = 30$ mA hasta 1 A.

Generalmente el tipo de interruptor diferencial se elige además dependiendo de los receptores a proteger. Los tipos más utilizados en los interruptores diferenciales se clasifican:

- Según el comportamiento en presencia de componentes continuas:
 - **Tipo AC.** Asegura la desconexión para corrientes diferenciales alternas senoidales (uso general).
 - **Tipo A.** Asegura la desconexión para corrientes diferenciales alternas senoidales o continuas pulsantes (si existen semiconductores en los receptores, por ejemplo un ordenador personal).
- Según el retardo en presencia de una corriente diferencial:
 - **Tipo no retardado.** Para uso general.
 - **Tipo selectivo "S" o retardado.** Son aquellos que durante un tiempo máximo se puede aplicar una corriente diferencial de funcionamiento, sin provocar su funcionamiento. Se aplican en lugares donde se producen desconexiones no deseadas, debido a sobretensiones atmosféricas, líneas de gran longitud, etc.

Cuando se montan interruptores diferenciales en cascada (uno a continuación del otro), el primero se utiliza del tipo selectivo "S" o retardado, para que exista selectividad (cuando se produce una corriente de fuga se ha de desconectar el interruptor diferencial más próximo al defecto, sin que afecte a los otros interruptores diferenciales).

Tabla 6.5. Cuadro de los tiempos de funcionamiento y no funcionamiento de los diferentes tipos de interruptores diferenciales

Tipo	Intensidad asignada I_n (A)	Intensidad diferencial asignada $I_{\Delta n}$ (A)	Valores normalizados del tiempo de funcionamiento máximo y del tiempo de no actuación con una corriente diferencial igual a:				
			$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	500A	
General	Cualquier valor	Cualquier valor	0,30	0,15	0,04	0,04	Tiempo de funcionamiento máximo (s)
Selectivo "S" o Retardado	≥ 25	$> 0,030$	0,50	0,20	0,15	0,15	Tiempo de funcionamiento máximo (s)
			0,13	0,06	0,05	0,04	Tiempo de no actuación mínimo (s)

Actividades

9. Explica qué es una corriente de fuga, pon un ejemplo, y explica cómo actúa el interruptor diferencial para evitar los peligros que conlleva.
10. Desmontad un interruptor diferencial e identificad cada una de las piezas que lo compone.

6.5. Limitador de sobretensiones

6.5.1. El limitador de sobretensiones y sus características

Las sobretensiones se originan como consecuencia de descargas atmosféricas, maniobras en las redes eléctricas y defectos que se producen en las mismas. Se distinguen dos tipos de sobretensiones: transitorias y permanentes.

Las **sobretensiones transitorias** son picos de tensión muy elevados y de muy corta duración que pueden llegar a dañar los equipos conectados a la instalación eléctrica, como consecuencia de descargas atmosféricas y conmutaciones de líneas.

Las **sobretensiones permanentes** son incrementos de tensión, superiores al 10% de la tensión nominal U_n y de una duración mayor a un segundo, debidos a la desconexión o rotura del neutro. Este tipo de sobretensiones no son objeto de estudio en la ITC-BT-23 del REBT.

Cuando entre dos electrodos se supera el valor de rigidez dieléctrica del medio aislante que los separa, se produce una descarga eléctrica. El ejemplo más conocido es la caída de un rayo.

La duración de una sobretensión es del orden de algunos microsegundos y alcanza valores de diferencia de potencial de unos pocos kV. Este tipo de sobretensiones provocan unas formas de onda muy características que se indican en la figura 6.23.

- La onda de corriente 8/20 μ s llega al 90 % del máximo de la intensidad en 8 μ s y disminuye al 50 % de su valor en 20 μ s.
- La onda de tensión 1,2/50 μ s llega al 90 % del máximo en 1,2 μ s y disminuye al 50% de su valor en 50 μ s.

Así pues, podemos decir que los **limitadores de sobretensiones** son aquellos dispositivos protectores utilizados para limitar las sobretensiones transitorias y derivar las ondas de corriente no deseadas y peligrosas a tierra, sin que éstas afecten a los equipos que tenemos conectados en nuestra instalación eléctrica.

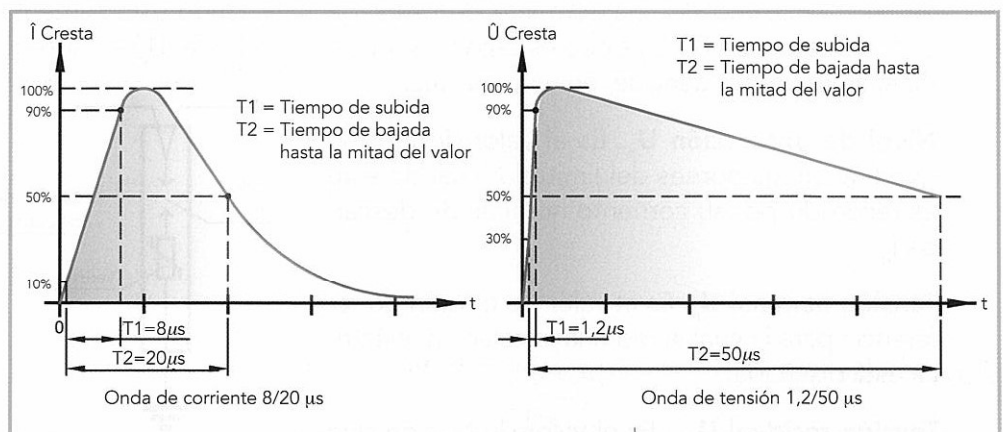


Fig. 6.23.
Ondas características de
sobretensión.

6.5.2. Componentes y funcionamiento de un limitador de sobretensiones

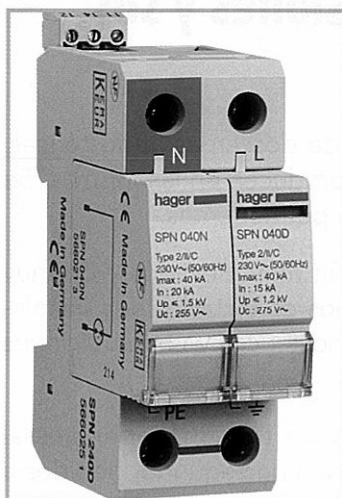


Fig. 6.24.
Limitador de sobretensiones.

Existen diferentes tecnologías aplicadas en la fabricación de un limitador de sobretensiones: varistor, descargador de gas, descargador de arco y diodo. A continuación se detallan los componentes y funcionamiento del varistor y del descargador de gas.

Un limitador de sobretensiones se compone básicamente de un varistor, que es el elemento responsable de la protección eléctrica, y un elemento de señalización del estado de los varistores (una vez agotados, se deben cambiar). Todo ello montado en un módulo provisto de los bornes de conexión.

El varistor está compuesto de un material (generalmente óxido de zinc) que varía su impedancia o resistencia según la tensión a la que está sometido en un tiempo muy corto (decenas de nanosegundos).

Para valores de unos cientos de voltios, su impedancia es elevada y para valores de unos pocos kV, su impedancia se reduce a valores muy bajos. Si se conecta de una manera adecuada, nos permite la protección de la instalación eléctrica.

El limitador de sobretensiones basado en el descargador de gas se compone de un tubo de cerámica o de cristal y en su interior se hallan dos electrodos. El interior del tubo está lleno de un gas noble, generalmente argón o neón, que se encuentra a una determinada presión. Cuando la tensión alcanza un valor de unos 700 V, la resistencia de descarga varía de un valor elevado a uno bajo, una vez eliminada la sobretensión vuelve a su estado inicial (resistencia alta). Se montan en serie con un fusible o con un varistor.

Definición de las principales características técnicas

- **Corriente nominal de descarga I_n .** Es el valor de cresta de la corriente de descarga en forma de onda 8/20 μ s que es capaz de soportar 20 veces el limitador sin deteriorarse.
- **Corriente máxima de descarga $I_{m\acute{a}x}$.** Es el valor de cresta máximo de una corriente de descarga en forma de onda 8/20 μ s que es capaz de soportar el limitador sin dañarse, en una sola vez.
- **Nivel de protección U_p .** Es el valor de tensión que hay en los bornes del limitador cuando éste es recorrido por su corriente nominal de descarga I_n .
- **Tensión nominal U_n .** Es el valor de tensión de referencia para la cual la red o la instalación eléctrica está diseñada.
- **Tensión residual U_{res} .** Es el valor de tensión que verán los receptores cuando esté actuando el limitador de sobretensiones transitorias.
- **Tensión máxima admisible U_c .** Es el valor de tensión máxima admisible en régimen permanente en bornes del limitador.
- **Corriente de funcionamiento permanente I_c .** Es el valor de la corriente que circula por el limitador, cuando está alimentado a la tensión máxima admisible (U_c) en ausencia de defecto.

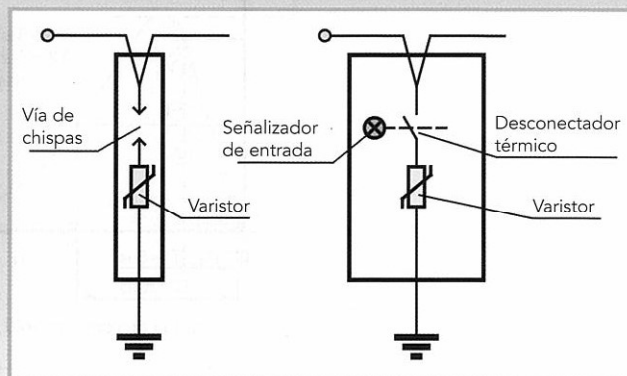


Fig. 6.25.
Características del limitador de sobretensiones.

6.5.3. Elección y tipos de limitadores de sobretensiones

La elección de un limitador de sobretensiones depende:

- De la **zona geográfica** en que se encuentra la instalación (zona rural o urbana, densidad de descarga de rayos, red de distribución aérea o subterránea).
- De la **sensibilidad** del material a proteger. Las categorías de las sobretensiones permiten clasificar los diversos grados de tensión soportada a las sobretensiones en cada una de las partes de la instalación, equipos y receptores.

Las categorías indican los valores de tensión soportada a la onda de choque de tensión por los equipos, determinando, a su vez, el valor límite de tensión residual que deben permitir los dispositivos de protección de cada zona para evitar el daño a los equipos que protege.

Se pueden distinguir cuatro categorías, que indican el máximo nivel de tensión soportada a los impulsos por sus aislamientos, en función de la tensión nominal de la instalación:

- **Categoría I.** Equipos muy sensibles y destinados a conectarse a una instalación fija (ordenadores, equipos electrónicos, etc.).
- **Categoría II.** Equipos destinados a conectarse a una instalación fija (electrodomésticos, herramientas portátiles, etc.).
- **Categoría III.** Equipos y materiales que forman parte de la instalación eléctrica fija (armarios de distribución, embarrados, interruptores, seccionadores, tomas de corriente, cables, cajas de derivación, etc.) y a otros equipos que requieren un alto nivel de fiabilidad (ascensores, máquinas industriales, etc.).
- **Categoría IV.** Equipos y materiales que se conectan en el origen o muy próximos al origen de la instalación (contadores de energía, aparatos de telemedida, equipos principales de protección contra sobreintensidades, etc.).

En la *tabla 6.6* se recogen los valores mínimos de sobretensión a impulsos que han de soportar los equipos en función de la tensión nominal de la instalación y su categoría.

Tabla 6.6. Valores mínimos de sobretensión a impulsos

Tensión nominal de la instalación (V)		Tensión soportada a impulsos 1,2/50 μ s (kV)			
Sistemas trifásicos	Sistemas monofásicos	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
230/400	230	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5
1000	-				

Atendiendo a la capacidad de la corriente de descarga y al nivel protección U_p , los limitadores se clasifican en tres tipos o clases que se indican en la *tabla 6.7*.

Se pueden presentar dos situaciones en las instalaciones eléctricas:

- **Situación natural.** No es necesaria la protección contra sobretensiones transitorias. La tensión de aislamiento de las líneas y equipos es suficiente y no se prevén sobretensiones superiores.

- **Situación controlada.** Los equipos y las líneas eléctricas no están protegidos suficientemente contra las sobretensiones o es conveniente una mayor seguridad (por ejemplo, continuidad de servicio, valor económico de los equipos, etc.).

Tabla 6.7. Clases o tipos de limitadores. Nivel de protección. Utilización en equipos

Características	Clase o tipo de limitador		
	1	2	3
Capacidad de absorción de energía	Muy alta - Alta	Media - Alta	Baja
Rapidez de respuesta	Baja - Media	Media - Alta	Muy alta
Origen de la sobretensión	Impacto directo del rayo	Sobretensiones de origen atmosférico y conmutaciones, conducidas o inducidas	
Nivel de protección	Basta	Media	Fina
Utilización en equipos	Categoría II y III	Categoría I y II	Categoría I

Los limitadores de sobretensiones se pueden conectar de dos maneras, dependiendo del tipo de protección que deseemos:

- **En modo común.** Cuando el limitador se conecta entre los conductores activos y tierra. Se utiliza este método en las protecciones *basta* (cuadro general) y *media* (cuadros secundarios).
- **En modo diferencial.** Cuando el limitador se conecta entre fase y neutro. Se utiliza este método para la protección final (*fin*) especialmente de aparatos electrónicos muy sensibles.

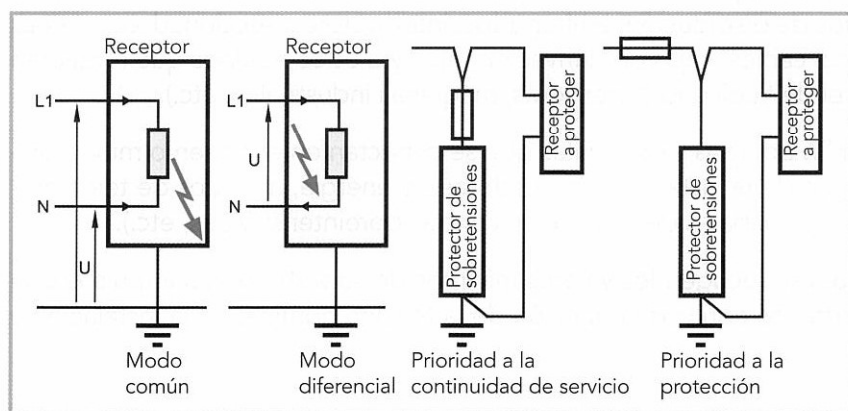


Fig. 6.26.
Tipos de conexión y tipos de prioridades de los limitadores de sobretensión

Según el tipo de servicio que se desee, existen dos tipos de prioridades:

- **Prioridad a la continuidad de servicio.** Cuando se funde el fusible se desconecta la protección de sobretensiones, pero los equipos siguen en funcionamiento. Se debe tener la precaución de sustituir la protección de sobretensiones, porque a partir de ese momento, los equipos están sin protección.
- **Prioridad a la protección.** Cuando se funde el fusible los equipos quedan desconectados y ya no pueden ser sometidos a una nueva sobretensión, hasta la sustitución del limitador de sobretensiones.

Para conseguir una protección adecuada se utilizan dos o más protectores de forma coordinada. El primero se coloca al comienzo de la instalación y se utiliza para conseguir el mayor poder de descarga posible $I_{m\acute{a}x}$. Los siguientes se colocan lo más cerca de los equipos a proteger y su elección depende del nivel de protección U_p . Se debe tener, además, una buena toma de tierra para eliminar de una manera eficaz el defecto. En las instalaciones eléctricas interiores el limitador de sobretensiones se intercala entre el IGA (interruptor general automático) y el ID (interruptor diferencial) o a continuación del ID (si éste es selectivo "S" o retardado).

Para una información más detallada, consultar la guía técnica de aplicación ITC-BT-23 del REBT.



La memoria

Definición

La **memoria** es el documento justificativo y descriptivo de la solución adoptada en el proyecto.

La memoria sirve de introducción al proyecto y permite una rápida visión del contenido, a su vez, facilita la unión entre todos los documentos del proyecto.

Un esquema de una memoria descriptiva genérica se podría componer de:

- Objeto.
- Alcance.
- Antecedentes.
- Normas y referencias.
- Definiciones y abreviaturas.
- Requisitos del diseño.
- Análisis de soluciones.
- Resultados finales.
- Planificación.
- Cálculos justificativos.

Ejemplo del índice de una memoria de un proyecto de electrificación de viviendas

Veamos a continuación el índice de una memoria tipo de un proyecto de electrificación de viviendas:

- Objeto del proyecto.
- Normas de obligado cumplimiento.
- Descripción del edificio.
- Potencia total del edificio.
- Suministro de energía.
- Descripción y justificación de las canalizaciones elegidas.
- Acometida.
- Caja general de protección.
- Línea general de alimentación.
- Centralización de contadores.
- Derivaciones individuales.
- Cuadro general de mando y protección.
- Instalaciones interiores para viviendas.
- Instalaciones de servicios comunes.
- Red de puesta a tierra del edificio.
- Cálculos justificativos.

Actividades finales

1. Enumera e identifica los dispositivos de protección existentes en vuestro laboratorio de prácticas. Anota todas las características indicadas sobre los mismos (tensión asignada, intensidad asignada, etc.).
2. Enumera e identifica los dispositivos de protección existentes en el cuadro de mando y protección de vuestra vivienda. Anota todas las características indicadas sobre los mismos (tensión asignada, intensidad asignada, etc.).
3. Razona los motivos por los que el interruptor diferencial se conecta a continuación del interruptor magnetotérmico.
4. ¿Es adecuado montar un interruptor diferencial en un circuito, sin conectar un interruptor magnetotérmico? ¿Por qué?
5. ¿Cuáles son las tres curvas de disparo más utilizadas actualmente en los interruptores magnetotérmicos?
6. ¿Cuáles son los dos tipos de fusibles más utilizados? Aplicaciones de los mismos.
7. Con ayuda de catálogos de los distintos fabricantes, compara las diferentes prestaciones (caída de tensión, potencia disipada, I^2t máximo, etc.) para un mismo tipo de dispositivo de protección (por ejemplo: un interruptor magnetotérmico curva C de 16 A, un fusible tipo NH 1 gG 250 A, etc.).
8. Realiza un estudio y su correspondiente informe de los diferentes fabricantes europeos de dispositivos de protección (fusibles, magnetotérmicos, diferenciales y limitadores de sobretensiones).
9. Indica el tipo de fusible y/o interruptor magnetotérmico más adecuado para la protección de un motor con arranque directo ($I_{\text{arranque motor}} = 6 I_n$).
10. Indica el tipo de fusible y/o interruptor magnetotérmico más adecuado para la protección de cables.
11. Con ayuda de algún catálogo de un fabricante de fusibles, selecciona un fusible cilíndrico, tamaño 22×58 , tipo gG, $I_n = 80$ A, e interpreta sus características mediante las curvas que aparezcan en el catálogo, tal como se ha realizado en el *ejemplo 1* de esta unidad.
12. Realiza el estudio indicado en el apartado anterior, para un fusible de cuchilla tipo NH, tamaño 00, tipo aM e $I_n = 100$ A.
13. Con ayuda de algún catálogo de un fabricante de interruptores magnetotérmicos, selecciona un interruptor magnetotérmico bipolar, curva C, $I_n = 16$ A, e interpreta sus características mediante las curvas que aparezcan en el catálogo, tal como se ha realizado en el *ejemplo 1* de esta unidad.
14. Realiza el estudio indicado en el apartado anterior, para un interruptor magnetotérmico bipolar, curva B, $I_n = 20$ A.

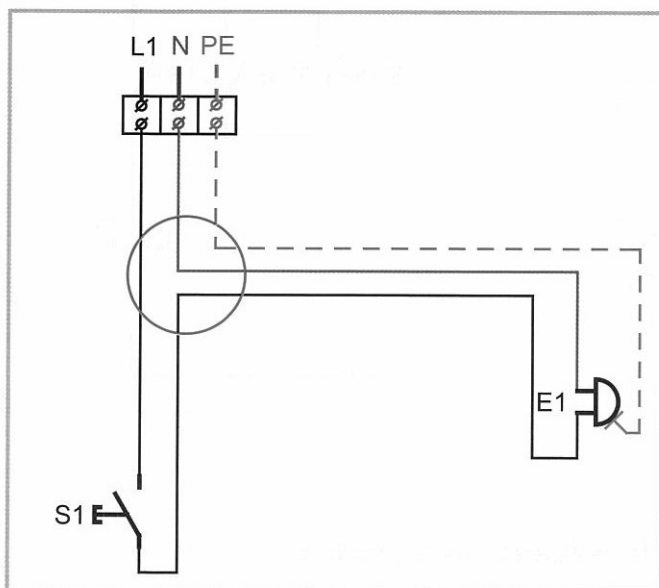
Prácticas de taller

Práctica 23

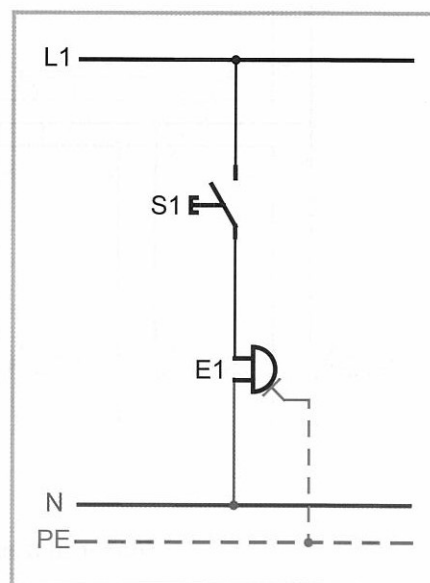


Montaje de un timbre con mando por un pulsador

Esquema de instalación multifilar



Esquema eléctrico funcional



Material necesario para la realización de la práctica

Cantidad	Designación	Observaciones
1	Panel o cuadro de 60 x 50 cm	Los cables serán flexibles e irán en el interior de los tubos corrugados, fijados al panel o al cuadro mediante grapas o similar.
1	Caja de conexiones redonda o cuadrada	
1	Pulsador unipolar 10 A 250 V	
1	Timbre	
-	Regletas de conexión	
-	Tubo corrugado	
-	Cable negro de 1,5 mm ²	
-	Cable azul de 1,5 mm ²	
-	Cable verde-amarillo de 1,5 mm ²	

Trabajos a realizar:

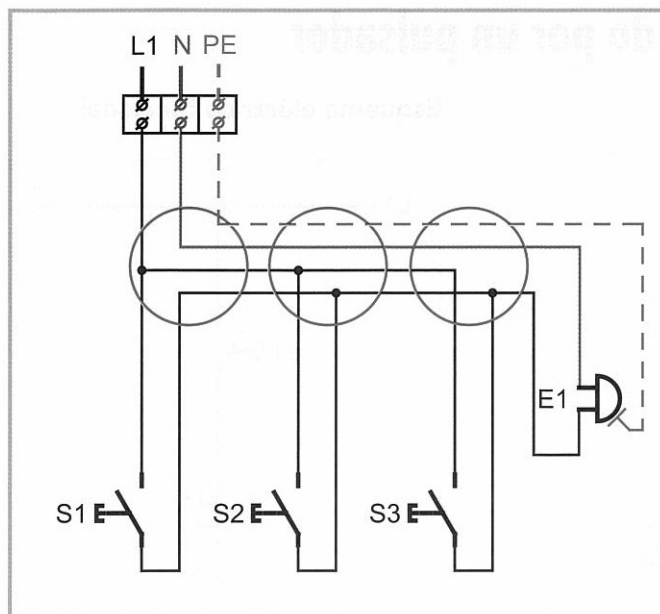
- Sobre un panel o cuadro, realizar el montaje y conectar el circuito del esquema. Antes de aplicar tensión, comprobar con el polímetro que existe continuidad y ausencia de cortocircuitos.
- Probar la instalación accionando el pulsador.
- Comprobar con ayuda de un amperímetro analógico la intensidad que absorbe el timbre de la red cuando se acciona el pulsador. Repetir varias veces la prueba y anotar el valor más alto.
- Medir con el polímetro la resistencia interna de la bobina del timbre.

Práctica 24

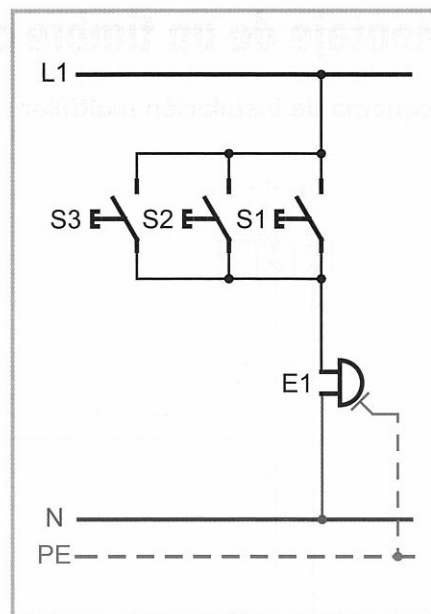


Montaje de un timbre con mando por tres pulsadores

Esquema de instalación multifilar



Esquema eléctrico funcional



Material necesario para la realización de la práctica

Cantidad	Designación	Observaciones
1	Panel o cuadro de 60 x 50 cm	Los cables serán flexibles e irán en el interior de los tubos corrugados, fijados al panel o al cuadro mediante grapas o similar.
3	Caja de conexiones redonda o cuadrada	
3	Pulsador unipolar 10 A 250 V	
1	Timbre	
-	Regletas de conexión	
-	Tubo corrugado	
-	Cable negro de 1,5 mm ²	
-	Cable azul de 1,5 mm ²	
-	Cable verde-amarillo de 1,5 mm ²	

Trabajos a realizar:

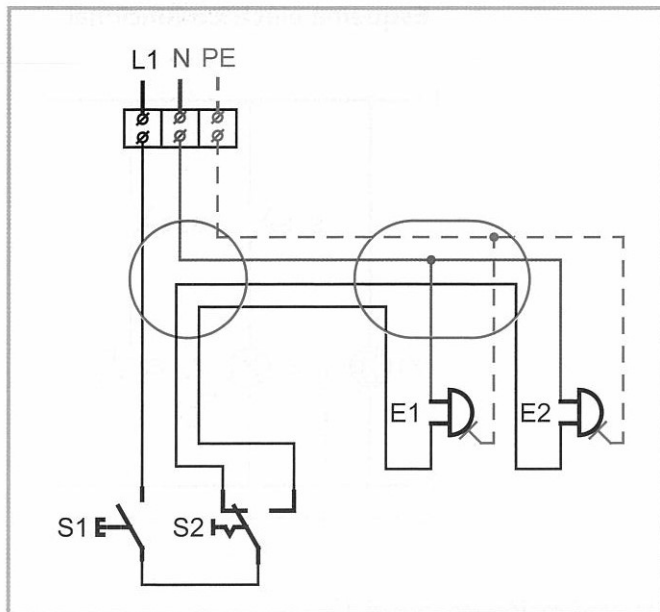
- Sobre un panel o cuadro, realizar el montaje y conectar el circuito del esquema. Antes de aplicar tensión, comprobar con el polímetro que existe continuidad y ausencia de cortocircuitos.
- Probar la instalación accionando de forma aleatoria los pulsadores.
- Si teniendo apretado un pulsador accionamos otro cualquiera, ¿que sucederá?, ¿por qué?
- Si accionamos los tres pulsadores simultáneamente, ¿se producirá un cortocircuito?, ¿por qué?

Práctica 25

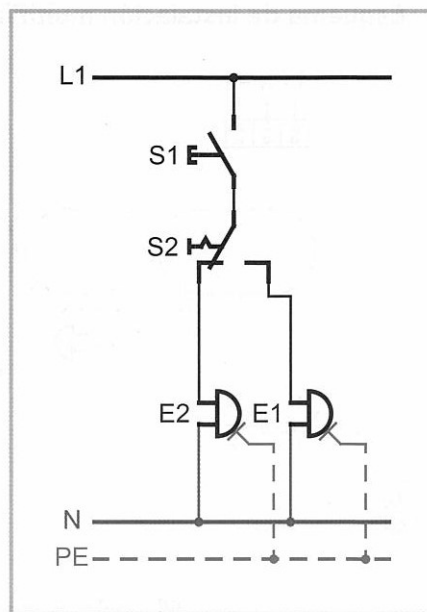


Montaje de dos timbres conmutados accionados por un pulsador

Esquema de instalación multifilar



Esquema eléctrico funcional



Material necesario para la realización de la práctica

Cantidad	Designación	Observaciones
1	Panel o cuadro de 60 x 50 cm	Los cables serán flexibles e irán en el interior de los tubos corrugados, fijados al panel o al cuadro mediante grapas o similar.
2	Caja de conexiones redonda o cuadrada	
1	Pulsador unipolar 10 A 250 V	
1	Conmutador simple 10 A 250 V	
2	Timbre	
-	Regletas de conexión	
-	Tubo corrugado	
-	Cable negro de 1,5 mm ²	
-	Cable azul de 1,5 mm ²	
-	Cable verde-amarillo de 1,5 mm ²	

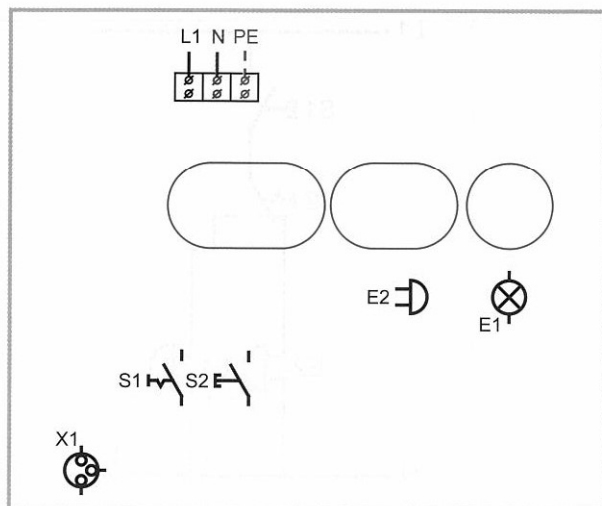
Trabajos a realizar:

- Sobre un panel o cuadro, realizar el montaje y conectar el circuito del esquema. Antes de aplicar tensión, comprobar con el polímetro que existe continuidad y ausencia de cortocircuitos.
- Probar la instalación accionando el pulsador con el conmutador en cada una de sus dos posiciones.
- Si teniendo apretado el pulsador accionamos el conmutador, ¿qué sucederá?, ¿por qué?
- Comprobar con ayuda de un amperímetro analógico la intensidad que absorbe cada uno de los timbres de la red cuando se acciona el pulsador. Repetir varias veces la prueba y anotar el valor más alto.
- Medir con el polímetro la resistencia interna de la bobina de cada uno de los timbres.

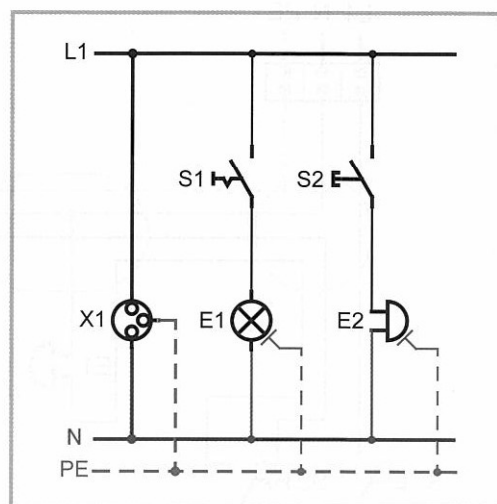
Práctica 26

Montaje de un circuito paralelo formado por una lámpara de incandescencia, un timbre y una toma de corriente bipolar 2P+TT

Esquema de instalación multifilar



Esquema eléctrico funcional



Material necesario para la realización de la práctica

Cantidad	Designación	Observaciones
1	Panel o cuadro de 60 x 50 cm	Los cables serán flexibles e irán en el interior de los tubos corrugados, fijados al panel o al cuadro mediante grapas o similar.
3	Caja de conexiones redonda o cuadrada	
1	Interruptor unipolar 10 A 250 V	La tensión en las bases de enchufe también se puede comprobar conectando un receptor (por ejemplo, una luz portátil).
1	Pulsador unipolar 10 A 250 V	
1	Timbre	
1	Portalámparas rosca E-27	
1	Lámpara de incandescencia	
1	Base de enchufe bipolar 2P+TT 16 A 250 V	
-	Regletas de conexión	
-	Tubo corrugado	
-	Cable negro de 1,5 y 2,5 mm ²	
-	Cable azul de 1,5 y 2,5 mm ²	
-	Cable verde-amarillo de 1,5 y 2,5 mm ²	

Trabajos a realizar:

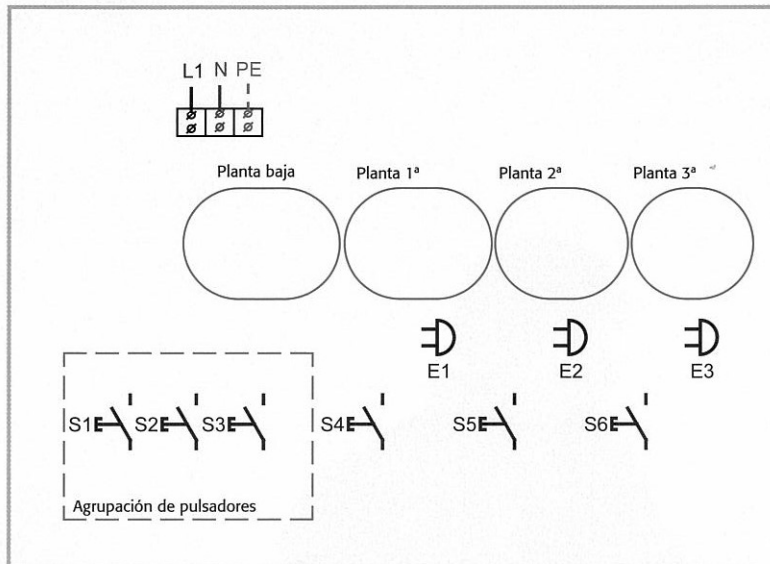
- Dibujar el esquema de la instalación multifilar con el material reseñado.
- Sobre un panel o cuadro, realizar el montaje de los circuitos del timbre y alumbrado, a continuación, el circuito de la base de enchufe. Antes de conectar ambos circuitos a la alimentación, comprobar que éstos no están comunicados con ayuda de un polímetro.
- Probar la instalación accionando de forma aleatoria el interruptor y el pulsador.
- Si teniendo apretado el pulsador accionamos el interruptor, ¿que sucederá?, ¿por qué?
- Comprobar que hay tensión en la base de enchufe con ayuda de un polímetro, con la lámpara apagada o encendida. Razonar la respuesta.
- Si se produce un cortocircuito en el timbre ¿podría funcionar normalmente la base de enchufe y la lámpara si no accionamos el pulsador?

Práctica 27

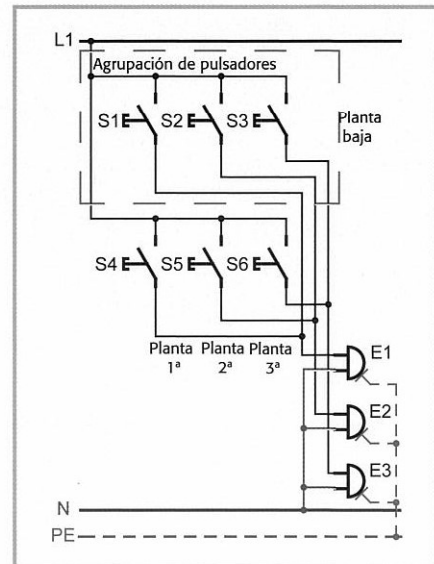


Montaje de timbres en un edificio de cuatro plantas con un piso por planta, con mando por centralización de pulsadores en la planta baja y un pulsador en cada rellano de la escalera

Esquema de instalación multifilar



Esquema eléctrico funcional



Material necesario para la realización de la práctica

Cantidad	Designación	Observaciones
1	Panel o cuadro de 60 x 50 cm	Los cables serán flexibles e irán en el interior de los tubos corrugados, fijados al panel o al cuadro mediante grapas o similar.
4	Caja de conexiones redonda o cuadrada	
6	Pulsador unipolar 10 A 250 V	
3	Timbre	
-	Regletas de conexión	
-	Tubo corrugado	
-	Cable negro de 1,5 mm ²	
-	Cable azul de 1,5 mm ²	
-	Cable verde-amarillo de 1,5 mm ²	

Trabajos a realizar:

- Dibujar el esquema de la instalación multifilar con el material reseñado.
- Sobre un panel o cuadro, realizar el montaje y conectar el circuito del esquema. Antes de aplicar tensión, comprobar con el polímetro que existe continuidad y ausencia de cortocircuitos.
- Probar la instalación accionando de forma aleatoria los pulsadores.
- Si teniendo apretado un pulsador accionamos el otro que también alimenta al timbre, ¿que sucederá?, ¿por qué?
- Si accionamos los seis pulsadores simultáneamente, ¿se producirá un cortocircuito?, ¿por qué?