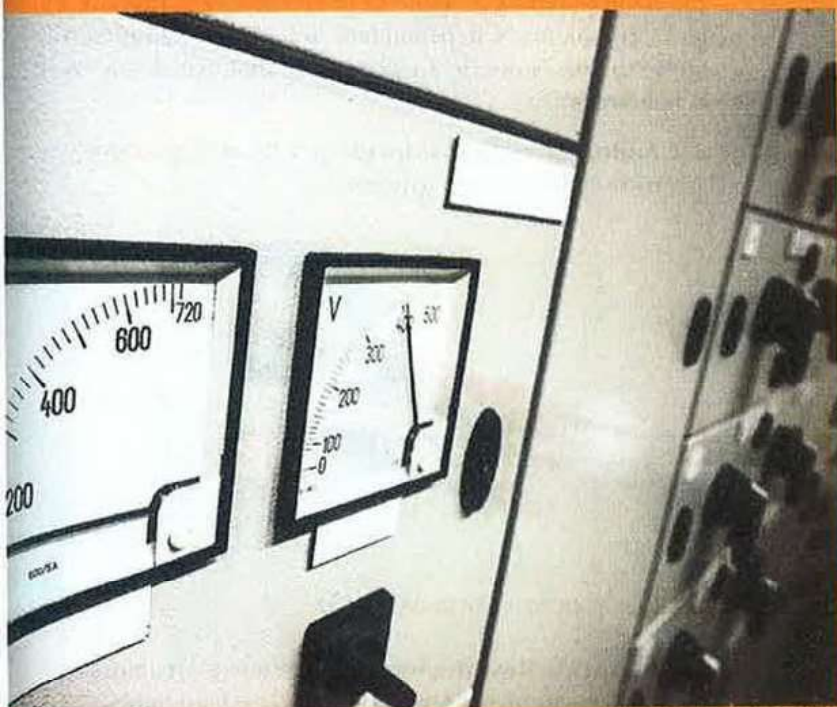


Componentes de las instalaciones eléctricas industriales

2



Un circuito eléctrico es un conjunto de elementos conectados entre sí por medio de conductores a través de los cuales circula una corriente eléctrica. Las instalaciones eléctricas industriales están compuestas por numerosos circuitos cuyo objetivo es el de suministrar energía a los receptores, mediante el uso de diversos mecanismos, dispositivos y componentes que cumplen diversas funciones.

En esta unidad analizaremos en profundidad los dispositivos más importantes que componen los circuitos de fuerza y maniobra de las instalaciones de automatismos industriales.

Contenidos

- 2.1. Conductores eléctricos
- 2.2. Dispositivos de conexión y seccionamiento
- 2.3. Dispositivos de protección
- 2.4. Dispositivos y equipos de medida
- 2.5. Receptores y actuadores

Objetivos

- Analizar los tipos de conductores eléctricos más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales.
- Definir los defectos y anomalías que pueden producirse en un circuito eléctrico.
- Conocer las medidas y dispositivos de protección de las instalaciones eléctricas.
- Conocer las medidas y dispositivos de protección de personas y animales.
- Identificar los equipos de medida, receptores y actuadores asociados a las instalaciones eléctricas industriales.

2.1. Conductores eléctricos

Un conductor eléctrico permite el movimiento de los electrones así como la interconexión del resto de componentes que forman el circuito, por lo que puede afirmarse que es uno de los elementos más importantes de las instalaciones eléctricas. Dada la gran variedad existente de cables y conductores en el mercado, resulta necesario conocer sus características para escoger adecuadamente el tipo de conductor más apropiado a cada situación.

Figura 2.1. Representación del conductor eléctrico.

Como punto de partida, es indispensable hacer mención a los términos *conductor* y *cable*, ya que se utilizan habitualmente sin hacer ninguna distinción entre ellos. Sin embargo, existe una pequeña diferencia entre ambos conceptos:

- Un **conductor** es el material metálico (por ejemplo, cobre o aluminio) por el que circula la intensidad en un circuito eléctrico.
- Se denomina **cable** al conjunto formado por un conductor y la capa de material aislante (o aislamiento) que lo rodea.



Figura 2.2. Concepto de cable y conductor.

2.1.1. Tipos de conductores eléctricos

Los conductores eléctricos se pueden clasificar en función de varios criterios: el tipo de material del que están compuestos, su constitución interna y el tipo de aislamiento que los recubre.

En lo que respecta al tipo de **material** que compone un conductor eléctrico, como resulta evidente, debe tratarse de un elemento con alta conductividad eléctrica, como es el caso de la mayoría de los metales. De entre todos los metales que existen, los más utilizados para la fabricación de los conductores que forman parte de las instalaciones eléctricas de baja tensión son dos: el *cobre* y el *aluminio*.

- **Conductores de cobre:** el cobre es uno de los metales que presenta menor resistividad eléctrica (solo superado por la plata). La gran mayoría de los conductores utilizados en baja tensión son de cobre.

- **Conductores de aluminio:** el aluminio tiene más resistividad eléctrica que el cobre, por lo que es peor conductor, pero presenta mejor resistencia ante los esfuerzos mecánicos y la rotura. Por este motivo, se utiliza en cables de alta tensión y en algunos cables de baja tensión de gran sección. En el entorno industrial, es posible encontrar cables de aluminio para alimentar a maquinaria de gran potencia.

Tabla 2.1. Conductividades (en $\text{m}/\Omega \times \text{mm}^2$) para conductores de cobre y aluminio a distintas temperaturas.

Material	γ_{20}	γ_{70}	γ_{90}
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28

Desde el punto de vista de la **constitución interna** del material conductor, y dependiendo del número de *hilos* o *alambres internos* que lo forman, se distinguen dos tipos de conductores:

- **Conductor rígido:** formado por un solo alambre o varios alambres muy gruesos.



Figura 2.3. Conductores rígidos de un solo hilo.

- **Conductor flexible:** formado por una gran cantidad de alambres muy finos. Este tipo de conductores son fácilmente deformables y muy resistentes a la rotura.



Figura 2.4. Conductores flexibles compuestos por hilos de cobre muy finos.

- **Conductor extraflexible:** formado por una cantidad aún mayor de alambres muy finos, lo que otorga al cable la máxima flexibilidad y una elevada resistencia mecánica ante los impactos.

SABÍAS QUE

En instalaciones industriales es común utilizar conductores de uso específico para alimentar a ciertos equipos, como por ejemplo el cable flexible para maquinaria móvil o el cable extraflexible para utilizar en máquinas de soldar.

Por último, y en función del tipo de **aislamiento** externo, los cables pueden ser de dos tipos:

- **Conductor desnudo:** el conductor carece de aislamiento externo. Solo pueden utilizarse este tipo de cables en instalaciones donde exista una distancia de seguridad o cuando el conductor esté conectado a tierra (instalación de puesta a tierra).



Figura 2.5. Conductor de cobre desnudo perteneciente a una toma de tierra.

- **Conductor aislado:** el conductor está recubierto por uno o varios aislamientos externos. Dicho aislamiento puede ser de diversos materiales y dotará al cable de propiedades específicas, como la temperatura máxima de trabajo, el comportamiento ante el fuego, la capacidad de carga, etc. Los aislamientos más utilizados en instalaciones industriales de baja tensión son los siguientes:

- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno reticulado (XLPE).
- Etileno-propileno (EPR).
- Etileno-acetato de vinilo.

- Policloropreno.
- Estireno-butadieno.
- Mezclas de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos.



Figura 2.6. Conductor aislado por dos capas de material aislante, siendo el aislamiento externo de PVC. (Cortesía de General Cable.)

SABÍAS QUE

Existen cables con aislamiento mineral compuesto por metales como óxido de magnesio, níquel, cobre o aluminio. Son muy utilizados como cables calefactores y en las grandes instalaciones industriales de refinamiento, ya que son totalmente ignífugos.

Actividad propuesta 2.1

Existe un tipo de cable de baja tensión aislado y blindado por una malla metálica, como el que se muestra en la siguiente figura.



Figura 2.7. Cable aislado y blindado por una malla metálica. (Cortesía de General Cable.)

Explica cuál crees que es la función que cumple la malla metálica externa, y enumera varios tipos de industrias en los que consideres apropiado que se utilicen este tipo de cables.

2.1.2. Características técnicas de los conductores eléctricos

En lo que respecta a las características técnicas que diferencian y definen a un conductor eléctrico son cuatro las más importantes: el color del aislamiento externo, la sección, el agrupamiento y la tensión asignada.

El **color** del aislamiento que recubre a un conductor sirve para diferenciar su uso en la instalación. Así, el color de cada conductor lo establece el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión mediante el denominado **código de colores**.

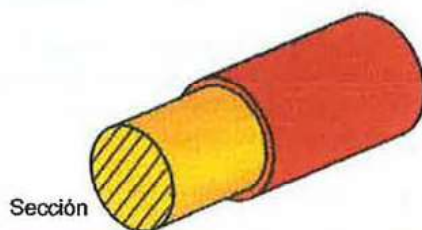
Tabla 2.2. Código de colores del aislamiento de los conductores en instalaciones de baja tensión.

Color	Uso del conductor
Marrón	Conductor de fase (L1)
Negro	Conductor de fase (L2)
Grís	Conductor de fase (L3)
Azul	Conductor neutro (N)
Verde-Amarillo	Conductor de protección (PE)

En las instalaciones eléctricas relacionadas con los automatismos industriales, así como en las centralizaciones de contadores de los edificios destinados a viviendas o industrias, resulta también posible encontrar otro tipo de conductores, de color rojo. Es muy común utilizar este tipo de cables en circuitos de maniobra de automatismos industriales, sobre todo si estos son gobernados a tensiones comprendidas entre 12 y 48 voltios.

**Figura 2.8.** Representación del código de colores.

La **sección** de un conductor es la superficie útil por la que puede circular el flujo de electrones que forma la corriente eléctrica. Su símbolo es S y se mide en **milímetros cuadrados** (mm^2). Cuando se habla de la sección del cable únicamente se hace referencia a la parte metálica del mismo, sin tener en cuenta el aislamiento.

**Figura 2.9.** Representación de la sección de un conductor de cobre.

Cuanto mayor es la sección de un conductor, más electrones podrán circular libremente por el mismo, y por tanto, más intensidad de corriente será capaz de transportar. En definitiva, deberá usarse un conductor de una sección u otra dependiendo de la potencia de los receptores a los que suministre energía eléctrica y de la caída de tensión.

**Figura 2.10.** Relación entre la sección de un conductor y la intensidad y potencia del circuito.

Los fabricantes de cables no comercializan cables de cualquier sección, sino que se ajustan a unas *secciones normalizadas* para unificar los criterios y abaratar los costes de producción. Las secciones de cables de baja tensión utilizadas en la actualidad se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Secciones normalizadas de los conductores utilizados en instalaciones eléctricas de baja tensión.

Secciones normalizadas de conductores en baja tensión						
0,5 mm^2	1,5 mm^2	6 mm^2	25 mm^2	70 mm^2	150 mm^2	300 mm^2
0,75 mm^2	2,5 mm^2	10 mm^2	35 mm^2	95 mm^2	185 mm^2	400 mm^2
1 mm^2	4 mm^2	16 mm^2	50 mm^2	120 mm^2	240 mm^2	500 mm^2

Los conductores eléctricos pueden encontrarse agrupados dentro de un mismo cable. El **agrupamiento** establece el número de conductores que forman parte del mismo cable, que podrán ser unipolares (independientes) o multiconductores.

- **Cable unipolar:** es aquel que está formado por un solo conductor.
- **Cable multiconductor:** se encuentra formado por dos o más conductores. A este tipo de cables también se les conoce con el nombre de *cables multipolares* o *mangueras*.

**Figura 2.11.** Cable multiconductor de cinco conductores para instalaciones trifásicas.

Dependiendo del número de conductores, las mangueras pueden ser *bipolares*, *tripolares*, *tetrapolares*, *pentapolares*, etc.



Figura 2.12. Representación gráfica de cables multiconductores.

Cuando varios conductores se encuentran agrupados en un mismo cable, el aislamiento propio de cada uno de los conductores estará recubierto por una segunda capa de material aislante que envuelve y protege a todo el conjunto. En estos casos, este segundo aislamiento exterior se denomina **cubierta del cable**.

SABÍAS QUE

En determinadas ocasiones, el aislamiento externo o la cubierta de los conductores eléctricos no respeta el código de colores, por lo que será el propio instalador quien deberá marcar cada uno de los cables con el color correspondiente al ejecutar la instalación. Para esta tarea suele emplearse cinta aislante o manguitos de goma.



Figura 2.13. Marcado manual del cableado en base al código de colores.

La **denominación del cableado eléctrico** depende de su agrupamiento, o número de conductores, y de su sección. Así, por ejemplo, una manguera de dos conductores (bipolar) de 4 mm² de sección se denomina comúnmente como *cable de 2x4 mm²*.

Si la manguera incluye, además de los conductores de fase o neutro, el correspondiente conductor de protección, suele resultar apropiado indicar la sección de dicho conductor de manera independiente, ya que en determinados casos es posible que tenga una sección inferior a la del resto.

Actividad propuesta 2.2

Sabiendo que la denominación común de los cables eléctricos depende de la sección y agrupamiento de sus conductores, ¿cómo denominarías a los conductores expuestos a continuación?

Ejemplo: manguera trifásica, sin neutro y con conductor de protección (sección de las fases 70 mm², sección del conductor de protección 35 mm²).

Denominación: 3 x 70 mm² + TT 35 mm²

- Cable unipolar de 1,5 mm².
- Manguera trifásica, tetrapolar con neutro. Sección de todos los conductores 16 mm².
- Manguera pentapolar. Sección de todos los conductores 6 mm².
- Cable multiconductor de tres conductores de 4 mm², sin conductor de protección.
- Cable multiconductor, con neutro y con conductor de protección (sección de las fases y neutro 25 mm², sección del conductor de protección 16 mm²).

Del aislamiento de un determinado conductor, entre otros factores, depende directamente el voltaje o tensión máxima que podrá soportar dentro de la instalación eléctrica. Es lo que se denomina como **tensión asignada**, y expresa el nivel de voltaje de referencia para la que se ha diseñado el cable.

La tensión asignada se indica mediante la combinación de dos valores, *Uo/U*, expresados en voltios, siendo *Uo* el valor eficaz entre cualquier conductor aislado y tierra, y *U* el valor eficaz entre dos conductores de fase de un mismo cable multipolar o de un conjunto de cables unipolares.

En un sistema de corriente alterna, la tensión asignada de un cable debe ser por lo menos igual a la tensión nominal del sistema para el que está previsto. Si se sometiese a un cable a diferencias de potencial superiores a su valor asociado de tensión asignada, el material aislante perdería sus propiedades dieléctricas y no cumpliría su función de protección.

Los valores de tensión asignada asociados a los conductores eléctricos de baja tensión se muestran en la siguiente tabla, siendo los más utilizados 450/750 V y 0,6/1 kV.

Tabla 2.4. Tensiones asignadas de los conductores más utilizados en instalaciones eléctricas de baja tensión.

Tensiones asignadas de conductores en baja tensión (Uo/U)				
100/100 V	300/300 V	300/500 V	450/750 V	0,6/1 kV

Cabe destacar que según la normativa vigente, un cable podría utilizarse a una tensión de servicio superior en un 10 % a su tensión asignada en corriente alterna, e incluso superior a 1,5 veces la tensión asignada en corriente continua.



RECUERDA

No debe superarse nunca el valor de tensión asignada de un cable eléctrico, así como tampoco debe sobrepasarse el nivel de temperatura máxima de trabajo (70 °C para cables de PVC y 90 °C para cables de EPR y XLPE).

2.1.3. Designación técnica de los conductores

Los sistemas de designación del cableado de energía eléctrica se basan en el marcado de la parte externa de los mismos mediante una secuencia de símbolos en el que cada uno de ellos, según su posición, tiene un significado previamente establecido.

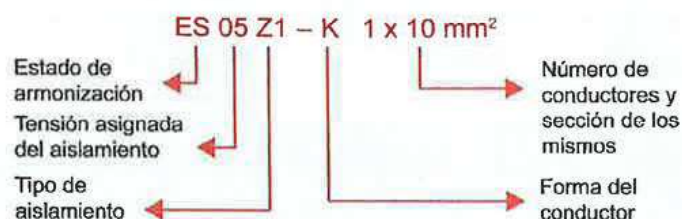
Tras el nombre del fabricante y la marca comercial, dicha combinación de símbolos (letras y números) hace referencia a las características físicas y técnicas del cable. Este

marcaje, además, debe incluir datos adicionales como los certificados de conformidad (AENOR, CE) o la fecha de fabricación.

Cada tipo de cable tiene una designación propia según la norma de aplicación. Por tanto, hay que tener muy en cuenta que el mismo símbolo puede tener significados distintos según se trate de un cable de 450/750 V o de un cable de 0,6/1 kV.

Los cables eléctricos aislados de tensión asignada hasta **450/750 V**, se designan conforme a varias normas UNE (UNE 20434, UNE 21031, UNE 21027, UNE 211002, entre otras) cuyas prescripciones son de aplicación en todos los países de la Unión Europea.

La secuencia de símbolos que definen a este tipo de conductores es la siguiente:



El significado de los códigos alfanuméricos que denominan y definen las características de este tipo de conductores, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2.5. Códigos de designación de los conductores eléctricos 450/750 V.

DESIGNACIÓN NORMALIZADA DE CABLES TENSIÓN ASIGNADA U ₀ /U.-450/750 V CONFORME A UNE 21031, UNE 21027, UNE 211002			
Número	Descripción	Símbolos	Significado
1	Estado de armonización	H ES o ES-N A	Cable tipo armonizado Cable tipo nacional Cable tipo nacional autorizado por CENELEC
2	Tensión asignada	01 03 05 07	U ₀ /U.-100/100 V U ₀ /U.-300/300 V U ₀ /U.-300/500 V U ₀ /U.-450/750 V
3	Tipo de aislamiento	V V2 V3 V4 B G N2 R S Z Z1	Policloruro de vinilo (PVC) Mezcla de PVC (servicio a 90 °C) Mezcla de PVC (servicio a baja temperatura) PVC reticulado Goma de etileno propileno Etileno-acetato de vinilo Mezcla de policloropreno Goma de estireno-butadieno Goma de silicona Mezcla reticulada de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos Mezcla termoplástica de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos

DESIGNACIÓN NORMALIZADA DE CABLES TENSIÓN ASIGNADA U₀/U_i -450/750 V CONFORME A UNE 21031, UNE 21027, UNE 211002

Número	Descripción	Símbolos	Significado
4	Cubierta	V	Policloruro de vinilo (PVC)
		V2	Mezcla de PVC (servicio a 90 °C)
		V4	PVC reticulado
		V5	Mezcla de PVC (resistente al aceite)
		B	Goma de etileno propileno
		G	Etileno-acetato de vinilo
		N	Policloropreno
		N4	Polietileno clorosulfurado
		N8	Policloropreno resistente al agua
		Q	Poliuretano
		J	Trenza de fibra de vidrio
		R	Goma de estireno-butadieno
		S	Goma de silicona
		Z	Mezcla reticulada de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos
5	Forma del conductor (separado por un guion)	-U	Rígido circular de un solo alambre (clase 1)
		-R	Rígido circular de varios alambres (clase 2)
		-F	Flexible para servicios móviles (clase 5)
		-H	Extraflexible (clase 6)
		-K	Flexible para instalación fija (clase 5)
		-D	Flexible para utilizar en máquinas de soldar
		-E	Muy flexible para utilizar en máquinas de soldar
6	Número de conductores Sección	N	Número de conductores (1, 2, 3, ..., n)
		X	«X» si no existe conductor amarillo/verde (conductor de protección)
		G	«G» si existe conductor amarillo/verde (conductor de protección)
		mm ²	Sección nominal

En lo que respecta a la designación técnica normalizada de los cables de tensión asignada **0,6/1 kV**, resulta algo más compleja, puesto que no existe una norma general de marcado sino que varias normas distintas definen su propio código de designación en función del tipo de conductor. Así, por ejemplo, los cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV se rigen por los criterios de la norma UNE 21123.

2.1.4. Conductores eléctricos en instalaciones industriales

La mayor parte de las prescripciones técnicas aplicables a conductores eléctricos en baja tensión se encuentran incluidas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT 2002), así como en las correspondientes normas UNE.

En instalaciones de tipo industrial, el cableado y sus características, así como el resto del equipamiento eléctrico, quedarán definidos en cada caso en función de la utilización de la instalación (riesgo de incendio o explosión, riesgo de corrosión, locales polvorientos, locales húmedos, etc.). No obstante, existe una serie de prescripciones para el cableado

que son siempre de aplicación, de entre las que se destacan las siguientes:

- La Línea General de Alimentación (LGA), que será instalada solo en edificios destinados a concentración de industrias, tendrá un nivel de aislamiento 0,6/1 kV. Los cables serán no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida.
- La Derivación Individual (DI), que alimenta al Cuadro General (CGBT) de la instalación, tendrá una tensión asignada de 450/750 V (0,6/1 kV para el caso de cables multiconductores o para el caso de derivaciones individuales en el interior de tubos enterrados). Los cables serán no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida.



Figura 2.14. Cables con aislamiento no propagador del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida, más comúnmente conocidos como libres de halógenos. (Cortesía de General Cable.)

- El cableado de los circuitos interiores podrá tener una tensión asignada de 450/750 V, siempre que no se trate de una instalación de características especiales, en cuyo caso habrá de aplicarse la Instrucción Técnica Complementaria correspondiente del REBT 2002.



SABÍAS QUE

Las conexiones entre conductores por retorcimiento están totalmente prohibidas. El cableado eléctrico debe conectarse a través de algún tipo de accesorio específico.

Asimismo, en el entorno industrial debe ser también tenido en cuenta el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (aprobado por el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre), en cuyo contenido se especifica lo siguiente:

- Los cables situados en el interior de falsos techos o suelos elevados, tanto los utilizados para aislamiento térmico y para acondicionamiento acústico como los que constituyan o revistan conductos de aire acondicionado o de ventilación deberán ser no propagadores de incendio y con emisión de humo y opacidad reducida.
- En el caso de que los cables eléctricos alimenten a equipos que deban permanecer en funcionamiento durante un incendio, deberán estar protegidos para mantener la corriente eléctrica durante el tiempo exigible a la estructura de la nave en que se encuentre.



Figura 2.15. Cable con aislamiento resistente al fuego (AS+), utilizado para alimentar servicios esenciales. (Cortesía de General Cable.)

2.2. Dispositivos de conexión y seccionamiento

La aparamenta considerada como de **conexión**, engloba a todos aquellos dispositivos capaces de abrir o cerrar un circuito eléctrico sin carga o con **carga nominal**, es decir, en condiciones normales de funcionamiento.

Por otro lado, la aparamenta considerada como de **seccionamiento** hace referencia a los dispositivos que solo son capaces de abrir o cerrar circuitos eléctricos que se encuentran **sin carga** (la intensidad que circula por los conductores es nula).

A pesar de la diferencia teórica entre las funciones de conexión y seccionamiento, se hace necesario agrupar estos dos conceptos, dado que gran cantidad de dispositivos utilizados en instalaciones de automatismos industriales poseen la capacidad tanto de *cortar* como de *seccionar* circuitos en carga.

Los dispositivos empleados con mayor frecuencia en las instalaciones de automatismos industriales para llevar a cabo las funciones de conexión y seccionamiento son los siguientes:

Tabla 2.6. Aparamenta de conexión y seccionamiento.

Dispositivo	Función que cumple	
	Conexión	Seccionamiento
Base de toma de corriente	Solo si $I_N < 16 \text{ A}$	✓
Seccionador		✓
Interruptor	✓	
Interruptor seccionador	✓	✓
Pulsador	✓	
Contactador	✓	

Para poder llevar a cabo el estudio de los diferentes componentes que cumplen las funciones de conexión y seccionamiento, es imprescindible conocer unos conceptos previos asociados a los mismos, definidos a continuación:

- Tensión nominal:** expresada en voltios (V), es la tensión en condiciones normales de funcionamiento de un circuito eléctrico.
- Intensidad nominal:** expresada en amperios (A), es la intensidad de corriente que circula por un circuito eléctrico en condiciones normales de funcionamiento.
- Arco eléctrico:** descarga eléctrica que se forma entre dos puntos conductores aislados cuando son sometidos a una diferencia de potencial muy elevada.
- Poder de aislamiento:** expresado en kilovoltios (kV), es la máxima diferencia de potencial que es capaz de aislar un dispositivo cuando está desconectado sin que se forme un arco eléctrico entre sus bornes.
- Intensidad de corta duración:** expresada en kiloamperios por segundo (kA/s), es la máxima intensidad de corriente que un dispositivo de conexión es capaz de soportar entre sus bornes en el momento de interrumpir un circuito eléctrico en carga.

- Endurancia:** número de maniobras de apertura y cierre que un dispositivo es capaz de realizar antes de que se produzca un fallo por desgaste. La endurancia puede ser de tipo mecánica o eléctrica.

2.2.1. Base de toma de corriente

La base de toma de corriente es un dispositivo de conexión que se encarga de suministrar energía eléctrica a los receptores de un circuito. A una toma de corriente se puede conectar cualquier receptor eléctrico, aportándole el voltaje e intensidad necesarios para su funcionamiento.

Hasta los terminales de una base de corriente llegan los conductores que parten desde el cuadro eléctrico (conductores activos y conductor de protección), proporcionando de este modo la tensión de la red eléctrica: 230 V_{CA} para las tomas monofásicas o 400 V_{CA} para las tomas trifásicas.

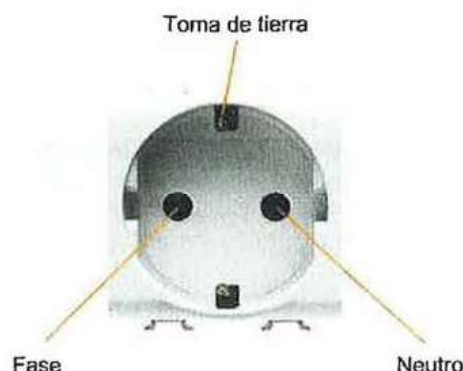


Figura 2.16. Partes de una toma de corriente.

Existen varios formatos de tomas de corriente, dependiendo de su uso y características. Los más utilizados en la actualidad son los mostrados a continuación:

Tabla 2.7. Tipología y características de las bases de toma de corriente.

Tipo	Nombre y características	Imagen
Monofásicas	C1a Base monofásica sin toma de tierra Intensidad admisible: 10 o 16 A Está prohibido su uso (salvo para sustituciones)	
	C2a Base monofásica de uso general, con contacto de tierra lateral Intensidad admisible: 16 A También conocida como <i>base alemana</i> o <i>base Schuko</i>	
	C3a Base monofásica con contacto de tierra central Intensidad admisible: 16 A También conocida como <i>base francesa</i>	
	ESB 25a (ESB 25-5) Base monofásica con contacto de tierra interno Intensidad admisible: 25 A	

Tipo	Nombre y características	Imagen
Monofásicas	Base monofásica de uso industrial 2P+T (16 A) Conexión para fase, neutro y conductor de protección Intensidad admisible: 16 A	
	Base monofásica de uso industrial 2P+T (32 A) Conexión para fase, neutro y conductor de protección Intensidad admisible: 32 A	
Trifásicas	Base trifásica 3P+N+T Base trifásica de uso industrial Conexión para tres fases, neutro y conductor de protección (3F+N+PE) Intensidad admisible: 16 A, 32 A, 63 A o 125 A	
	Base trifásica 3P+T Base trifásica de uso industrial. Conexión para tres fases y conductor de protección (3F+PE). Intensidad admisible: 16 A, 32 A, 63 A o 125 A	

Tabla 2.8. Simbología asociada a las bases de toma de corriente.

	Símbolo
Base monofásica sin toma de tierra	
Base monofásica con toma de tierra	
Base monofásica de 25 A o superior	
Base trifásica	

Las normas fundamentales que especifican las características técnicas de las bases de toma de corriente son dos: la norma UNE 20315-2-10 para bases de toma de corriente y

clavijas para usos domésticos y análogos, y la norma UNE-EN 60309 sobre tomas de corriente para usos industriales.

Esta última norma, sobre bases de corriente de uso industrial, establece un código de colores para las mismas que permite diferenciarlas en función de su tensión y frecuencia de funcionamiento, así como un índice horario basado en la posición de la toma de tierra, que en este tipo de bases se corresponde con el hueco más grande.



SABÍAS QUE

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que solo podrán usarse para la función de **conexión y desconexión** de circuitos en carga, las clavijas de las tomas de corriente de intensidad nominal **no superior a 16 A**. Para intensidades de funcionamiento superiores, las clavijas solo podrán cumplir la función de seccionamiento, es decir, únicamente podrán unirse a la base de toma de corriente cuando el circuito se encuentre sin carga.

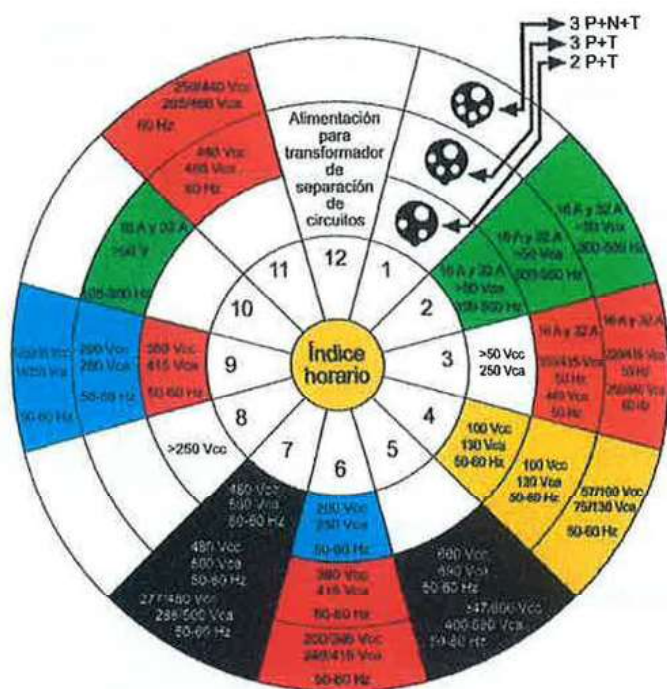


Figura 2.17. Código de colores y posición de la toma de tierra para bases de corriente industriales.

Cabe destacar, que para aumentar la seguridad de las bases de toma de corriente resulta obligatorio que las mismas posean tapas o elementos obturadores internos.

Además, es posible encontrar tomas de corriente con indicadores que marcan la presencia de tensión, tal como se muestra en la figura:



Figura 2.18. Toma de corriente con indicador de tensión. (Cortesía de Siemens.)

Actividad propuesta 2.3

Las bases de tomas de corriente de una instalación eléctrica deben conectarse **siempre en paralelo**. De este modo todos los receptores del sistema tendrán la misma tensión y funcionarán correctamente.

¿Qué crees que ocurriría si en una instalación industrial las bases de toma de corriente estuvieran conectadas en serie?

2.2.2. Seccionador

El seccionador, como su propio nombre indica, es un dispositivo eléctrico cuya función es la de seccionar circuitos eléctricos, es decir, abrir o cerrar los mismos **sin carga**.

Las funciones que cumplen los seccionadores en los circuitos eléctricos son fundamentalmente dos:

- Aislar el circuito (poder de aislamiento elevado).
- Dar corte visible.

Los seccionadores son muy utilizados en instalaciones eléctricas de media y alta tensión, ya que aseguran una gran distancia de aislamiento, lo que resulta muy útil para separar uno o varios elementos de la red eléctrica con la finalidad de ponerlos fuera de servicio, o para llevar a cabo trabajos de mantenimiento con total seguridad.

En circuitos eléctricos de baja tensión, sin embargo, su uso es mucho menos frecuente. En este tipo de instalaciones, este dispositivo puede estar integrado en otro tipo de aparataje, generalmente fusibles e interruptores de corte en carga.



Figura 2.19. Interruptor-seccionador, utilizado en instalaciones de BT. (Cortesía de Siemens.)

Tabla 2.9. Simbología asociada a los seccionadores.

	Símbolo
Seccionador	
Interruptor-seccionador	
Fusible-seccionador	

Los valores característicos asociados a los seccionadores de baja tensión son los siguientes:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).
- Poder de aislamiento (kV).
- Intensidad de corta duración (kA/s).

2.2.3. Interruptores, pulsadores y reguladores

Los interruptores y los pulsadores son dispositivos eléctricos utilizados para la apertura y cierre (conexión y desconexión) de circuitos en carga, cuando las condiciones de funcionamiento son normales.

Se trata de **componentes de mando manual**, por lo que su activación depende siempre de la intervención de una persona u operario. Suelen estar asociados a los circuitos de maniobra de las instalaciones de automatismos industriales, aunque en otras instalaciones eléctricas de baja potencia pueden formar parte de los circuitos de fuerza.

Las principales diferencias entre los interruptores, los pulsadores y los reguladores dependen básicamente de su función y principio de funcionamiento:

- **Interruptor:** es un elemento de maniobra utilizado para abrir o cerrar un circuito eléctrico de forma **permanente**, permitiendo el paso de la corriente (conexión) o interrumpiéndolo (desconexión). Dependiendo de su uso y aplicación existen interruptores simples, conmutados, selectores dobles, selectores triples, rotativos, de palanca, de pedal, de tirador, etc.

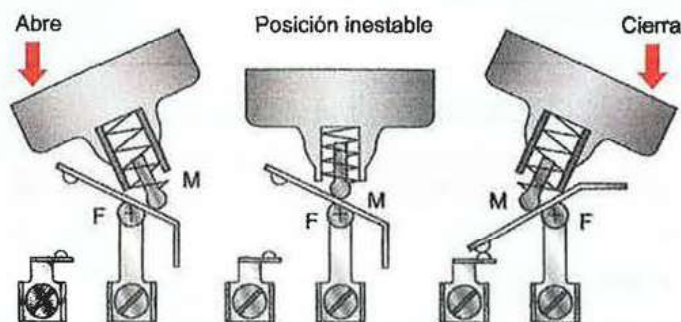


Figura 2.20. Principio de funcionamiento de un interruptor.

- **Regulador:** el regulador, o *dimmer*, es un dispositivo que permite variar la intensidad de corriente que circula por los conductores de un circuito eléctrico. Su funcionamiento suele basarse en una resistencia de tipo variable, denominada **potenciómetro**.
- **Pulsador:** es un tipo de interruptor **momentáneo** que permite o interrumpe el paso de la corriente eléctrica únicamente **mientras se encuentra accionado**. Cuando el operario o usuario deja de actuar sobre él, vuelve a su posición original (*posición de reposo*).

Tabla 2.10. Simbología asociada a los interruptores, pulsadores y reguladores.

	Símbolo genérico
Interruptor	-S
Pulsador	-S
Resistencia variable (regulador)	-R

Tanto los interruptores como los reguladores y los pulsadores, pueden estar diseñados para su uso en circuitos de fuerza o en circuitos de control y maniobra.

En los **circuitos de fuerza** de las instalaciones eléctricas industriales, es frecuente encontrar interruptores de corte en carga o interruptores-seccionadores en la cabecera de los cuadros secundarios, permitiendo la desconexión del mismo en condiciones normales. También es frecuente el uso de conmutadores y reguladores de potencia, aunque estos dispositivos son más propios de los circuitos de mando.



Figura 2.21. Interruptor de corte en carga para circuitos de fuerza de media potencia. (Cortesía de Schneider Electric.)

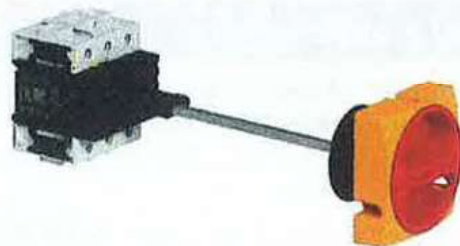


Figura 2.22. Conmutador rotativo.

Por otro lado, de entre todos los dispositivos manuales para **circuitos de maniobra** presentes en el mercado, los de mayor uso en instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- Pulsador de paro.
- Pulsador de marcha.
- Pulsador de paro de emergencia.
- Interruptor de dos posiciones (basculante, de palanca o rotativo).
- Interruptor de tres posiciones.
- Interruptor de llave.
- Potenciómetro manual.
- Interruptor/pulsador de palanca (*joystick*).
- Pulsador de pedal.



SABÍAS QUE

Las características específicas de los dispositivos de maniobra citados, así como la simbología asociada a los mismos, se estudiarán en detalle en la Unidad 7 del libro, correspondiente a lógica cableada.

Los valores característicos asociados a los interruptores, reguladores y pulsadores de baja tensión, tanto para circuitos de potencia como para circuitos de control son los siguientes:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal o poder de cierre (A).
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

2.2.4. Contactor

El contactor es un dispositivo de conexión y desconexión de circuitos de fuerza, utilizado en prácticamente la totalidad de las instalaciones de automatismos industriales para controlar la apertura o cierre de la alimentación eléctrica hacia los receptores terminales de los circuitos.

Se trata de un **componente de mando automático**, dado que ningún operario de las instalaciones interactúa u opera directamente sobre este dispositivo. La apertura y cierre que ofrece el contactor se realiza a través de una bobina (**electroimán**), situada en el circuito de maniobra asociado al automatismo que se desea controlar. Cuando el electroimán recibe alimentación eléctrica, los contactos del contactor que permanecían abiertos en estado de reposo (los del circuito de fuerza y los auxiliares correspondientes) se cierran, permitiendo el paso de la corriente. Por otro lado, los contactos del contactor que permanecían cerrados (de tipo auxiliar fundamentalmente) se abrirán. Esta situación se mantendrá así mientras la bobina del contactor siga estando conectada.

Los contactores, por tanto, son el nexo de unión fundamental entre los circuitos de potencia y los circuitos de maniobra asociados a las instalaciones de automatismos.

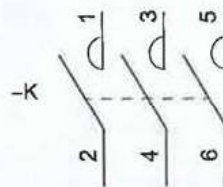


Figura 2.23. Símbolo asociado al contactor.

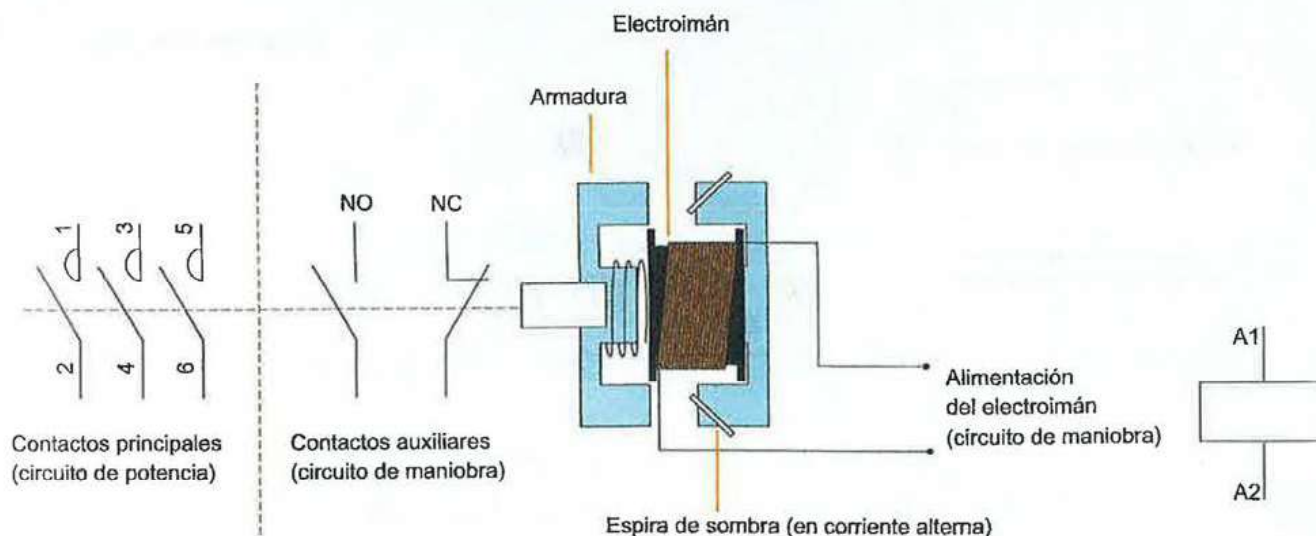


Figura 2.24. Representación interna y principio de funcionamiento de un contactor.

Los contactores cuyo electroimán se alimenta en corriente alterna monofásica deben disponer en su interior de un componente denominado **espira de sombra** o anillo de desfase que, colocado en el núcleo de la bobina, previene ruidos y vibraciones en los momentos en los que la onda de tensión pasa por cero, provocando un desfase auxiliar que mantiene la armadura atraída en todo momento por el núcleo.



Figura 2.25. Contactores para circuitos de baja potencia. (Cortesía de Siemens y Schneider Electric.)

Los valores característicos asociados a los contactores de baja tensión son los siguientes:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).
- Tensión de aislamiento (kV).
- Tensión y corriente de alimentación del electroimán.
- Número de polos de potencia.
- Número de salidas y contactos auxiliares.
- Categoría de empleo.
- Intensidad de corta duración (kA/s).
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.



SABÍAS QUE

Los contactores son aparatos capaces de efectuar elevados ciclos de maniobra eléctrica de cierre y apertura, que van desde 3 hasta 1.200 ciclos por hora.

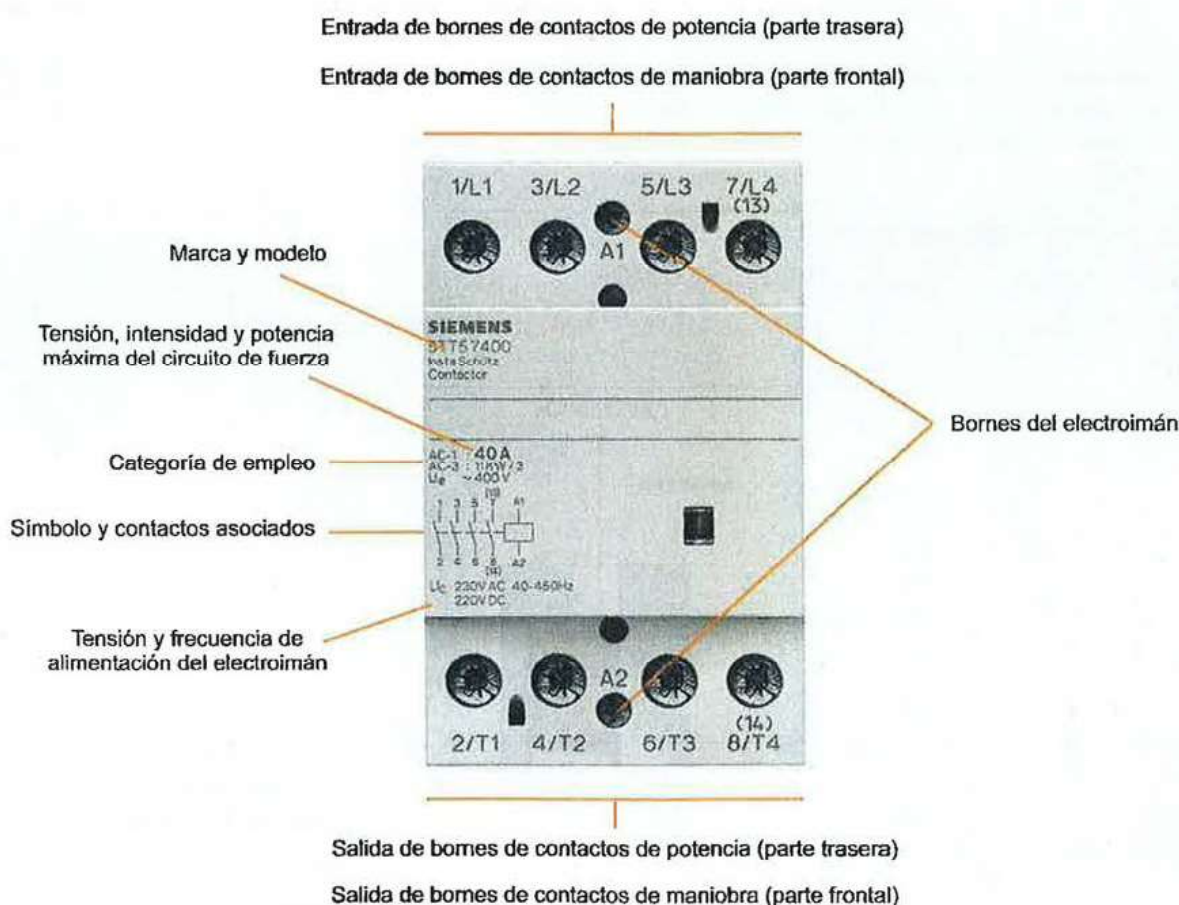


Figura 2.26. Parámetros característicos de un contactor.

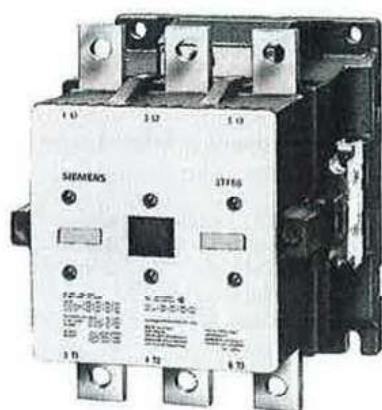


Figura 2.27. Contactor para circuitos de alta potencia. (Cortesía de Siemens.)

■ ■ ■ Categoría de empleo de los contactores

Los contactores se dividen en dos grupos, que dependen básicamente de si los receptores que van a ser controlados a través del dispositivo son alimentados en corriente alterna o en corriente continua.

Dentro de cada grupo, y en función del tipo de carga recomendada, existe una clasificación más específica que subdivide los contactores en **categorías de empleo**.

Las categorías de empleo normalizadas fijan los valores de corriente que el contactor debe establecer o cortar. Dependen tanto de la naturaleza del receptor controlado (motor, resistencias, etc.) como de las condiciones en las que se realicen los cierres y las aperturas.

Tabla 2.11. Categoría de los contactores en corriente alterna. (Cortesía de Schneider Electric.)

Categoría	Uso y características
AC-1	Se aplica a todos los aparatos de uso de corriente alterna, cuyo factor de potencia es al menos igual a 0,95 ($\cos \varphi \geq 0,95$). Ejemplos de utilización: calefacción, bloques resistivos, distribución.
AC-2	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de anillos. - En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor. - En la apertura, deberá cortar la corriente de arranque, con una tensión igual a la tensión de la red.
AC-3	Se aplica a los motores de jaula en los que el corte se realiza con el motor lanzado. - En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, que es de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. - En la apertura, el contactor corta la corriente nominal absorbida por el motor; en ese momento, la tensión en los bornes de sus polos se acercará al 20 % de la tensión de la red. El corte resulta sencillo. Ejemplos de utilización: todos los motores de jaula habituales, ascensores, escaleras mecánicas, cintas transportadoras, elevadores de cangilones, compresores, bombas, trituradoras, climatizadores, etc.
AC-4	Esta categoría se aplica a las aplicaciones con frenado a contracorriente y marcha "a sacudidas" con motores de jaula o de anillos. El contactor se cierra bajo un pico de corriente que puede alcanzar de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. Al abrirse, corta esta misma corriente bajo una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita. Esta tensión puede llegar a ser igual que la tensión de la red. El corte resulta brusco. Ejemplos de utilización: máquinas de impresión, máquinas de trefilar, elevadores, equipos de la industria metalúrgica.
AC-14	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores y relés.
AC-15	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores.

Tabla 2.12. Categoría de los contactores en corriente continua. (Cortesía de Schneider Electric.)

Categoría	Uso y características
DC-1	Se aplica a todos los aparatos de utilización de corriente continua cuya constante de tiempo es inferior o igual a 1 ms.
DC-3	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de derivación. - En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor. - En la apertura, deberá cortar 2,5 veces la corriente de arranque, con una tensión igual a la tensión de la red. Una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita y, en consecuencia, puede aumentar su fuerza contraelectromotriz.
DC-5	Esta categoría se aplica al arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores serie. El contactor se cierra bajo un pico de corriente que puede alcanzar 2,5 veces la corriente nominal del motor. Al abrirse, corta esta misma corriente bajo una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita. Esta tensión puede llegar a ser igual que la tensión de la red. El corte resulta brusco.
DC-13	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que el tiempo empleado en alcanzar el 95 % de la corriente en el régimen establecido es 6 veces superior a la potencia P absorbida por la carga (con $P \leq 50$ W). Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores sin resistencia.



SABÍAS QUE

Dado que el contactor es el componente fundamental de los circuitos de automatismos industriales, y por su especial importancia, las aplicaciones de los contactores en las instalaciones automáticas basadas en lógica cableada serán desarrolladas en detalle en la Unidad 7 de este libro.

- Los circuitos con origen en cuadros de distribución.
- Las instalaciones de acumuladores.
- Los circuitos de salida de generadores.

Podrán exceptuarse de esta prescripción los circuitos destinados a relojes y los circuitos de mando o control siempre que su desconexión impida cumplir alguna función importante para la seguridad de la instalación. Este tipo de circuitos podrán desconectarse mediante dispositivos independientes del general de la instalación.

2.2.5. Posibilidad de conectar y desconectar circuitos eléctricos en carga

La ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que se instalarán dispositivos apropiados que permitan conectar y desconectar en carga los circuitos eléctricos en una sola maniobra, en los siguientes casos:

- Toda instalación interior o receptora en su origen, circuitos principales y cuadros secundarios.
- Cualquier receptor.
- Todo circuito auxiliar para mando o control, excepto los destinados a la tarificación de la energía.
- Toda instalación de aparatos de elevación o transporte, en su conjunto.
- Todo circuito de alimentación en baja tensión destinado a una instalación de tubos luminosos de descarga en alta tensión.
- Toda instalación de locales que presente riesgo de incendio o de explosión.
- Las instalaciones a la intemperie.

2.3. Dispositivos de protección

En los circuitos eléctricos pueden producirse determinadas situaciones en las que se ven alteradas las condiciones normales de funcionamiento de sus componentes. Estas alteraciones, conocidas como **defectos o fallos eléctricos**, son capaces de provocar daños irreversibles en la instalación e incluso afectar a las personas que la utilizan. Los defectos eléctricos pueden ser básicamente de dos tipos:

- Defectos que afectan a las instalaciones eléctricas y sus componentes.
- Defectos que suponen un riesgo para los usuarios de las instalaciones.

Antes de pasar al estudio de los diferentes dispositivos de protección que pueden formar parte de las instalaciones de automatismos industriales, será imprescindible diferenciar cada uno de los factores de riesgo que pueden presentarse en los sistemas eléctricos.

2.3.1. Defectos asociados a las instalaciones eléctricas

Los posibles defectos o fallos eléctricos que afectan directamente a las instalaciones eléctricas y sus componentes guardan relación con la variación de las condiciones normales de funcionamiento en lo que respecta a los parámetros de intensidad y tensión.

Las posibles consecuencias de estas anomalías en las instalaciones eléctricas son las siguientes:

- Calentamiento excesivo de los materiales.
- Riesgo de incendio.
- Deterioro o destrucción de los equipos.
- Interrupción del suministro eléctrico.
- Funcionamiento inadecuado de los receptores.

De entre todos los posibles defectos que pueden aparecer en una instalación eléctrica, los más destacables son las **sobretensiones**, las **subtensiones** y las **sobreintensidades**.

Sobretensiones

Una sobretensión, o exceso de tensión, es un **aumento del voltaje** dentro de una instalación eléctrica por encima de su valor normal de funcionamiento, o *valor nominal*.

Por ejemplo, si a una instalación industrial de baja tensión le llega una sobretensión de 2,5 kV, aunque sea solo durante unos pocos milisegundos, todos los equipos conectados en ese momento a la red eléctrica cuyo aislamiento no haya sido diseñado para soportar ese nivel de voltaje resultarían dañados.

Existen tres posibles tipos de sobretensiones: de origen atmosférico, de tipo maniobra y de frecuencia industrial.

- Las **sobretensiones de origen atmosférico** son las producidas por la descarga directa de un rayo en una instalación eléctrica. Son impulsos de alta amplitud con una frecuencia que alcanza aproximadamente un megahercio.
- Las **sobretensiones de tipo maniobra** son las debidas a la influencia de la descarga lejana del rayo, conmutaciones de la red, defectos de red, efectos inductivos, capacitivos, etc. Son ondas de oscilación amortiguadas con una frecuencia que varía de decenas a cientos de kilohercios.
- Las **sobretensiones de frecuencia industrial** se producen por defectos en el conductor neutro o fallos de aislamiento con respecto a masa o tierra. Son ondas que presentan la misma frecuencia que la red, con una tensión de amplitud 1,73 veces mayor que la nominal.

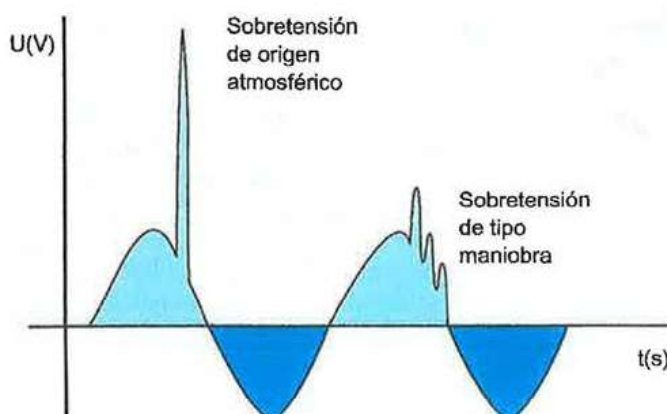


Figura 2.28. Representación gráfica de las sobretensiones de mayor amplitud.

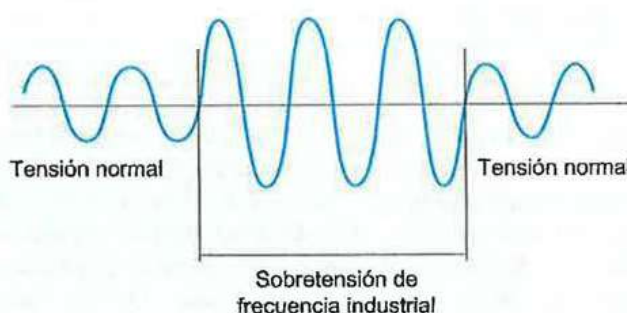


Figura 2.29. Representación gráfica de la sobretensión de frecuencia industrial.

Subtensiones

Una subtensión o caída de tensión es una **disminución del voltaje** dentro de una instalación eléctrica, ya sea hasta un valor determinado inferior al nominal o incluso hasta cero voltios (falta de tensión). Este tipo de defecto no suele producir daños directos en las instalaciones, pero puede provocar que los equipos y sistemas dejen de funcionar de manera intempestiva o lo hagan inadecuadamente.



SABÍAS QUE

Los efectos no deseados de las caídas de tensión en una instalación eléctrica se contrarrestan de diversas maneras, por ejemplo, mediante la instalación de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) o generadores alternativos (segundo suministro).

Sobreintensidades

La sobreintensidad, o exceso de corriente, es un **aumento de la intensidad** de corriente eléctrica en un circuito por encima de su valor normal de funcionamiento. Dependien-

do de sus características, las sobreintensidades pueden ser de dos tipos:

- **Sobrecarga:** es un aumento no demasiado elevado de la corriente por encima del valor nominal, pero con una duración larga o indeterminada, lo que acaba produciendo el calentamiento excesivo de los conductores y otros componentes. Se dice que son sobreintensidades de *tipo térmico*. Las sobrecargas suelen ser consecuencia de un mal dimensionado de la instalación, y se producen con mayor frecuencia en motores y transformadores.
- **Cortocircuito:** es un aumento muy elevado de la corriente, que puede alcanzar decenas de kiloamperios y cuya duración es muy breve (normalmente inferior a un segundo). Se dice que son sobreintensidades de *tipo magnético*. Los cortocircuitos pueden estar producidos por contactos entre los propios conductores o entre un conductor y tierra (cortocircuito franco).

Resultará imprescindible verificar que la intensidad nominal de un determinado circuito sea inferior a la intensidad máxima admisible del conductor de alimentación (para evitar sobrecalentamientos) e inferior también al calibre del dispositivo de protección, para evitar disparos por exceso de potencia. Debe existir un equilibrio entre estos tres valores para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, tal como se indica a continuación:

$$I_{\text{NOMINAL DEL CIRCUITO}} < I_{\text{DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN}} < I_{\text{MÁXIMA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR}}$$

En base a esto, todo dispositivo de protección frente a sobreintensidades (ya sea térmico o magnético) debe garantizar que la corriente nunca supere un valor que pueda considerarse peligroso para la integridad de la instalación, asegurando además el correcto funcionamiento del sistema siempre que se encuentre dentro de los valores normales.

2.3.2. Riesgos eléctricos para las personas y los animales

El riesgo eléctrico se define como la posibilidad de que una persona o animal sufra una determinada lesión producida por el efecto nocivo derivado de la energía eléctrica.

Los valores de tensión e intensidad presentes en las instalaciones eléctricas, por tanto, pueden desencadenar situaciones de peligro hacia personas y animales debidas fundamentalmente a dos causas: *contactos eléctricos*, al penetrar la corriente en el organismo, o *incendios/explosiones* en materiales y equipos, producidos por cortocircuitos, chispas por malos contactos, sobrecargas muy elevadas, conductores que acaban quemando el aislante, etc.

Los incendios y las explosiones pueden evitarse en gran medida utilizando los dispositivos de protección adecuados de las instalaciones eléctricas. Respecto a los **contactos eléctricos**, conviene hacer una clasificación más detallada, ya que estos pueden ser de dos tipos:

- **Contactos directos:** son los contactos con los conductores activos de la instalación eléctrica (cualquiera de las fases o el neutro) o con piezas metálicas que se encuentran normalmente en tensión. La corriente que se establece tras un contacto directo se denomina **corriente de contacto (I_s)**.

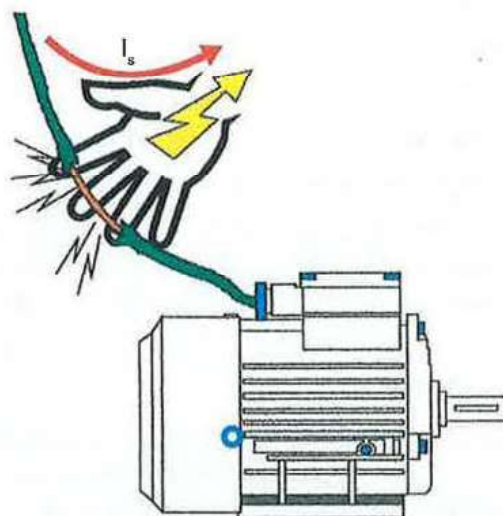


Figura 2.30. Representación de un contacto directo.

- **Contactos indirectos:** son los contactos con partes metálicas que accidentalmente se han puesto bajo tensión (*masas*), como consecuencia de un defecto de aislamiento. La corriente que se establece tras un contacto directo se denomina **corriente de defecto (I_d)**.

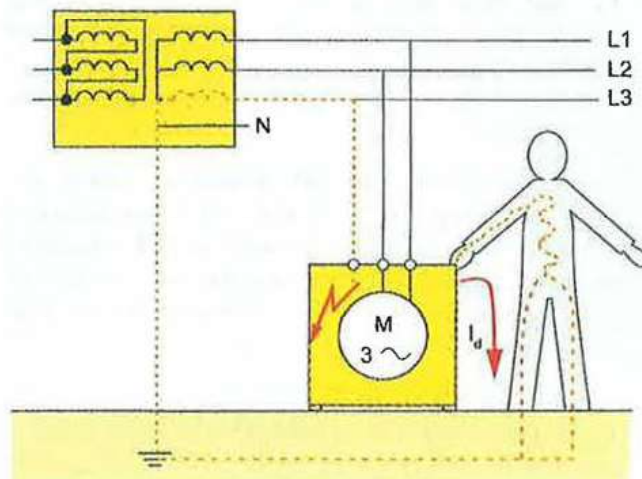


Figura 2.31. Representación de un contacto indirecto.

El efecto resultante del paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano o de un animal tras producirse un contacto directo o indirecto, se denomina **choque eléctrico**.

Las consecuencias que un choque eléctrico puede provocar en el organismo dependerán del valor de la **intensidad** de corriente, del valor de la **tensión** y del **tiempo** de exposición o de contacto. También influye la trayectoria que sigue la corriente por el cuerpo y si es de tipo alterna o continua.



SABÍAS QUE

La corriente eléctrica al penetrar en el organismo puede producir desde lesiones leves hasta la muerte. El valor de la intensidad eléctrica que se considera umbral de seguridad para una persona es igual a **30 mA** (0,03 A).

Dado el peligro que la electricidad entraña para los usuarios de las instalaciones, resulta obligatorio incluir en todos los circuitos elementos de protección que eviten o disminuyan las consecuencias de los contactos directos e indirectos. Estas medidas de protección pueden ser de tipo activo (interruptores diferenciales) o de tipo pasivo, como las que se enumeran a continuación:

- Puesta a tierra.
- Doble aislamiento.
- Separación de circuitos.
- Uso de tensiones de seguridad.
- Alejamiento de las partes activas.

2.3.3. Dispositivos de protección en las instalaciones de automatismos industriales

Para determinar los dispositivos de protección que deben formar parte de una determinada instalación eléctrica deben tenerse en cuenta las particularidades eventuales de los receptores, del circuito de alimentación, del entorno y del propio local. Asimismo, será necesario establecer las características de la aparamenta en correspondencia a las cargas y las corrientes de cortocircuito, bajo conceptos de filiación y selectividad.

Por otro lado, el tipo de protección frente a contactos directos e indirectos se determinará en función del esquema de distribución de neutro y masas que suministre energía a la instalación eléctrica (TT, IT o TN).

A continuación se describirán los principales dispositivos de protección presentes en las instalaciones eléctricas industriales y el tipo de función que cumplen, que previamente han sido resumidos en la Tabla 2.13.

Para poder llevar a cabo el estudio de los diferentes componentes que cumplen las funciones de protección, es imprescindible conocer ciertos conceptos asociados a los mismos, los cuales quedan definidos a continuación:

- **Corte omnipolar:** apertura de todos los conductores activos de un circuito, es decir las tres fases y el neutro, siempre que se distribuya. El corte omnipolar podrá ser simultáneo o no simultáneo.
- **Poder de corte:** expresado en amperios (A) o kiloamperios (kA), es la máxima intensidad que es capaz de

Tabla 2.13. Principales dispositivos de protección presentes en las instalaciones eléctricas industriales.

Dispositivo de protección	Protección que ofrece			
	Protección de la instalación eléctrica			Protección de personas y animales
	Cortocircuitos	Sobrecargas	Sobretensiones	
Fusible	✓	✓		
Relé térmico		✓		
Interruptor automático	✓	✓		
Limitador de sobretensiones			✓	
Interruptor diferencial				✓

aislar un dispositivo de protección cuando ya ha desconectado el circuito, antes de que se produzca un arco eléctrico entre sus contactos.

2.3.4. El cortacircuitos fusible

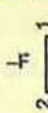
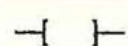
El cortacircuitos fusible, o simplemente fusible, es el dispositivo más antiguo para la protección de los circuitos eléctricos. Se trata de un elemento de protección muy fiable y económico, el cual tiene en su interior un material conductor (generalmente una aleación metálica con bajo punto de fusión formada por estaño, cobre o zinc) capaz de soportar un determinado valor de intensidad de corriente. Si la intensidad de un circuito aumenta por encima del valor que puede soportar el fusible, el material interno se romperá y el circuito quedará desconectado, evitando que resulte dañado algún otro componente o el cableado de la instalación. Se dice entonces que **el fusible se ha fundido**.

Puesto que el fusible se rompe cada vez que actúa, será **necesario reemplazarlo** por uno nuevo para poder conectar nuevamente el circuito, lo que en algunos casos puede suponer un problema para la continuidad de los procesos industriales.

En este sentido, determinados tipos de fusibles cuentan con un **elemento percutor**, que consiste en un dispositivo indicador de que el fusible se ha fundido. De esta manera se facilitan enormemente las tareas de mantenimiento y resolución de averías, especialmente en instalaciones de grandes dimensiones.

La instalación de los fusibles en los circuitos eléctricos se realiza mediante **bases portafusibles** cuya forma y método de apertura dependerá de cada tipo de fusible.

Tabla 2.14. Simbología asociada a los fusibles.

	Símbolo
Fusible	
Base portafusibles	

Los valores característicos asociados a los fusibles de baja tensión quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tipología y talla.
- Clase de servicio.
- Tensión nominal (V).
- Corriente nominal o calibre (A).

- Corriente de fusión.
- Poder de corte (kA).
- Diagrama de la característica intensidad/tiempo.
- Presencia de elemento percutor.
- Posición y características de montaje.
- Resistencia a las influencias climáticas.
- Temperatura de trabajo.

SABÍAS QUE

Los fusibles pueden encontrarse también dentro de un dispositivo o mecanismo para aumentar su nivel de seguridad.



Figura 2.32. Fusible en el interior de una clavija para toma de corriente.

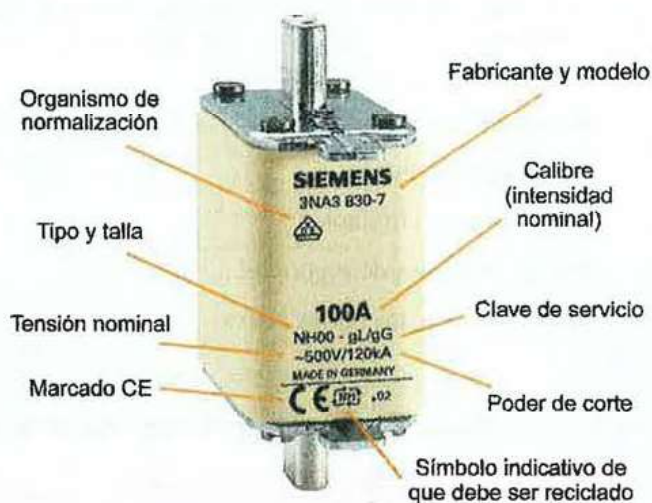


Figura 2.33. Parámetros característicos de un fusible.

Tipología de los fusibles

Los diferentes tipos de fusibles pueden ser de formas y tamaños muy diferentes en función de la intensidad a la que deben fundirse, la tensión de los circuitos donde se ubiquen y el método de instalación empleado. Existen básicamente tres formatos de fusible:

Tabla 2.15. Clasificación de los fusibles por su tipología.

Fusibles cilíndricos	Fusibles de rosca	Fusibles de cuchilla
----------------------	-------------------	----------------------

- **Fusibles cilíndricos:** son fusibles que generalmente tienen un pequeño tamaño, de forma cilíndrica y con una intensidad nominal diseñada para proteger desde circuitos de maniobra o de muy poca potencia hasta circuitos de potencia media. El calibre de los fusibles cilíndricos puede variar entre 0,5 y 125 A y su poder de corte oscila desde 10 hasta 100 kA.

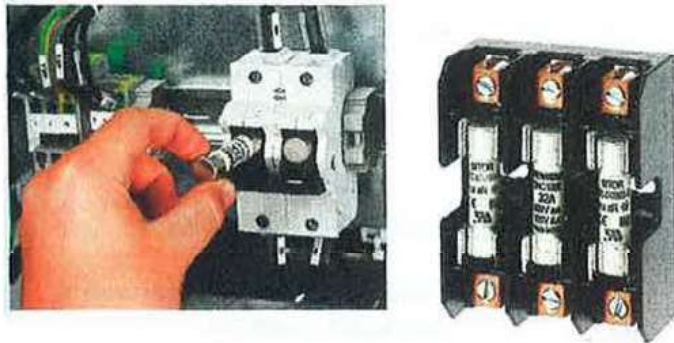


Figura 2.34. Fusibles cilíndricos en base portafusibles. (Cortesía de Siemens.)

- **Fusibles de rosca:** son fusibles de tamaño medio con una intensidad nominal diseñada para proteger circuitos de potencia baja e intermedia. El calibre de los fusibles cilíndricos puede variar entre 2 y 100 A y su poder de corte desde 60 hasta 100 kA. Existen básicamente dos modelos de fusibles de rosca, los denominados DIAZED y NEOZED.



Figura 2.35. Fusibles de rosca tipo DIAZED. (Cortesía de Siemens.)

Tabla 2.16. Relación talla-calibre en fusibles tipo DIAZED.

Talla	Calibre en amperios				
D01	2	4	6	10	16
D02	20	25	35	50	63
D03	80	100			

La base portafusibles en la que se ubican los diferentes fusibles DIAZED y NEOZED puede ser de tipo roscada o de presión:



Figura 2.36. Base portafusibles de presión para fusibles NEOZED. (Cortesía de Siemens.)

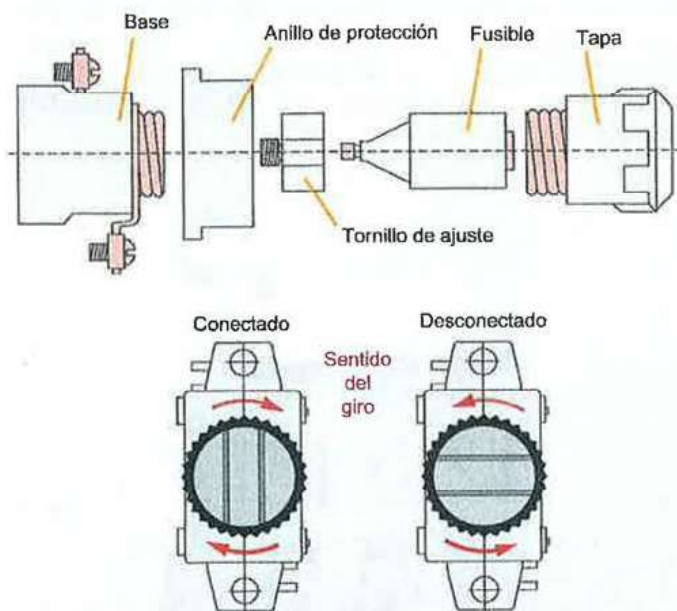


Figura 2.37. Base portafusibles de rosca.

- **Fusibles de cuchilla:** también conocidos como fusibles NH, son dispositivos de gran tamaño con una intensidad nominal diseñada para proteger circuitos de alta potencia, generalmente entre 50 y 1.250 A. Su poder de corte suele ser de 120 kA.

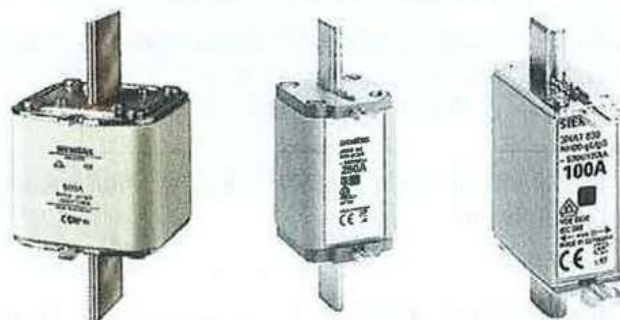


Figura 2.38. Fusibles NH. (Cortesía de Siemens.)

Tabla 2.17. Relación talla-calibre en fusibles de cuchilla NH.

Talla	Calibre en amperios									
00	50	63	80	100	125	160				
0		63	80	100	125	160				
1						160	200	250		
2								250	315	400
3										500 630
4										800 1.000

Dado que la intensidad nominal que puede llegar a recorrer estos fusibles en condiciones normales es muy elevada, es necesario que su instalación se realice en bases portafusibles especiales cuya apertura se efectúa a través de manetas, dispositivos rebatibles, lengüetas de empuñadura y dispositivos similares.



Figura 2.39. Base portafusibles de cuchilla. (Cortesía de Siemens.)

Clase de servicio de los fusibles

Otra clasificación de los diferentes tipos de fusibles se puede realizar atendiendo a la clase de servicio que prestan en las instalaciones eléctricas, quedando identificados por **dos letras**:

- Primera letra: indica la función de protección que realiza el fusible.
- Segunda letra: indica el tipo de receptor a proteger.

Los fusibles más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales son de tipo gL, gM, gR, gG, aM y aR.

Tabla 2.18. Código de identificación de los fusibles.

Primera letra	g	Fusibles de uso general, protegen frente a sobrecargas y cortocircuitos.
	a	Fusibles de acompañamiento, protegen solo frente a cortocircuitos. Deben estar siempre acompañados de otro dispositivo de protección.
Segunda letra	G	Fusibles de uso general.
	M	Fusibles para la protección de motores.
	R	Fusibles de actuación rápida, para la protección de equipos electrónicos.
	D	Fusibles con tiempo de actuación retardado.
	L	Fusibles para la protección de cables y conductores.
	B	Fusibles para la protección de líneas eléctricas de gran longitud.



RECUERDA

En las instalaciones eléctricas de baja tensión, especialmente en las de tipo industrial, es frecuente ubicar los fusibles en el interior de un **seccionador** diseñado para tal fin. Esta combinación se utiliza para aumentar el poder de corte que ofrece el fusible, haciendo más fiable la protección.

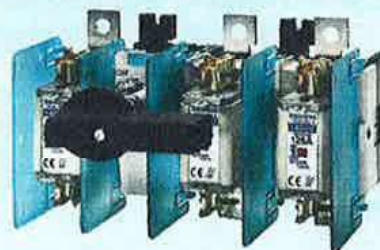


Figura 2.40. Conjunto seccionador-fusible, con un alto poder de corte. (Cortesía de Siemens.)

Diagrama de la característica intensidad/tiempo de un fusible

La capacidad de protección que un fusible es capaz de aportar cuando es ubicado en un circuito eléctrico se puede obtener a partir de su corriente nominal o calibre. Sin embargo, también es importante poder determinar el tiempo que tarda en actuar el dispositivo en función del valor de la intensidad de defecto que circule por la línea afectada por un defecto. Esto se consigue mediante la curva característica intensidad/tiempo:

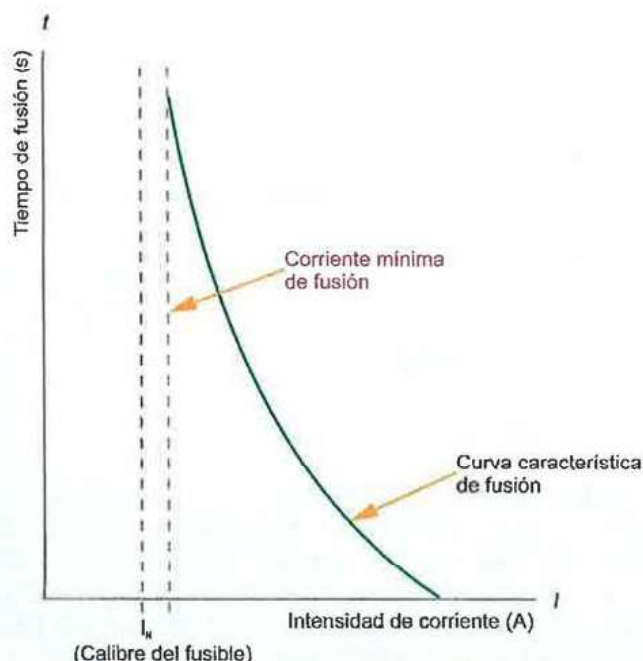


Figura 2.41. Curva característica intensidad/tiempo de un fusible.

- En el **eje vertical** se representa el tiempo, expresado en segundos o milisegundos, que tarda el fusible en actuar. Se denomina generalmente como *tiempo de prearco* o *tiempo de fusión virtual*, y es exactamente el tiempo que transcurre desde el momento en que se produce el defecto hasta que se inicia la fusión.
- En el **eje horizontal** se expresa la intensidad de corriente que hará actuar al dispositivo. Este parámetro puede ser expresado en amperios de corriente eficaz (A) o hacer referencia a la intensidad nominal del fusible ($n \times I_r$).

Es importante destacar que aunque la curva acaba en un determinado valor de intensidad, el fusible será capaz de cortar y aislar corrientes mucho mayores. Este dato, que es en definitiva el poder de corte del dispositivo, debe proporcionarlo el fabricante al no poder obtenerse de la gráfica.

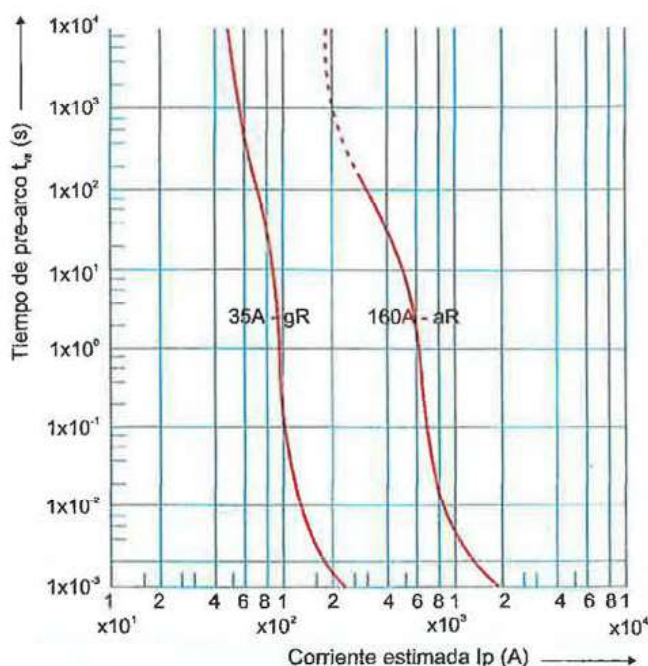


Figura 2.42. Curva característica intensidad/tiempo, aportada por el fabricante, de fusibles tipo gR y aR, de 35 y 160 A respectivamente.



SABÍAS QUE

Existen otros tipos de gráficas o curvas asociadas a los fusibles, como son la *curva de valores de fusión* o el *diagrama de limitación de la corriente*.

Actividad propuesta 2.4

En la siguiente imagen se muestra un fusible. Analiza sus características y responde a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de fusible es?
- ¿Cuál es la intensidad nominal del fusible? ¿Qué expresa este valor?
- Si se produce una sobrecarga igual a la intensidad nominal del fusible, ¿qué ocurriría?
- ¿Cuál es la tensión nominal del fusible? ¿Qué expresa este valor?
- ¿Podríamos utilizar este fusible para proteger un circuito de alumbrado que utiliza un cable flexible de cobre de 1,5 mm², cuya intensidad máxima admisible es de 10 A?



Control y monitoreo de fusibles

En ocasiones sucede que en las instalaciones trifásicas, tras producirse un defecto de tipo sobreintensidad en una de las líneas de alimentación, solamente actúa y se funde uno de los tres fusibles que protegen el circuito de fuerza. En estas situaciones resulta muy probable que alguno de los otros dos fusibles haya resultado dañado, a pesar de no haber actuado, especialmente si se trata de fusibles de pequeño amperaje.

Ante estas situaciones es recomendable sustituir los fusibles de las tres fases, o como mínimo, revisar adecuadamente el correcto estado de los mismos antes de volver a poner en funcionamiento el circuito afectado.

En instalaciones de automatismos muy avanzadas, además, resulta posible monitorizar el estado de un grupo de fusibles mediante un dispositivo denominado **vigilador o controlador de fusibles**.

El uso de estos equipos está orientado fundamentalmente a aquellos fusibles que no pueden equiparse de un contacto de señalización de fusión, permitiendo su integración en los circuitos de señalización centralizada para mejorar la disponibilidad de la instalación y la localización del defecto.

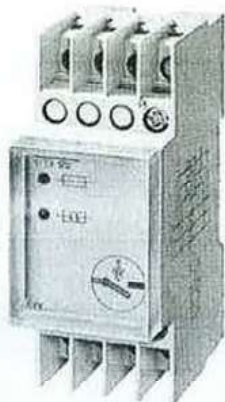


Figura 2.43. Controlador de fusibles. (Cortesía de Siemens.)

2.3.5. El relé térmico

El relé térmico es un dispositivo de protección de las instalaciones eléctricas diseñado para actuar frente a sobreintensidades de tipo sobrecarga. Su utilización está estrechamente ligada a la protección de circuitos que alimentan a motores.

El elemento fundamental de un relé térmico contra sobrecargas es una lámina bimetálica, constituida por la unión de dos metales con diferente coeficiente de dilatación (diferente conductividad térmica), siendo generalmente el de la parte superior más sensible a los cambios de temperatura.

Cuando la corriente que atraviesa el circuito es inferior o igual a la nominal, el calor producido será disipado sin

dificultad por ambos metales. Sin embargo, en el instante en el que empiece a circular una corriente ligeramente superior a la nominal (sobrecarga del circuito), la lámina bimetálica no podrá disipar todo el calor y cada uno de los metales comenzará a dilatarse de manera desigual, con lo que la lámina comenzará a **curvarse**. Al llegar esta curvatura a un punto determinado entrará en contacto con un elemento metálico correspondiente al circuito de maniobra del relé, abriendo o cerrando los contactos auxiliares.

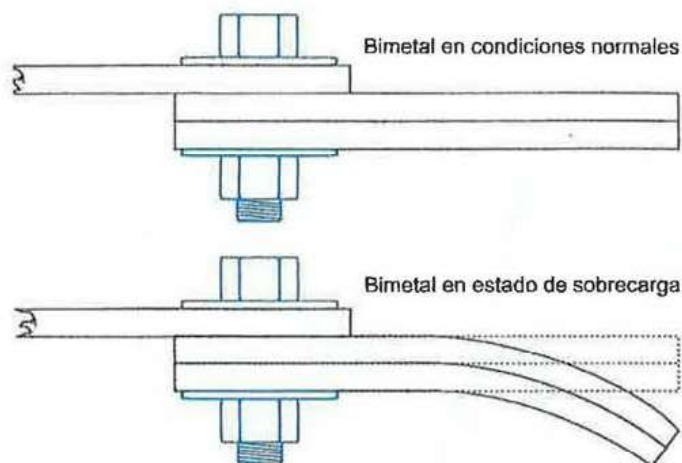


Figura 2.44. Principio de funcionamiento del relé térmico.

La **desconexión** por sobrecarga de un relé térmico se produce siempre en el **circuito de maniobra**, mediante la utilización de un contacto auxiliar normalmente cerrado (NC) en serie con el circuito. También es común utilizar el contacto normalmente abierto (NO) del relé térmico para indicar visualmente que se ha disparado el dispositivo.

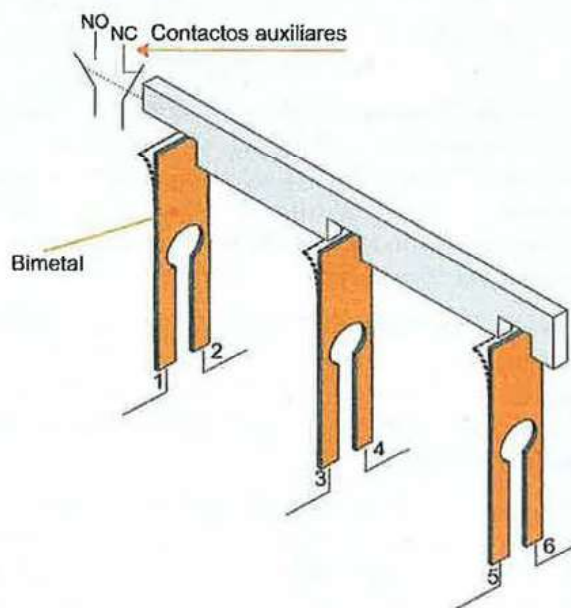


Figura 2.45. Estructura interna del relé térmico.

SABÍAS QUE

La lámina bimetálica de un relé térmico suele estar compuesta de dos aleaciones metálicas llamadas *invar* (bajo coeficiente de dilatación) y *ferroníquel* (alto coeficiente de dilatación).

El proceso de calentamiento del bimetálico puede ser de dos tipos:

- **Directo:** si la corriente atraviesa íntegramente la lámina. Se utiliza en instalaciones de pequeña potencia (intensidad nominal reducida).
- **Indirecto:** si la corriente circula a través de un arrollamiento calefactor que rodea la lámina o la lectura se hace a través de transformadores de intensidad. Se utiliza en instalaciones de gran potencia, con intensidades muy elevadas.

Tabla 2.19. Simbología asociada al relé térmico.

	Símbolo
Relé térmico	
Contactos auxiliares del relé térmico	

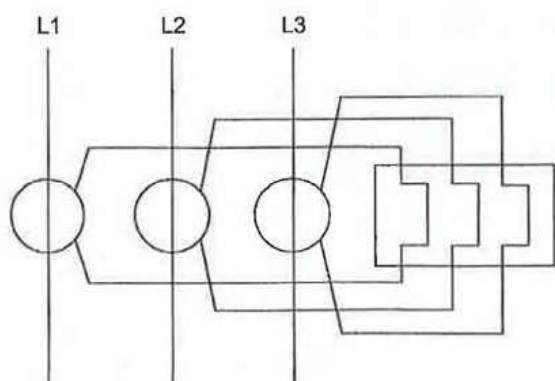


Figura 2.46. Medida indirecta de intensidad por parte de un relé térmico.

Otra clasificación de los relés térmicos puede realizarse en función de la forma constructiva y del tipo de conexión al circuito de potencia. Normalmente estos dispositivos de protección disponen de varias barras metálicas en la par-

te superior para ser acoplados directamente al contactor. Otros modelos se caracterizan por ser independientes, disponiendo de bornes de conexión al circuito de fuerza tanto en la parte inferior como en la superior.



Figura 2.47. Relés térmicos de conexión directa a contactor.



Figura 2.48. Relé térmico de conexión independiente.

Los valores característicos asociados a los relés térmicos quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).
- Intensidad o amplitud de reglaje.
- Contactos auxiliares.
- Características de montaje y forma constructiva.
- Temperatura de trabajo.

SABÍAS QUE

La combinación entre un contactor y un relé térmico cuando se encuentran acoplados suele denominarse *discontactor*.

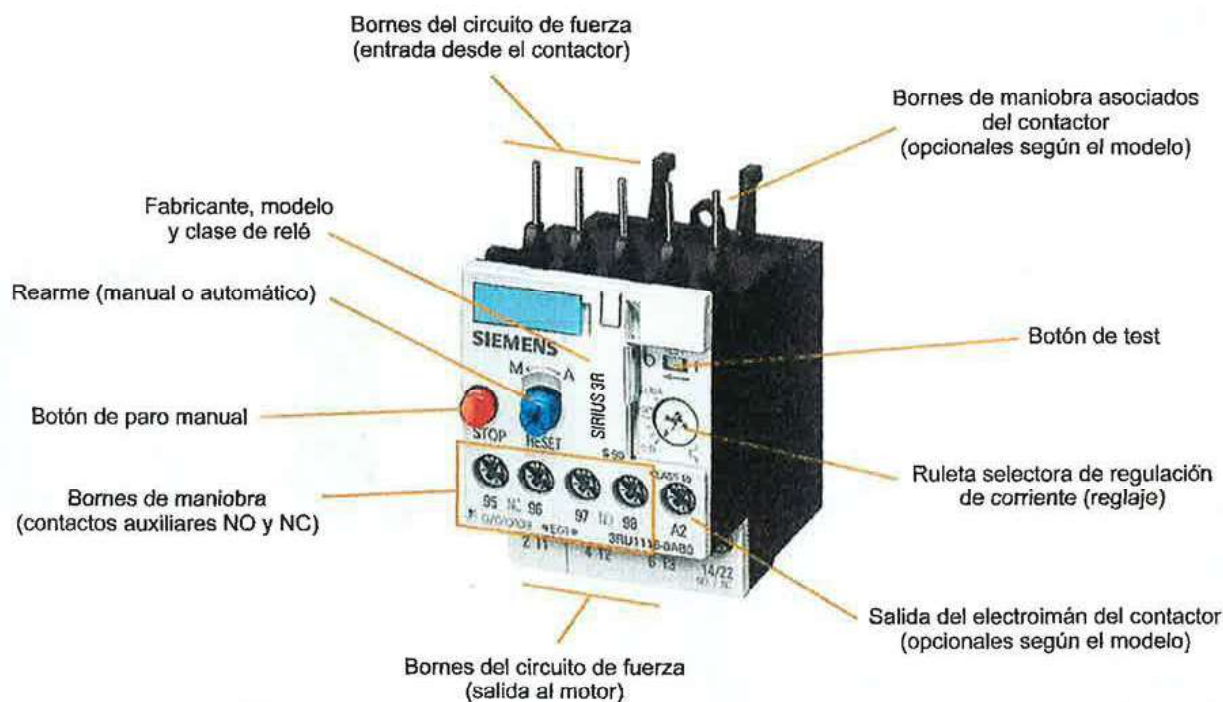


Figura 2.49. Características de un relé térmico.

En los relés térmicos, puesto que disponen de una ruleta selectora de **reglaje**, es posible seleccionar la intensidad a la que actuará el dispositivo entre unos márgenes predefinidos por el fabricante. Para establecer una corriente de reglaje adecuada, debe tenerse en cuenta la **potencia del motor**, su **factor de potencia** y el **nivel de sobrecarga** al que puede trabajar.

Cabe destacar que los relés térmicos comercializados en la actualidad, además de ofrecer protección frente a sobrecargas, son capaces de realizar otras funciones como:

- Detección fallo de fase.
- Protección frente a desequilibrio de fases.
- Compensación automática a temperatura ambiente.

Estos dispositivos, sin embargo, deben ir **siempre acompañados** en los circuitos eléctricos por dispositivos de protección frente a sobreintensidades de tipo cortocircuito, ya que en estos casos, dado que la intensidad de defecto es muy elevada pero dura poco tiempo, el bimetálico del relé térmico no tiene tiempo de calentarse y la protección térmica no resulta suficiente para garantizar la seguridad.



RECUERDA

En todos los circuitos de una instalación eléctrica debe quedar garantizada la protección frente a sobrecargas, frente a cortocircuitos y frente a contactos directos e indirectos.

Tabla 2.20. Asociación entre relés térmicos y fusibles para la protección de circuitos. (Recomendaciones de Schneider Electric.)

Zona de ajuste de relé	Fusible para asociar al relé	
	aM	gG
0,11 ... 0,16 A	0,25 A	0,5 A
0,16 ... 0,23 A	0,25 A	0,5 A
0,23 ... 0,36 A	0,5 A	1 A
0,36 ... 0,54 A	1 A	1,6 A
0,54 ... 0,8 A	1 A	2 A
0,8 ... 1,2 A	2 A	4 A
1,2 ... 1,8 A	2 A	6 A
1,8 ... 2,6 A	2 A	6 A
2,6 ... 3,7 A	4 A	10 A
3,7 ... 5,5 A	6 A	16 A
5,5 ... 8 A	8 A	20 A
8 ... 11,5 A	10 A	25 A

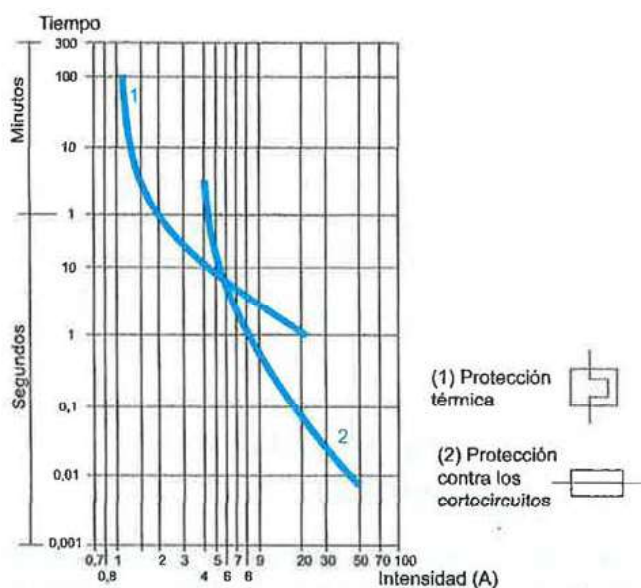


Figura 2.50. Curva característica intensidad/tiempo resultante de la combinación en un circuito eléctrico de un fusible y un relé térmico.

2.3.6. El interruptor automático

El interruptor automático es un dispositivo de protección que se basa en el mismo principio de funcionamiento del fusible, pero con la ventaja de que no tiene que ser sustituido cada vez que se produce una sobreintensidad.

Los interruptores automáticos se clasifican en dos grupos en función del tipo de protección que ofrecen:

- **Interruptor automático magnético:** protege únicamente frente a sobreintensidades de tipo magnético (cortocircuitos). Su uso no es muy frecuente en las instalaciones eléctricas convencionales, aunque en los circuitos industriales que alimentan a motores eléctricos suele utilizarse en combinación con relés térmicos.
- **Interruptor automático magnetotérmico:** protege frente a sobreintensidades de tipo térmico y magnético (sobrecargas y cortocircuitos). Este es el dispositivo de protección más utilizado en las instalaciones eléctricas. De hecho, en la práctica, al hacer referencia a un interruptor automático se hace referencia por defecto a los de tipo magnetotérmico. También resulta posible referirse a este dispositivo como **disyuntor**.

Este componente consta de un resorte interno que actúa y desconecta un circuito cuando se sobrepasa la intensidad para la que ha sido diseñado.

La zona de disparo magnético se basa en una cámara de extinción del arco y un electroimán que activa el muelle que controla la maneta del interruptor. La zona de disparo térmico se basa en láminas bimetálicas con el mismo principio de funcionamiento que los relés térmicos.

Tabla 2.21. Simbología asociada a los interruptores automáticos.

	Símbolo normalizado	Símbolo simplificado
Interruptor automático magnético		
Interruptor automático magnetotérmico		

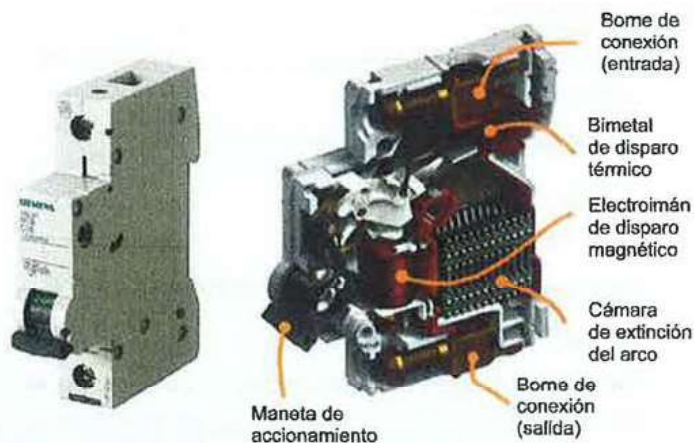


Figura 2.51. Vista interna y externa de un interruptor automático magnetotérmico.

Cuando el dispositivo actúa y desconecta el circuito, se dice entonces que **se ha disparado** el interruptor. Para volver a conectar el circuito una vez corregido el defecto que ha producido la sobreintensidad basta con accionar de nuevo la maneta del interruptor, acción que se conoce como **rearme**.

Los interruptores automáticos deben ser siempre de **corte omnipolar simultáneo**, es decir, deben poder desconectar todos los conductores activos del circuito que protegen, fases y neutro, en caso de defecto. (Esto no es aplicable en el caso de los interruptores de control de potencia, puesto que su función no es la de protección, sino la de control.)

La medida de la intensidad, sin embargo, el dispositivo podrá realizarla sobre las fases y el neutro o únicamente sobre las fases. En este último caso, resulta indispensable **respetar el borne del conductor neutro** a la hora de realizar la conexión del cableado.

Tabla 2.22. Interruptores automáticos en función del tipo de corte.

Bipolar (polo + neutro)	Bipolar (dos polos)	Tripolar	Tetrapolar (tres polos + neutro)	Tetrapolar (cuatro polos)

Características de los interruptores automáticos magnetotérmicos

Los valores característicos asociados a los interruptores automáticos magnetotérmicos quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tipología del interruptor automático (industrial o doméstico).
- Intensidad nominal o de disparo (A).
- Tensión nominal (V).
- Poder de corte (A o kA).
- Curva de disparo (característica intensidad/tiempo).
- Número de polos.
- Polaridad (en algunos interruptores se marca el borne de neutro).
- Temperatura de trabajo.
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

Tipos de interruptores automáticos magnetotérmicos

Los interruptores automáticos pueden ser clasificados en dos grupos distintos en función de su forma y tamaño: *domésticos e industriales*.

- **Interruptores automáticos domésticos:** se utilizan para proteger los circuitos de pequeña o mediana potencia, siendo los más comunes dentro de las instalaciones eléctricas convencionales. En instalaciones industriales también son muy usados para la protección de circuitos de maniobra, alumbrado y fuerza, siempre que la potencia de los receptores no supere los 86,6 kW.



SABÍAS QUE

Existe un tipo de interruptor automático doméstico compacto denominado **DPN**. Gracias a estos dispositivos resulta posible reducir el tamaño de los cuadros eléctricos, ya que ocupan exactamente la mitad de espacio que los convencionales.

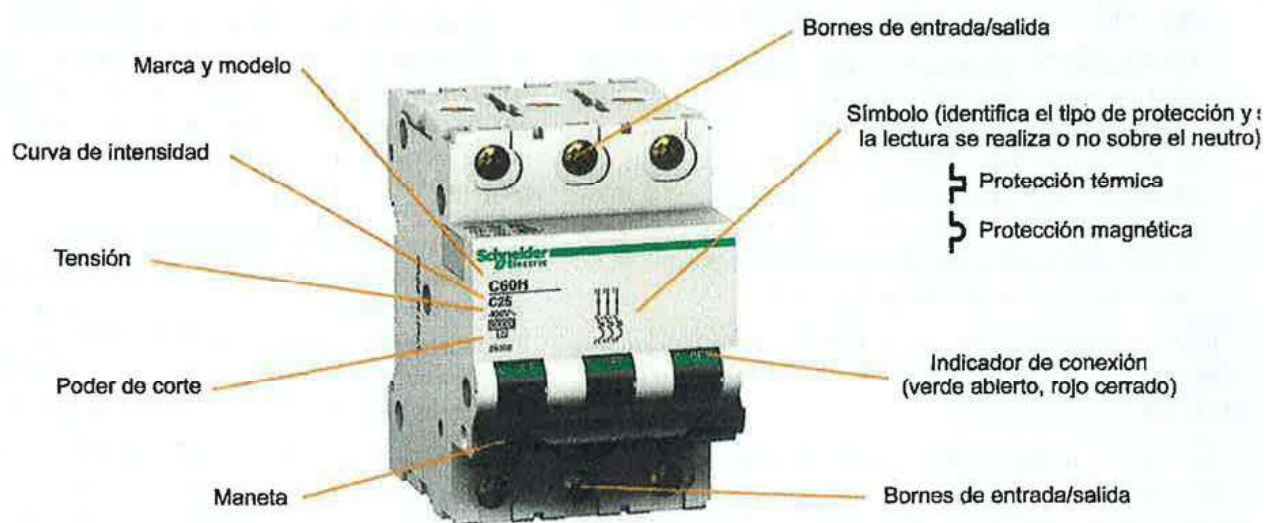


Figura 2.52. Parámetros característicos de un interruptor automático.

Los interruptores automáticos domésticos que se comercializan en la actualidad pueden tener los siguientes valores de intensidad nominal:

Tabla 2.23. Intensidades nominales de los interruptores automáticos domésticos.

1 A	2 A	6 A	10 A	16 A	20 A	25 A
32 A	40 A	50 A	63 A	80 A	100 A	125 A

La denominación práctica de los interruptores automáticos domésticos se realiza atendiendo a su intensidad nominal y número de polos. Por ejemplo, un interruptor bipolar de 16 A se denomina como "2x16A", un interruptor tetrapolar de 40 A se denomina como "4x40A", etc.

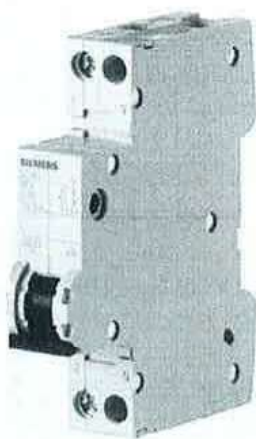


Figura 2.53. Interruptor automático doméstico DPN 2x16 A (polo + neutro). (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.54. Interruptor automático doméstico 2x16A. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.55. Interruptor automático doméstico 3x16A. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.56. Interruptor automático doméstico 4x16A. (Cortesía de Siemens.)

▪ **Interruptores automáticos industriales:** están diseñados para circuitos eléctricos de gran potencia, donde solo pueden ser manipulados por personal autorizado con los conocimientos técnicos adecuados. Suelen encontrarse ubicados en los cuadros generales de grandes instalaciones como naves industriales, hospitales, talleres, estadios deportivos, edificios de gran envergadura, etc. También es frecuente su uso para alimentar maquinaria industrial cuya intensidad nominal supera los 125 A.

Los interruptores automáticos industriales pueden clasificarse en dos subgrupos:

— **Interruptores automáticos industriales de caja moldeada:** diseñados para circuitos de mediana potencia. En la actualidad se fabrican interruptores de caja moldeada con intensidades que oscilan entre los 25 y los 3.200 A.



Figura 2.57. Interruptores automáticos de caja moldeada de tres y cuatro polos.

— **Interruptores automáticos industriales de bastidor abierto:** diseñados para máquinas de alta potencia o para la cabecera de los cuadros generales de las grandes instalaciones. Se fabrican de intensidades nominales que pueden llegar a los 6.000 A.



Figura 2.58. Interruptor automático de bastidor abierto.

SABÍAS QUE

Los interruptores industriales de bastidor abierto en ocasiones son tan grandes que es necesario hacer uso de herramientas mecánicas específicas para poder rearmarlos.

Curvas de disparo

El diagrama de la característica intensidad/tiempo de un interruptor automático se conoce como curva de disparo. La curva tiene dos zonas bien diferenciadas, una en la que el disparo se produce tras un largo período de tiempo para bajas intensidades de defecto (zona de sobrecarga) y otra en la que el disparo es prácticamente instantáneo para intensidades muy elevadas (zona de cortocircuito).

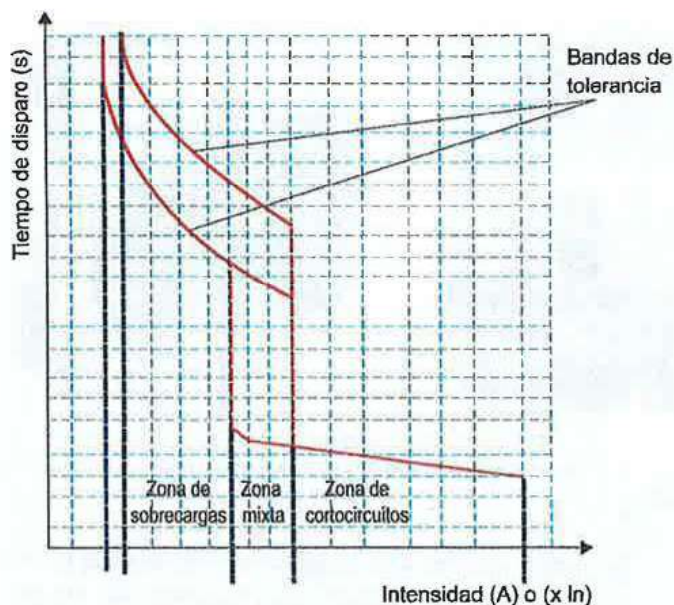


Figura 2.59. Representación de la curva de disparo de un interruptor automático.

Todas las curvas de disparo de los interruptores **automáticos domésticos** se encuentran normalizadas y clasificadas por letras en función de su uso y características de protección. Las de mayor uso en las instalaciones eléctricas son las siguientes:

- **Curva B:** protección magnetotérmica de generadores, personas y cables de gran longitud. Disparo entre 3 y 5 veces la intensidad nominal. Recomendada en sistemas TN e IT.
- **Curva C:** protección magnetotérmica de circuitos básicos (alumbrado, tomas de corriente y otras aplicaciones generales). Disparo entre 5 y 10 veces la intensidad nominal.

- **Curva D:** protección magnetotérmica de cables en los que los receptores presentan fuertes puntas de arranque, como motores y transformadores. Disparo entre 10 y 14 veces la intensidad nominal.
- **Curva K:** protección magnetotérmica de cables en los que los receptores presentan fuertes puntas de arranque o elevada corriente absorbida. Disparo entre 10 y 14 veces la intensidad nominal.
- **Curva Z:** protección magnetotérmica para circuitos electrónicos. Disparo entre 2,4 y 3,6 veces la intensidad nominal.
- **Curva MA:** protección exclusivamente magnética para el arranque de motores. Disparo fijado a 12 veces la intensidad nominal.
- **Curva ICP:** es una curva especial para dispositivos de control de potencia.

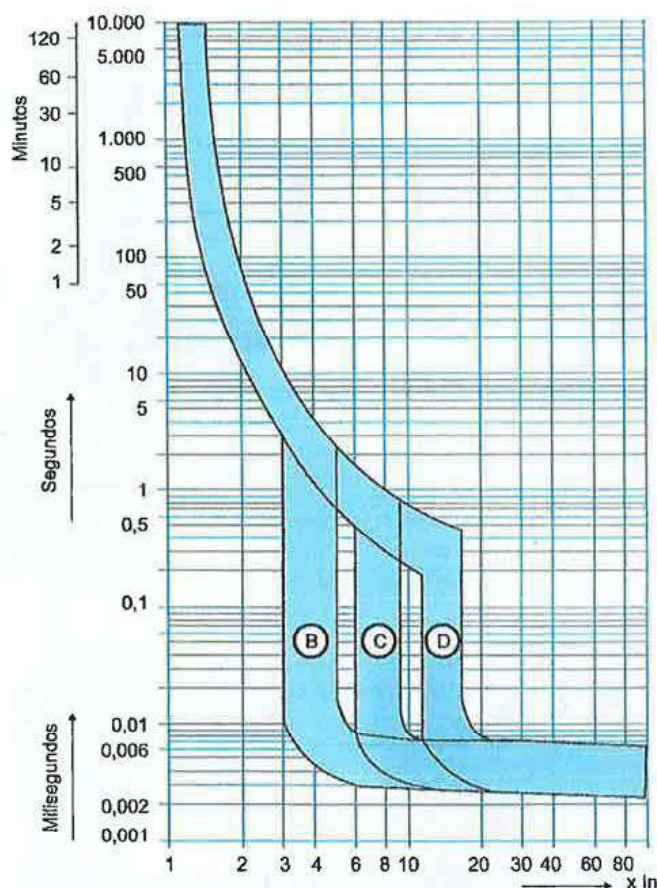


Figura 2.60. Representación de las curvas de disparo B, C y D.

Las curvas de disparo de los interruptores **automáticos de tipo industrial** son similares a las anteriores, pero estos equipos tienen la peculiaridad de poder ser regulados en este sentido.

En la parte frontal de un interruptor automático industrial se disponen una serie de ruletas selectoras (o un *display* digital en los modelos más modernos) a través de las cuales es posible modificar la intensidad y el tiempo de disparo dentro de unos márgenes predefinidos, tanto de la zona de sobrecarga como de la zona de cortocircuito.

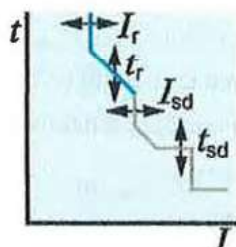


Figura 2.64. Ruletas de reglaje de un interruptor automático de caja moldeada de 250 A.

Actividad propuesta 2.5

A continuación se exponen diferentes tipos de cargas eléctricas. En cada uno de los casos, razona adecuadamente el tipo de interruptor automático que seleccionarías para realizar la protección más adecuada. Debes indicar el tipo de interruptor automático, y cuando sea posible, su número de polos, su intensidad nominal y curva de disparo.

- Motor eléctrico trifásico de 5,5 kW.
- Toma de corriente en una vivienda.
- Cuadro secundario de un edificio con régimen de neutro tipo IT cuya carga asociada se estima en 60 kW.
- Circuitos de alumbrado de una instalación industrial.
- Componentes electrónicos muy sensibles.
- Máquina eléctrica rotativa (trifásica) de 25 kW con fuertes puntas de arranque.
- Cuadro general de baja tensión de una fábrica de grandes dimensiones.
- Horno eléctrico monofásico de 20 A de intensidad nominal.

2.3.7. El interruptor diferencial

Cuando en una instalación eléctrica se produce un contacto, sea de tipo directo o indirecto, aparece una **corriente de falta o de fuga** que se deriva hacia tierra. Esta corriente será conducida por los conductores de protección en el caso

de contactos indirectos y por el propio cuerpo humano en el caso de contactos directos.

El interruptor diferencial, también conocido como *dispositivo diferencial residual* (DDR), es un elemento de protección capaz de detectar las corrientes de fuga cuando tienen un valor lo suficientemente pequeño como para que no puedan afectar a la integridad de las personas, desconectando automáticamente el circuito en el que se ha producido la **derivación**.

Tabla 2.24. Simbología asociada a los interruptores diferenciales.

	Símbolo normalizado (circuitos monofásicos)	Símbolo normalizado (circuitos trifásicos)
Interruptor diferencial		



SABÍAS QUE

Las instalaciones eléctricas a las que se suministra energía mediante el esquema de distribución TT (la gran mayoría) deben contar obligatoriamente con dispositivos DDR que protejan todos los circuitos y receptores.

Principio de funcionamiento del interruptor diferencial

El interruptor diferencial debe disponer siempre de un borne para conectar el conductor neutro, puesto que el dispositivo se encarga de controlar que la corriente que entra al circuito por la fase sea la misma que sale por el conductor neutro.

En este sentido, y analizando la siguiente Figura 2.62, resulta muy sencillo comprender su funcionamiento:

Si la corriente de retorno I_2 es menor que la corriente de entrada I_1 , significa que en el circuito protegido, aguas abajo del dispositivo, hay una corriente de derivación hacia tierra (a través del conductor de protección o de una persona), cuyo valor será la diferencia entre I_1 e I_2 .

Esta diferencia entre la corriente de entrada y la de salida hace que se produzca un flujo magnético en el toroide del interruptor que genera la corriente de disparo I_3 , que accionará el dispositivo, desconectando el circuito.

La lectura de las corrientes del circuito puede ser directa (si atraviesan internamente el dispositivo) o indirecta (si la lectura se hace a través de transformadores de intensidad *toroidales*). Como resulta evidente, la lectura indirecta está

recomendada para circuitos de media y alta potencia. En estos casos el dispositivo de protección se denomina **relé diferencial**, y la desconexión del circuito afectado la realiza un interruptor automático de tipo industrial asociado a este.

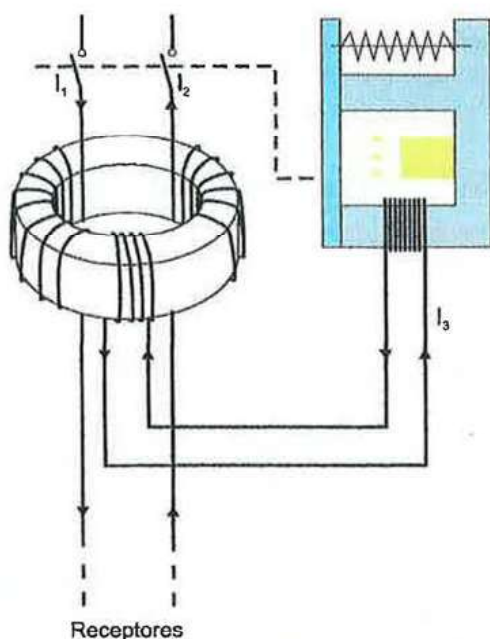


Figura 2.62. Principio de funcionamiento del interruptor diferencial.



Figura 2.63. Interruptor diferencial monofásico. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.64. Interruptor diferencial trifásico. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.65. Relé diferencial. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.66. Toroidal de medida indirecta. (Cortesía de Schenider Electric.)

Características de los interruptores diferenciales

Los valores característicos asociados a los interruptores diferenciales quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tipología del interruptor diferencial.
- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal de trabajo (A).
- Sensibilidad, o intensidad de disparo (A).
- Tiempo de disparo (s).
- Número de polos.
- Polaridad (en algunos diferenciales se marca el borne de neutro).
- Temperatura de trabajo.
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

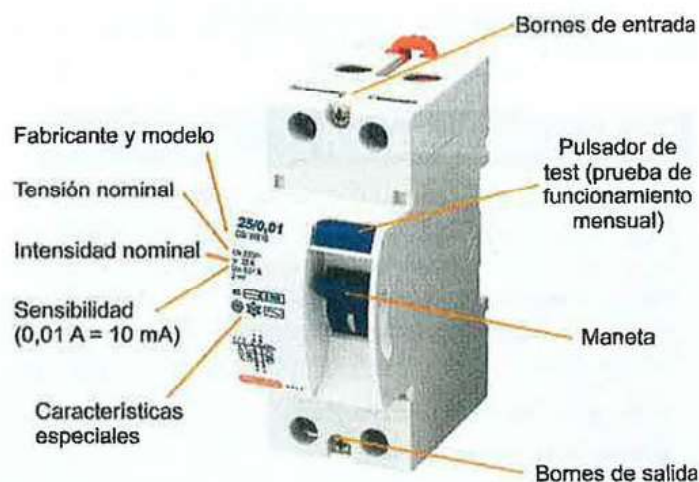


Figura 2.67. Parámetros característicos de un interruptor diferencial.



SABÍAS QUE

Es muy importante que los interruptores diferenciales se conecten junto a dispositivos de protección magnetotérmica que garanticen que no se supera su intensidad nominal, de lo contrario el diferencial podría quemarse. Cuando esto ocurre se dice que el interruptor diferencial está **protegido**.

Sensibilidad de disparo

La sensibilidad del interruptor diferencial es la característica fundamental del dispositivo, pues determina la máxima corriente de fuga que va a dejar circular por un circuito

antes de actuar y desconectarlo. Cuanto más pequeña sea la sensibilidad del diferencial, más protegido estará el circuito.

Los interruptores diferenciales convencionales poseen una sensibilidad fija, la cual debe estar normalizada en uno de los valores que se muestran a continuación:

Tabla 2.25. Valores de sensibilidad de los interruptores diferenciales domésticos.

Sensibilidad	Aplicaciones
Alta sensibilidad	10 mA Circuitos críticos para la seguridad de las personas. Utilizados en ambientes con presencia constante de humedad, tales como saunas, equipos de hidromasaje, etc.
	30 mA Cualquier circuito que alimente receptores que vayan a ser manipulados por personas (es la máxima sensibilidad permitida en viviendas por el REBT).
Baja sensibilidad	100 mA Cuadros eléctricos secundarios.
	300 mA Cuadros eléctricos generales, protección de maquinaria de gran potencia, instalaciones de alumbrado exterior.
	500 mA Cuadros eléctricos generales.



SABÍAS QUE

Para garantizar la seguridad e integridad de las personas, el Reglamento de Baja Tensión establece que los circuitos deben estar protegidos frente a corrientes diferenciales de manera que se garantice que a una persona no pueda atravesarle una corriente mayor a 30 mA, durante como máximo 310 milisegundos.

La denominación práctica de los interruptores diferenciales se realiza atendiendo a su intensidad nominal, número de polos y sensibilidad. Por ejemplo, un interruptor diferencial monofásico de 16 A y 30 mA se denomina como "2x16A/30", un interruptor diferencial trifásico de 125 A y 300 mA se denomina como "4x125A/300", etc.

Los interruptores diferenciales de tipo relé, al contrario de lo que ocurre con los convencionales, pueden ser **regulados** tanto en intensidad como en tiempo de disparo.

Generalmente, el reglaje de la sensibilidad puede establecerse entre 0,03 y 3 A, y el valor del tiempo de disparo entre 0,01 y 5 segundos.

Esta característica asociada a los relés diferenciales hace que sean muy utilizados en las instalaciones industriales.

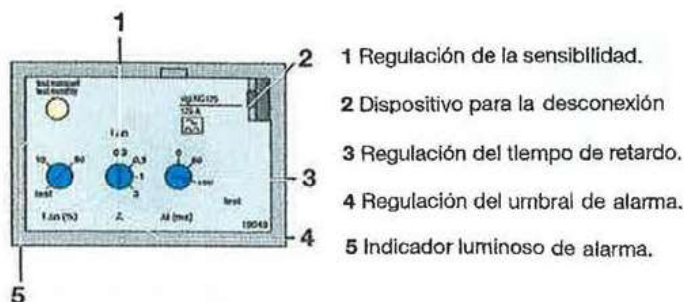


Figura 2.68. Vista frontal de la zona de reglaje de un relé diferencial.

Clasificación de los interruptores diferenciales

Además de los interruptores diferenciales ya estudiados, de tipo convencional y relé, se puede ampliar la clasificación de estos dispositivos más compleja, atendiendo a características específicas de su funcionamiento:

- Interruptor diferencial selectivo o **superinmunizado** ("SI"). Discrimina perturbaciones en la red y las ondas armónicas, evitando disparos intempestivos.
- Interruptor diferencial **rearmable**. La reconexión del dispositivo se realiza automáticamente en caso de que la derivación no sea permanente.
- Interruptor automático diferencial tipo **Vigi**. Se trata de un bloque formado por un interruptor diferencial y un interruptor automático. Con este componente se facilitan las conexiones, queda siempre garantizado que el diferencial se encuentra protegido, e incluso con algunos modelos compactos, se puede ahorrar espacio en el cuadro.
- Relé diferencial programable. Es un relé diferencial con opciones de configuración y reglaje más sofisticadas.



Figura 2.69. Interruptor diferencial rearmable. (Cortesía de Gewiss.)



Figura 2.70. Relé diferencial programable. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.71. Bloque Vigi. (Cortesía de Schneider Electric.)



SABÍAS QUE

Si una instalación eléctrica se protege mediante interruptores diferenciales de baja sensibilidad, es necesario que el valor de la resistencia de puesta a tierra tenga unos valores mínimos, para garantizar la integridad de las personas.

2.3.8. El descargador de sobretensiones

El descargador de sobretensiones, también conocido como limitador de sobretensiones, es un dispositivo de protección de las instalaciones eléctricas frente a los aumentos repentinos del nivel de voltaje.

Su interior está formado por un material capaz de derivar a tierra las sobretensiones, evitando que penetren en la instalación y dañen a los equipos y materiales eléctricos.

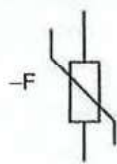


Figura 2.72. Símbolo genérico asociado al descargador de sobretensiones.

El uso del descargador de sobretensiones no resulta siempre obligatorio, pero es especialmente recomendable en aquellas regiones donde el número de rayos que se contabilizan cada año es muy elevado. No obstante, el Reglamento de Baja Tensión establece, entre otros supuestos, que será obligatorio el uso de dispositivos limitadores de las sobretensiones en:

- Instalaciones en edificios que cuenten con sistemas pararrayos.
- Instalaciones en las que se puedan ver afectadas actividades agrícolas o industriales no interrumpibles.
- Instalaciones en las que exista riesgo de fallo afectando a la vida humana.



SABÍAS QUE

El mapa en el que se representan geográficamente las zonas de mayor o menor riesgo de actividad de rayos se denomina *isocerámico*.



Características de los descargadores de sobretensiones

Las características de los descargadores de sobretensiones quedan definidas por los siguientes parámetros:

- **Tensión nominal o de disparo:** es la tensión a partir de la cual el descargador entra en funcionamiento. Se expresa en voltios (V) o kilovoltios (kV).
- **Número de descargas (vida útil):** es el número de descargas a tierra que es capaz de realizar. Cuando se supera este valor deja de funcionar.

Los descargadores de sobretensiones llevan incorporado un indicador (generalmente luminoso) que marca el fin de su vida útil. De este modo, el usuario sabe cuándo debe sustituir el cartucho por otro nuevo.



Figura 2.73. Descargador de sobretensiones de tres y cuatro polos. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.74. Cartucho interno de un descargador de sobretensiones con indicador de vida útil. (Cortesía de Siemens.)

Clasificación de los limitadores de sobretensiones

La normativa actual diferencia entre cinco tipos de limitadores de sobretensiones distintos, dependiendo de sus aplicaciones y características:

- Protectores de sobretensiones de instalaciones eléctricas:
 - Tipo 1: nivel de protección alto.
 - Tipo 2: nivel de protección medio.
 - Tipo 3: nivel de protección bajo.
- Protectores de sobretensiones tipo pararrayos.
- Protectores de sobretensiones para redes de telecomunicación.

Instalación del limitador de sobretensiones

Los descargadores de sobretensiones asociados a las instalaciones interiores industriales pueden ser de tipo 1, 2 y 3:

- Los descargadores de **tipo 1** deberán ser instalados a la entrada de la instalación, ya que su nivel de protección así lo exige.
- Los descargadores de **tipo 2** deben instalarse siempre aguas abajo de los protectores de tipo 1, en todas las instalaciones con protección externa, en el cuadro general de baja tensión. Su instalación en la cabecera de la instalación será suficiente cuando no exista protección externa.
- Los descargadores de **tipo 3** siempre deben ir precedidos por descargadores de tipo 2. Deben instalarse para la protección específica de equipos sensibles, o en equipos que estén a una distancia superior a 20 metros de la ubicación del protector de tipo 2.



Figura 2.75. Ejemplo de una instalación con tres tipos de descargadores de sobretensiones.

Los descargadores de sobretensiones de tipo 1 y 2, puesto que irán siempre instalados en cuadros eléctricos, deben cumplir unos requisitos de instalación más específicos:

- Se debe instalar el dispositivo de protección recomendado por el fabricante, aguas arriba del limitador, con objeto de mantener la continuidad de todo el sistema evitando el disparo del interruptor general automático del cuadro (IGA).
- Para evitar disparos intempestivos de los interruptores diferenciales, el descargador debe instalarse siempre aguas arriba del interruptor diferencial (entre el interruptor general y el propio interruptor diferencial). Esto no es aplicable si se utilizan interruptores diferenciales superinmunizados o selectivos.
- La distancia entre el bornero de tierra del limitador y el borne aguas arriba del interruptor automático de desconexión debe ser la menor posible, y nunca superior a 0,5 metros.
- Si se utiliza más de un limitador por instalación, la distancia entre ellos debe ser mayor de 10 m.
- Las tomas de tierra de los receptores deben conectarse al mismo bornero de tierra que el limitador de sobretensiones.

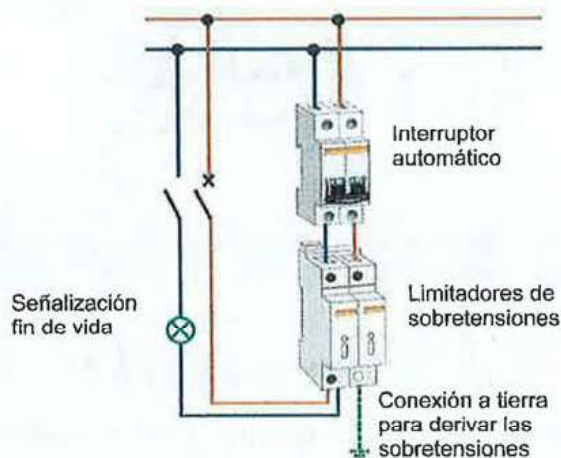


Figura 2.76. Ejemplo de conexionado de un descargador de sobretensiones tipo 1 o 2.

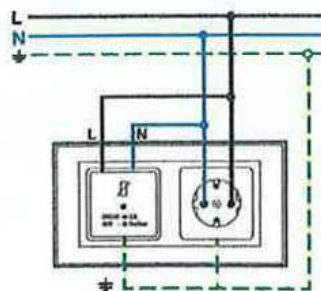


Figura 2.77. Ejemplo de conexionado de un descargador de sobretensiones tipo 3.

Respecto a la elección del interruptor automático de desconexión más adecuado para un limitador de sobretensiones, depende en gran medida del fabricante, pero de manera genérica se pueden establecer las siguientes prescripciones:

- Para limitadores de 8, 15 y 40 kA el interruptor magnetotérmico será de curva C con una intensidad nominal de 20 A.
- Para limitadores de 65 kA el interruptor magnetotérmico será de curva C con una intensidad nominal de 50 A.
- El interruptor magnetotérmico debe ser de corte omnipolar.
- El poder de corte del interruptor magnetotérmico se escogerá en función de la intensidad de cortocircuito máxima de la instalación, sin tener en cuenta la influencia del limitador de sobretensiones.

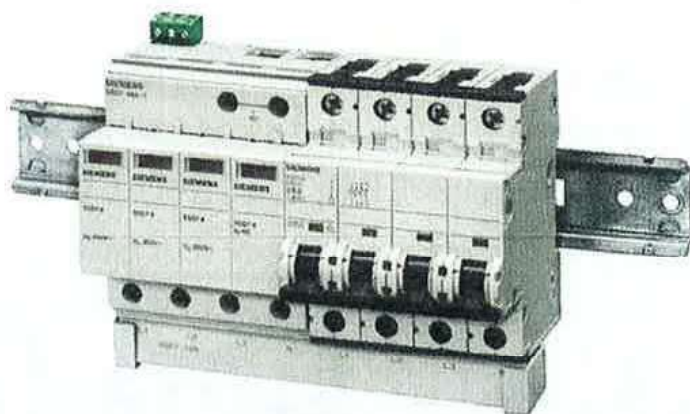


Figura 2.78. Detalle de un descargador de sobretensiones e interruptor automático asociado. (Cortesía de Siemens.)

2.3.9. El concepto de selectividad

La selectividad es la **coordinación de los dispositivos de protección** por corte de la alimentación, para que un determinado defecto eléctrico sea eliminado por la protección ubicada inmediatamente aguas arriba del mismo, de manera que el resto de los circuitos de la instalación no se vean afectados. Si la condición anterior no se respeta, se dice entonces que la selectividad es parcial, o incluso nula.

Observando la Figura 2.79, resulta posible entender perfectamente este concepto. Si se produce un defecto en el circuito de alimentación de la carga 2, el dispositivo 3 debe activarse e interrumpir dicho circuito; sin embargo, tanto el dispositivo 2, como el dispositivo 1 no deben actuar ante el defecto, de manera que la carga 1 pueda seguir funcionando con normalidad. En este caso particular, los dispositivos 2 y 3 deberán guardar selectividad con respecto al dispositivo 1.

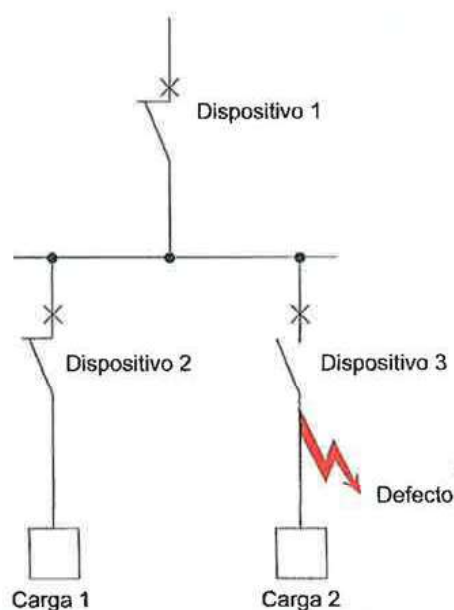


Figura 2.79. Principio de selectividad.

Deben mantener la selectividad todos los dispositivos de protección de las instalaciones eléctricas destinados a proteger la instalación frente a sobreintensidades (selectividad magnetotérmica), así como los destinados a proteger a las personas frente a corrientes diferenciales (selectividad diferencial).

Las **técnicas de selectividad más utilizadas en interruptores diferenciales** están basadas en la utilización de tres parámetros de funcionamiento de estos dispositivos:

- Escalonando el valor de la **sensibilidad**, incrementando el amperaje de los dispositivos de protección a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación.
- Escalonando el **tiempo de disparo**, incrementando el tiempo que el dispositivo tarda en entrar en funcionamiento a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación (solo aplicable en dispositivos diferenciales que permitan seleccionar el tiempo de disparo).
- Utilizando interruptores diferenciales **superinmunizados** aguas arriba de otros con la misma sensibilidad.

Las **técnicas de selectividad más utilizadas en interruptores automáticos** están basadas en la utilización de dos parámetros de funcionamiento de estos dispositivos:

- Escalonando el valor de la **corriente de disparo**, incrementando el amperaje de los dispositivos de protección a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación.
- Escalonando el **tiempo de disparo**, incrementando el tiempo que el dispositivo tarda en entrar en funcio-

namiento a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación (solo aplicable en interruptores automáticos industriales que permitan trabajar sobre la curva de disparo).

La selectividad de un circuito eléctrico puede ser **total o absoluta**, si un defecto en cualquier punto de la instalación es eliminado por el dispositivo de protección situado inme-

diatamente aguas arriba del defecto sin que se vean afectados los demás dispositivos de protección; o **parcial**, en el caso de interruptores automáticos, si la máxima corriente de cortocircuito posible es superior al ajuste de la corriente de disparo por cortocircuito del interruptor automático situado inmediatamente aguas arriba del defecto, de manera que para esa condición disparará también un segundo interruptor automático.

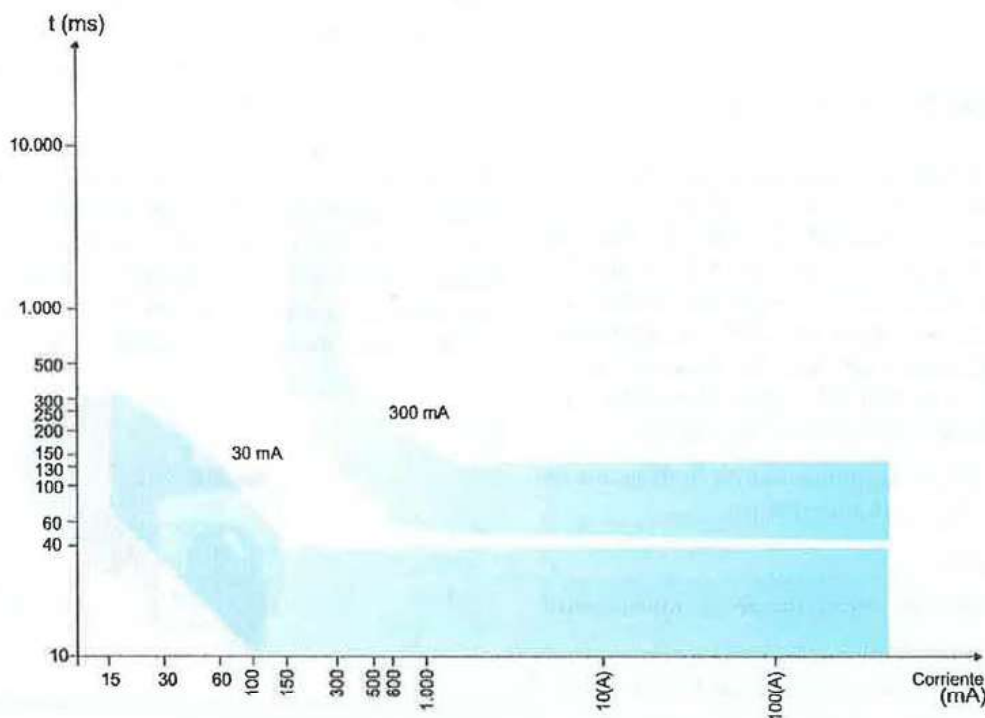


Figura 2.80. Ejemplo de selectividad en interruptores diferenciales domésticos de 30 mA y 300 mA. (El diferencial de 300 mA estará situado aguas arriba del diferencial de 30 mA.)

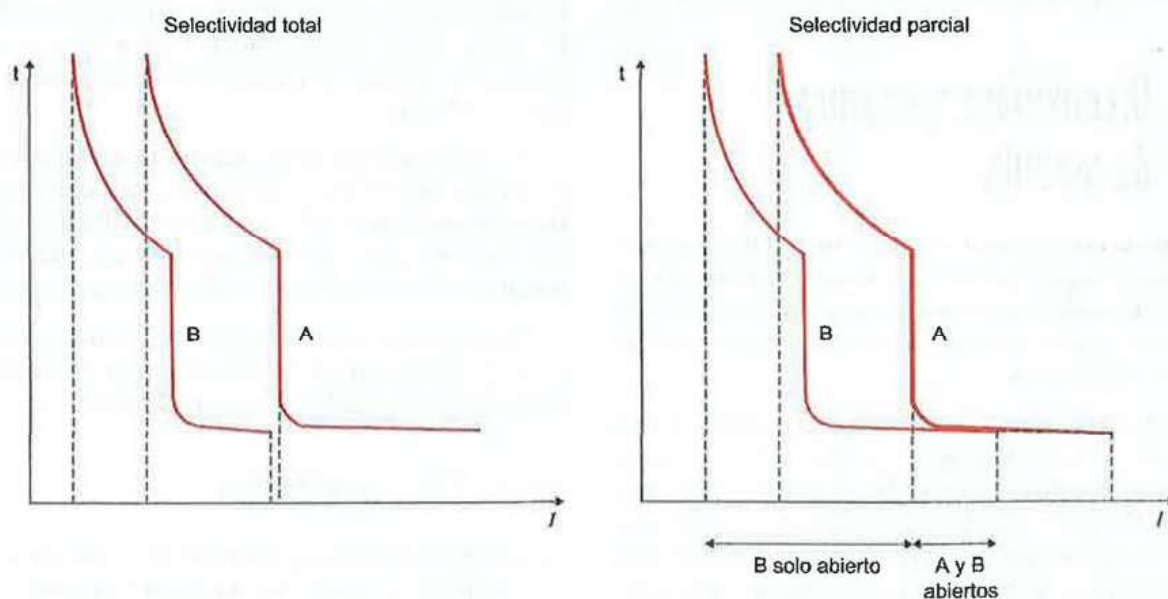


Figura 2.81. Ejemplo de selectividad total y parcial para dos interruptores automáticos, en función de sus curvas de disparo (dispositivo A situado aguas arriba de B).

Actividad propuesta 2.6

¿Qué consecuencias puede tener en una instalación eléctrica industrial el hecho de que no se respete la selectividad entre dispositivos de protección?

Enumera las posibles ventajas que crees que pueden derivarse de tener una correcta selectividad en una instalación eléctrica.

2.3.10. El concepto de filiación

Se denomina filiación a la disposición o coordinación de interruptores automáticos en un circuito eléctrico de tal manera que, mediante la limitación del valor máximo de **corriente de cortocircuito** que pasa a través de un determinado interruptor automático, será posible utilizar en todos los circuitos situados **aguas abajo de su ubicación** aparataje con capacidades de corte de cortocircuito y capacidades de resistencia térmica y electromagnética de valores inferiores a los que deberían ser necesarios.

Las ventajas que ofrece la aplicación de la filiación en las instalaciones eléctricas son numerosas:

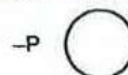
- Ahorro económico.
- Mayor posibilidad de elección de la aparataje aguas abajo.
- Uso de aparataje y dispositivos de menor rendimiento.
- Disminución de los requisitos de espacio físico en los cuadros y armarios eléctricos.
- Cálculos simplificados de la corriente de cortocircuito.

2.4. Dispositivos y equipos de medida

En toda instalación eléctrica es necesario controlar y gestionar los distintos parámetros característicos de los circuitos, a través de mediciones o registros de los mismos. Los dispositivos y equipos de medida son componentes que se encargan de esta función.

Se trata de equipos muy sensibles y sofisticados, y una mala conexión o la interpretación errónea de las lecturas que ofrecen pueden dar lugar a problemas inesperados. Por este motivo, durante su estudio y posterior montaje hay que tener muy en cuenta factores como: la forma de conexión, los valores máximos de la escala de medida, las características de funcionamiento nominales, la posición de trabajo, el rango de trabajo, etc.

Símbolo genérico de un equipo de medida



Los instrumentos y dispositivos de medida pueden ser de tipo **digital** o **analógico**.

Los dispositivos digitales se caracterizan porque muestran el valor numérico de la magnitud a medir a través de un *display* frontal, con punto decimal, polaridad y unidad. Esto facilita enormemente la lectura por parte de los usuarios de las instalaciones.

En los dispositivos analógicos se realiza la lectura mediante la posición de una aguja sobre una escala de medida. Existen equipos analógicos que pueden realizar varias medidas, por ejemplo las tres intensidades de fase de un circuito trifásico, pero dado que únicamente pueden mostrar una sola magnitud en la pantalla, suelen estar acompañados de un selector rotativo que permite escoger lo que se desca visualizar.



Figura 2.62. Selector rotativo para dispositivos de medida de tensión analógicos. (Cortesía de Siemens.)

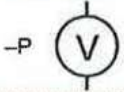
Cabe destacar que los dispositivos y equipos de medida pueden ser **fijos** o **portátiles**. Se entiende que los equipos portátiles son los asociados a los instaladores eléctricos, de los cuales hacen uso durante las tareas de montaje y mantenimiento. Dichos dispositivos serán analizados en la Unidad 12 del libro.

En este apartado se estudiarán únicamente los equipos de medida que son considerados como **aparataje eléctrica**, es decir, aquellos que forman parte de la instalación eléctrica al haber sido instalados de una manera fija para medir o monitorizar las variables asociadas a los circuitos.

Para realizar este cometido, estos dispositivos podrán estar diseñados para ser montados sobre carril DIN o sobre la puerta de los cuadros y armarios eléctricos.

2.4.1. El voltímetro

El voltímetro se utiliza para conocer la tensión o diferencia de potencial (V) entre dos puntos del circuito. La medida puede realizarse directamente sobre dos conductores activos o entre los terminales de un receptor.

	Símbolo
Voltímetro	

Los voltímetros utilizados en las instalaciones de automatismos industriales suelen estar provistos para medir cada una de las tres tensiones de fase y cada una de las tres tensiones de línea.

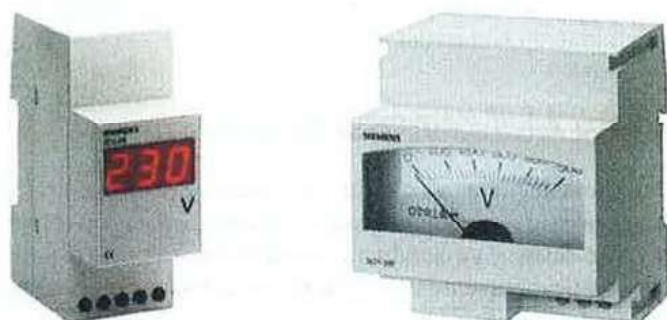
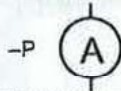


Figura 2.83. Voltímetros para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)

La **conexión** del voltímetro se realiza en **paralelo**, y la medición del voltaje puede realizarse con el circuito conectado o desconectado.

2.4.2. El amperímetro

El amperímetro es un dispositivo que indica la intensidad de corriente eléctrica (A) que circula por una línea o por un conductor determinado.

	Símbolo
Amperímetro	

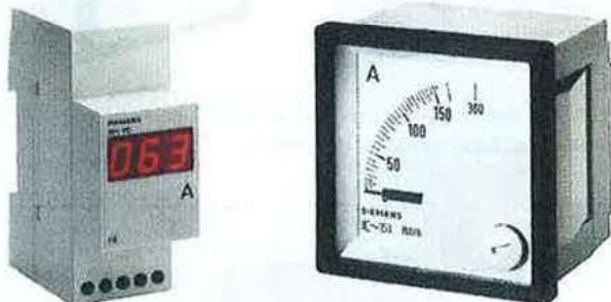


Figura 2.84. Amperímetro para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)

Figura 2.85. Amperímetro para montaje superficial en la puerta de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)

La **conexión** del amperímetro se realiza siempre en **serie**, y la medición de la intensidad debe realizarse siempre con el circuito conectado.

2.4.3. El óhmetro

El óhmetro, u ohmímetro, es un dispositivo de medida utilizado para medir la resistencia o impedancia (Ω), generalmente de los conductores eléctricos o de los bobinados de algunos equipos. También sirve para comprobar la continuidad, ya que si no hay continuidad el óhmetro es incapaz de medir y ofrece el valor 0 Ω , error o infinito.

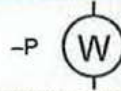
	Símbolo
Óhmetro	

La **conexión** del óhmetro se realiza siempre en **paralelo**, y la medición de la resistencia debe realizarse siempre con el circuito desconectado.

No resulta muy común encontrar este equipo como parte de la aparatamenta asociada a los automatismos industriales, siendo su uso más común por parte de los instaladores y mantenedores eléctricos.

2.4.4. El vatímetro

El vatímetro realiza una medición de la potencia eléctrica (W) que está demandando en un momento determinado las líneas del circuito sobre las que ha sido instalado.

	Símbolo
Vatímetro	

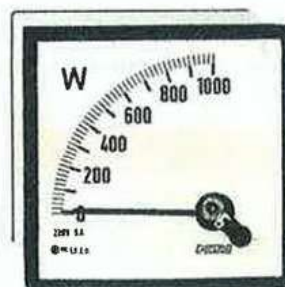


Figura 2.86. Vatímetro para montaje superficial en la puerta de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Circutor.)

La **conexión** del vatímetro se realiza en **serie-paralelo**, puesto que este dispositivo tiene cuatro bornes de con-

ción: dos corresponden con la medida de intensidad (se conectan en serie) y las otras dos corresponden con la medida de tensión (se conectan en paralelo).

La medición de la potencia debe realizarse siempre con el circuito conectado.

2.4.5. El frecuencímetro

El frecuencímetro es un dispositivo de medición de la frecuencia (Hz) de la red a la que ha sido conectado.



Figura 2.87. Frecuencímetro para montaje en carril DIN. (Cortesía de Circutor.)

La **conexión** del frecuencímetro se realiza en **paralelo**, y la medición de la frecuencia debe realizarse siempre con el circuito conectado. Su uso únicamente se establece en circuitos eléctricos de corriente alterna o en sistemas trifásicos.

2.4.6. El fasímetro

El fasímetro es un equipo de medida que ofrece el valor del factor de potencia ($\cos \varphi$) de la instalación eléctrica.



La **conexión** del fasímetro se realiza en **paralelo**, y la medición del factor de potencia debe realizarse siempre con el circuito conectado. Al igual que el frecuencímetro, su uso únicamente se establece en circuitos eléctricos de corriente alterna o en sistemas trifásicos.

2.4.7. El sincronoscopio

El sincronoscopio, o relé de sincronismo, es un dispositivo de medida que se utiliza en las instalaciones que cuentan con dos generadores eléctricos, o un generador y la red eléctrica externa, conectados en paralelo para aplicaciones de emergencia o de apoyo cuando se requiere un aporte de potencia muy elevado.

Su función es indicar la diferencia de frecuencia y ángulo de fase entre las dos entradas de suministro, con el objetivo de controlar y verificar que se encuentran permanentemente en sincronismo.

2.4.8. Analizadores de redes

En las instalaciones eléctricas modernas, gran parte de los dispositivos de medición citados anteriormente se encuentran en desuso, ya que han sido sustituidos por otro equipo más sofisticado que cumple la función de todos ellos de manera integrada.

Este dispositivo, conocido como analizador de redes o central de medida, permite la comprobación de numerosos parámetros de una instalación eléctrica en funcionamiento, tales como:

- Tensiones de fase.
- Tensiones de línea.
- Intensidad de cada línea.
- Energía consumida.
- Factor de potencia ($\cos \varphi$).
- Frecuencia.



Figura 2.88. Analizadores de red para montaje superficial en la puerta de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)

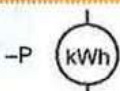
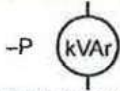


Figura 2.89. Analizador de red para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)

2.4.9. Contadores de energía

Los contadores de energía miden la demanda de **energía eléctrica** de la instalación en la que han sido ubicados. Esta energía puede ser activa (kWh) o reactiva (kVar).

En las instalaciones eléctricas industriales es común utilizar estos dispositivos para contabilizar la energía de circuitos concretos de manera individualizada, ya que la medición de la energía total consumida por la instalación suele realizarse en la parte de alta tensión del centro de transformación, puesto que la tarifa aplicable en estos casos es más económica.

	Simbolo
Contador de energía activa	$-P$ 
Contador de energía reactiva	$-P$ 

Los contadores pueden ser de dos tipos:

- **Contadores electromecánicos:** también conocidos como *contadores de disco*, han sido los más utilizados hasta hace unos años. Utilizan bobinas de tensión y corriente para mover un disco que a su vez mueve un panel numérico analógico donde queda reflejado el consumo de la instalación.



Figura 2.90. Contador electromecánico de energía activa para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)

- **Contadores electrónicos:** los contadores electrónicos son equipos de medición más modernos que han sustituido a los antiguos contadores analógicos de disco. Utilizan convertidores que a través de impulsos eléctricos contabilizan la energía consumida, mostrándola en un *display* digital.



Figura 2.91. Contadores electrónicos modulares para carril DIN. (Cortesía de ABB.)

La conexión de un contador de energía eléctrica depende del modelo, y suele venir reflejada en su placa de características.

2.4.10. Transformadores de medida

Los transformadores de medida son dispositivos utilizados para realizar **medidas indirectas** en circuitos e instalaciones de alta potencia, donde las tensiones o las intensidades presentes son tan elevadas que requerirían el uso de equipos de medida muy grandes y costosos. Disponen de un circuito primario que realiza la medida sobre el circuito real y de un circuito secundario que se conecta al componente que realiza la lectura.

Los transformadores de medida aíslan los circuitos de potencia de los dispositivos de medida, permitiendo una mayor normalización en la construcción de estos equipos. Suelen disponer de un selector *multiratio* para obtener diferentes relaciones de transformación.

Existen dos tipos de transformadores de medida: de tensión y de intensidad.

- Los transformadores de **tensión** convierten un valor de voltaje de entrada muy elevado en un valor de salida reducido. Su uso está asociado a las instalaciones de alta tensión, siendo muy poco frecuente su utilización en instalaciones de baja tensión.

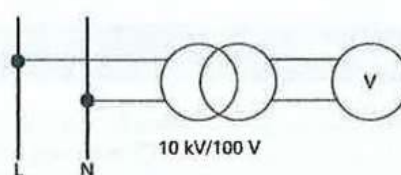


Figura 2.92. Representación de un transformador de tensión.

- Los transformadores de **intensidad**, o transformadores de corriente, convierten un valor de intensidad de entrada muy elevado en un valor de salida reducido. Su uso en instalaciones industriales es muy frecuente, ya que tienen la capacidad de leer intensidades de hasta 10 kA ofreciendo corrientes secundarias de entre 1 y 5 A.

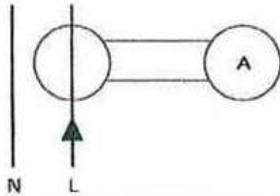


Figura 2.93. Representación de un transformador de intensidad.

Los transformadores de intensidad pueden ser de tipo **toroidal** o de **ventana rectangular**. En su instalación y mantenimiento hay que tener especial cuidado, dado que si se conecta el dispositivo con el circuito secundario en vacío puede resultar dañado e incluso quemarse internamente. En caso de duda siempre es recomendable cortocircuitar la salida del secundario para evitar este tipo de problemas.



Figura 2.94. Transformador de intensidad de tipo toroidal y relación de transformación 100/5 A.

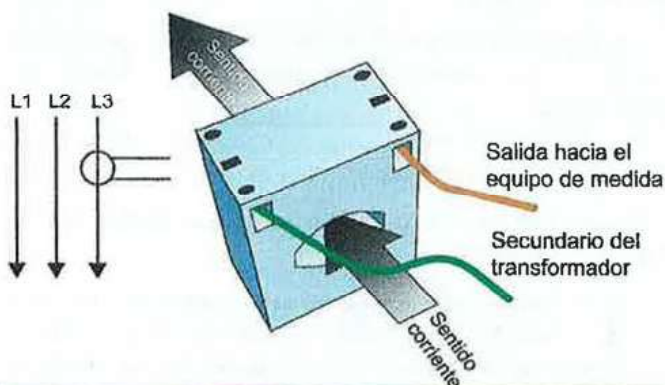


Figura 2.95. Ejemplo de instalación de un transformador de intensidad de ventana rectangular para una fase.



RECUERDA

Los transformadores de intensidad también pueden estar asociados a la aparatada de protección para realizar medidas indirectas, como por ejemplo en los interruptores diferenciales y los relés térmicos.

Actividad propuesta 2.7

El fondo de escala de un instrumento de medida es el valor máximo que puede llegar a medir. Es importante utilizar dispositivos con un fondo de escala superior a la magnitud a medir, puesto que de lo contrario la medición no será fiable e incluso podríamos dañar el aparato.

Observa el dispositivo de medida de la figura y responde a las siguientes cuestiones:



- ¿De qué tipo de equipo de medición se trata?
- ¿Para qué se utiliza?
- Expresa el valor de su fondo de escala en miliamperios.
- ¿Se podría utilizar este dispositivo para realizar medidas en circuitos de intensidad nominal superiores a 10 A?

2.5. Receptores y actuadores

Como en todo circuito eléctrico, los receptores y los actuadores son los dispositivos, los aparatos o las máquinas encargados de recibir la corriente y convertir la energía eléctrica en otro tipo de energía útil.

Los receptores y actuadores eléctricos de uso más frecuente en las instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

Receptores lumínicos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en energía luminosa. Son muy comunes en los circuitos de maniobra para indicar el estado de los procesos industriales.

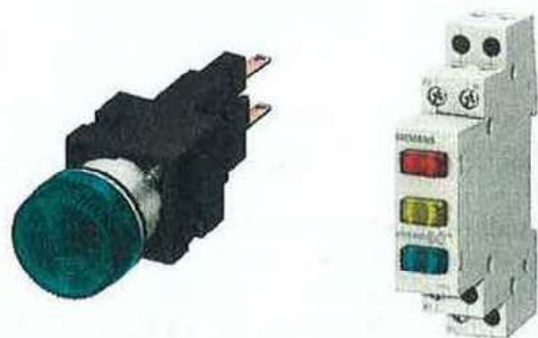


Figura 2.96. Pilotos de señalización. (Cortesía de Siemens.)



Figura 2.97. Simbología asociada a los receptores luminicos.

Receptores térmicos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en calor (efecto Joule). Este calor puede ser aprovechado (como en un calefactor eléctrico o en un horno industrial) o disipado sin uso (bloque de resistencias de arranque o resistencia de frenado en un motor).

Receptores electroquímicos: son los dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía química, como en el caso de las células electrónicas.

Receptores capacitivos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en energía reactiva para crear campos eléctricos. En las instalaciones industriales es muy frecuente el uso de baterías de condensadores para compensar el factor de potencia.

Receptores mecánicos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento giratorio o lineal). La mayoría de estos receptores basan su funcionamiento en bobinas, inductancias o electroimanes en los que la energía eléctrica es convertida en energía reactiva para crear campos magnéticos, a partir de los cuales se genera el movimiento mecánico en las partes móviles. Los receptores mecánicos son los más utilizados en las instalaciones industriales ya que se encuentran presentes en todos los procesos en mayor o menor medida. Algunos ejemplos de receptores y actuadores asociados a las instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- Motores de corriente continua.
- Motores de monofásicos y trifásicos.
- Bombas y compresores.
- Actuadores electrohidráulicos y electropneumáticos.
- Electroválvulas.
- Zumbadores, timbres y sirenas.
- Robots articulados y robots de carga.
- Células robotizadas y paletizadores.



RECUERDA

Se considera como aparamenta eléctrica a cualquier elemento de un circuito que cumpla alguna de las siguientes funciones: seccionamiento, conexión, protección o control y medida. Los receptores eléctricos, por tanto, no pueden ser considerados como aparamenta.

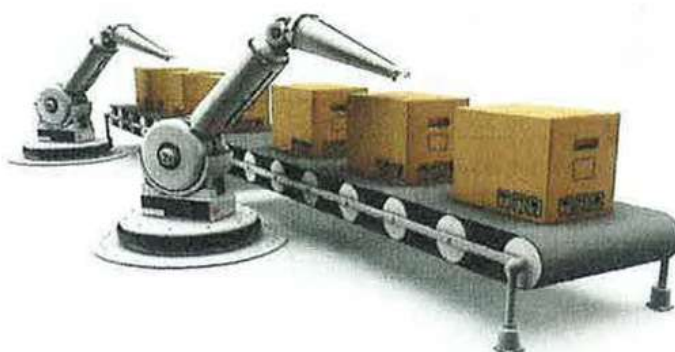


Figura 2.98. Robots articulados y cinta transportadora de un proceso industrial. Ambos elementos basan su funcionamiento en motores.



Figura 2.99. Electroválvulas.



Figura 2.100. Electroválvula neumática.



Figura 2.101. Motores industriales.