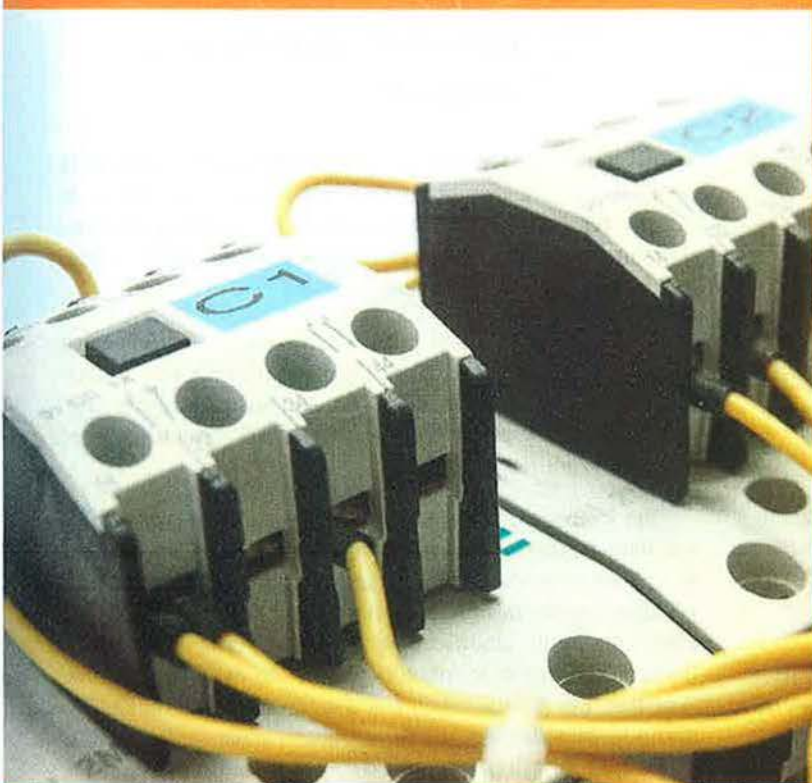


Introducción a los automatismos industriales



La automatización de una máquina, sistema o proceso industrial, consiste en la incorporación al mismo de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos (eléctricos, electrónicos o electromecánicos) que aseguren su control, gestión y buen funcionamiento. Dicho automatismo, además, ha de ser capaz de responder adecuadamente ante las situaciones previstas de antemano.

En esta unidad se ofrece una visión general del entorno de los automatismos industriales, enmarcándolos en el campo de las instalaciones eléctricas y definiendo la normativa de aplicación de mayor importancia.

1

Contenidos

- 1.1. Introducción a los automatismos industriales
- 1.2. Estructura y componentes de las instalaciones de automatismos
- 1.3. Características de las instalaciones eléctricas industriales
- 1.4. Legislación y normativa de aplicación

Objetivos

- Dar a conocer los conceptos de automática, automatización y automatismo industrial.
- Analizar las técnicas de automatización empleadas en la actualidad.
- Definir la estructura y características de un proceso automatizado.
- Identificar los diferentes tipos de sistemas automáticos.
- Ofrecer una visión general del entorno de las instalaciones eléctricas industriales.
- Analizar la normativa y legislación que afecta a los automatismos industriales.

1.1. Introducción a los automatismos industriales

La Real Academia Española de la Lengua define **automatismo** como el desarrollo de un proceso o funcionamiento de un mecanismo por sí solo, y **automática** como el estudio de los métodos cuya finalidad es la sustitución de un operador humano por un operador artificial basado en dispositivos mecánicos o electrónicos en la realización de una tarea previamente programada.

Tomando como base estas dos definiciones, puede establecerse que la **automatización** consiste en el estudio y aplicación de la automática al control de los procesos industriales, derivando en la incorporación a un determinado proceso un conjunto de componentes y dispositivos eléctricos, electromecánicos y electrónicos interconectados entre sí capaces de asegurar su gestión, control y buen funcionamiento: los **automatismos industriales**.

Mediante la automatización industrial se generan una serie de procesos cuya maquinaria y equipos son capaces de actuar de manera automática (con la **mínima intervención por parte de un operario**), respondiendo a todas las situaciones posibles predefinidas de antemano.

SABÍAS QUE

Los procesos industriales de producción pueden ser de cuatro tipos: procesos de transformación, procesos de fabricación, procesos de distribución y procesos de medición o de verificación.

Gracias a los sistemas automatizados resulta posible, entre otros objetivos, reducir los costes de fabricación, optimizar y mejorar la calidad de las líneas de producción y liberar a los operarios de realizar tareas peligrosas, monótonas o demasiado precisas.

Históricamente, las tareas industriales se basaban en procesos manuales donde el operario ejecutaba todas las tareas de fabricación. Posteriormente, aparecen los procesos de mecanizado, que incluían determinada maquinaria en el proceso de fabricación, lo que acabó derivando en los procesos automáticos, donde es la máquina la que realiza la producción mediante instrucciones diseñadas por el hombre.

En la actualidad, la automatización industrial se encuentra en una fase denominada como proceso automático integrado, donde la maquinaria *dialoga* con el proceso de fabricación.

1.1.1. Desarrollo de los automatismos industriales

La evolución de los automatismos industriales surge de la necesidad de mejora de los antiguos sistemas y técnicas de control manual, que requerían una mano de obra extremadamente cualificada y ralentizaban enormemente la velocidad y competitividad de los procesos.

El primer escalón en la mejora de estos procesos surge a partir de la aparición de la **lógica cableada**, donde parte de las antiguas técnicas manuales son sustituidas por equipos eléctricos y electromecánicos como contactores, relés o temporizadores.

Sin embargo, a finales de los años sesenta, los procesos industriales eran cada vez más exigentes, y los sistemas de automatización mediante lógica cableada empezaron a plantear problemas como la necesidad de disponer de personal altamente cualificado para desempeñar las tareas de diseño, ejecución y mantenimiento de las instalaciones. Además, las reparaciones por averías para reemplazar los componentes del sistema de automatización implicaban un gran coste, ocasionando enormes pérdidas económicas por la parada del proceso industrial.

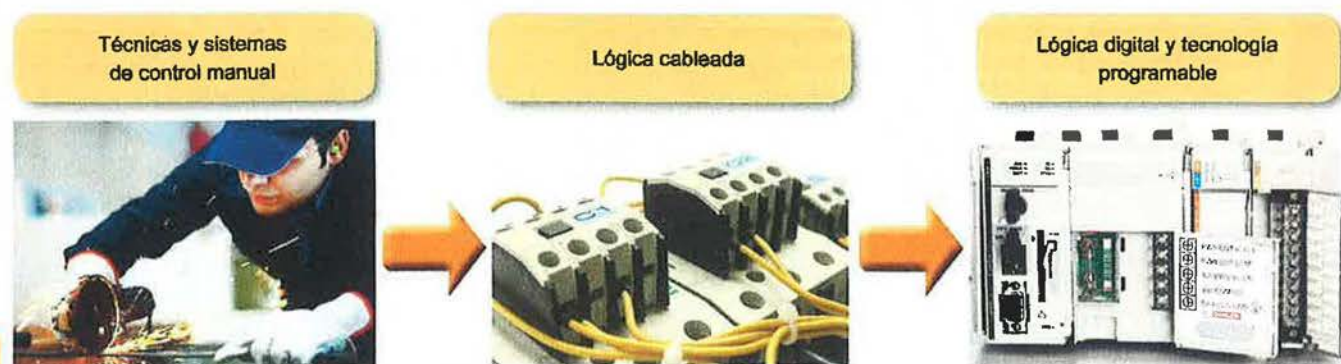


Figura 1.1. Evolución de los automatismos industriales.

También el proceso de actualización de las instalaciones mediante relés era muy largo y costoso, ya que los técnicos eléctricos tenían que volver a reubicar y recablear de forma individual cada una de las máquinas del proceso.

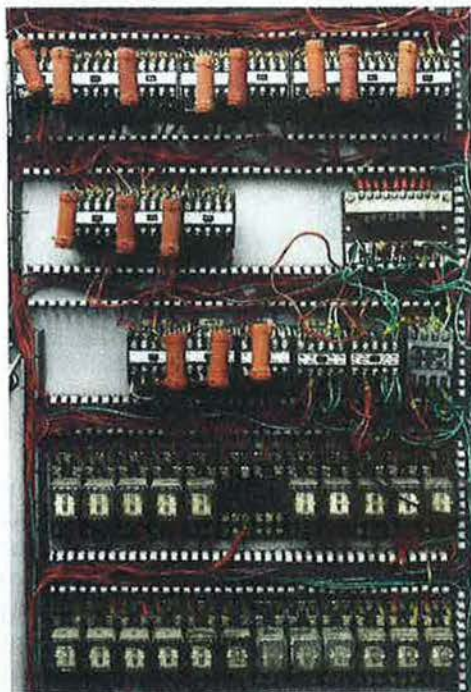


Figura 1.2. En las antiguas instalaciones industriales basadas en lógica cableada, las tareas de mantenimiento resultaban muy complejas.

Este fue el problema al que se enfrentó General Motors en sus industrias de fabricación de automóviles, las cuales usaban cientos o miles de relés, temporizadores de levas, secuenciadores de tambor y controladores de lazo cerrado. Pensaron en reducir costes en las instalaciones de lógica cableada debido a los continuos cambios de producción que se realizaban en la fabricación, y empezaron a buscar un **sistema de control económico, flexible y robusto**.

En 1968, la empresa Bedford Associates asumió la automatización de la planta industrial de General Motors, lo que derivó en el lanzamiento al mercado del **primer modelo de PLC comercial**: el MODICON 084, del cual se vendieron más de 1.000 unidades. El gran éxito del producto derivó en que saliese al mercado el MODICON 184, en 1973.



SABÍAS QUE

Otras empresas propusieron en la misma época esquemas basados en ordenadores como la PDP-8 (Programmed Data Processor) que fue la primera minicomputadora.

Actualmente, en los procesos de automatización, hay diferentes tipologías para poder llevar a cabo las tareas deseadas. En general, los sistemas de control utilizados son:

- **La lógica cableada:** mediante contactores, relés, temporizadores, contadores y dispositivos eléctricos y electromecánicos de características similares.

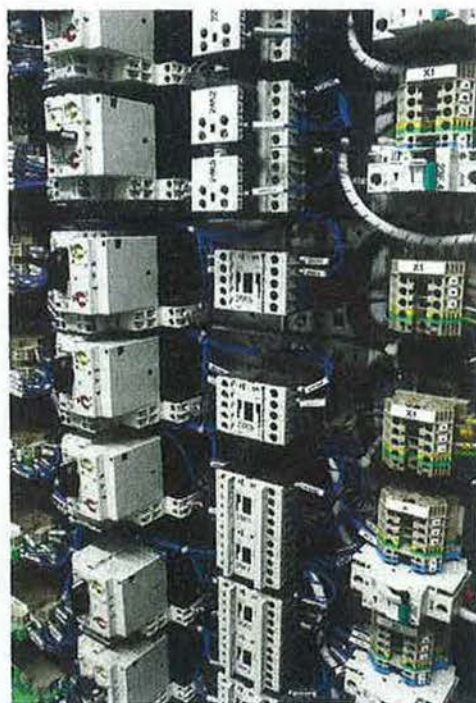


Figura 1.3. Lógica cableada en la actualidad.

- **Controladores monopastilla:** puede ser mediante microcontroladores (μC , MCU o UC), los cuales son circuitos integrados programables, que ejecutan las tareas grabadas en su interior, utilizados principalmente en electrónica de consumo como lavadoras, teléfonos, microondas y en sistemas en los cuales la parte operativa y la de mando van íntimamente unidas, como el sistema de control del motor de algunos automatismos industriales, el sistema de frenado ABS y similar.

Los procesadores digitales de la señal (DSP) se utilizan cuando se tratan señales eléctricas para procesarlas y analizarlas tal y como ocurre en el campo de la instrumentación.

- **Reguladores digitales:** son reguladores PID compactos, los cuales permiten regular, por ejemplo, temperaturas, caudales de fluidos y parámetros similares en automatismos industriales. Las entradas son universales y al ser pequeños, caben en cualquier armario eléctrico. Se utilizan en procesos continuos como industrias petrolíferas, alimentarias, cimente-

ras, etc. Antes de utilizarse estos complicados procesos de regulación automática para todo el proceso, se empleaba un regulador digital en cada subtask concreta.

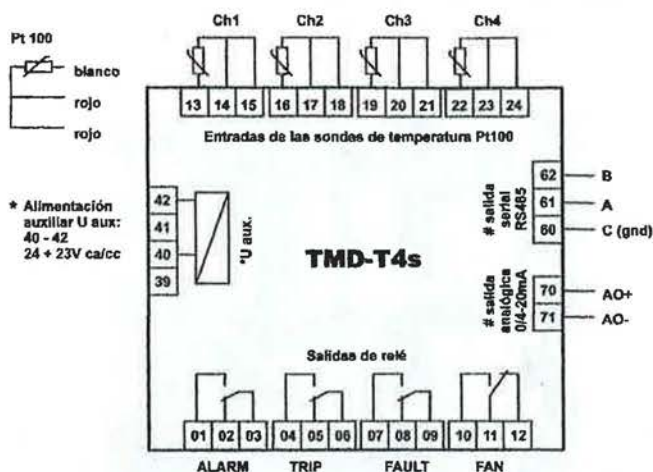


Figura 1.4. Regulador PID. Centralita de control de temperatura de transformadores (alarma, disparo, falta y ventilación).

- **Autómatas programables y relés programables:** un autómata programable, o PLC, es un dispositivo electrónico programado en lenguaje de alto nivel (cerca al usuario) y por tanto adecuado a la capacidad cognitiva humana, diseñado para realizar un proceso automático en tiempo real realizando tareas secuenciales o combinacionales, con temporizaciones, conteo y funciones aritmético-lógicas mediante entradas y salidas analógicas o digitales en condiciones de trabajo adversas.

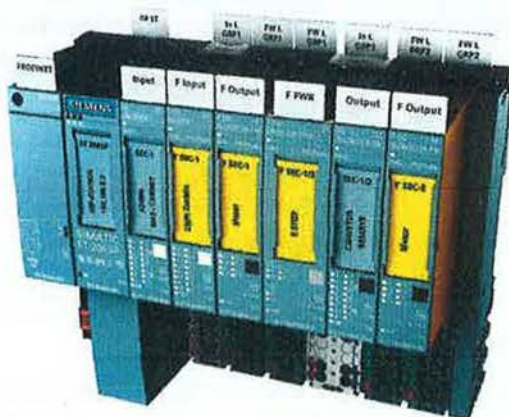


Figura 1.5. Autómata programable. (Cortesía de Siemens.)

Los PLCs se utilizan básicamente en el sector industrial, dada su enorme potencia, como en las cadenas

de producción, control de robots y similares. La diferencia con los **relés programables**, también conocidos como módulos lógicos, es que estos se utilizan en automatización para el sector terciario y residencial (domótica, alumbrado de tiendas, control de automatismos de gestión energética en edificios y similar).

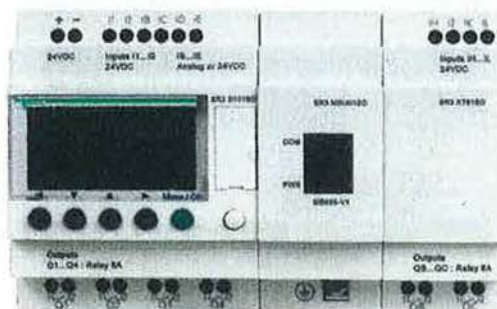


Figura 1.6. Relé programable Zelio. (Cortesía de Schneider Electric.)

- **PCs industriales:** un PC industrial es una plataforma informática para aplicaciones industriales. Se utilizan en el control de procesos y adquisición de datos dada su gran capacidad de cálculo, potencia de procesamiento y memoria. Debido a que su arquitectura es estándar a un PC, son de bajo coste pero además son más fiables y expansibles que los PCs domésticos.

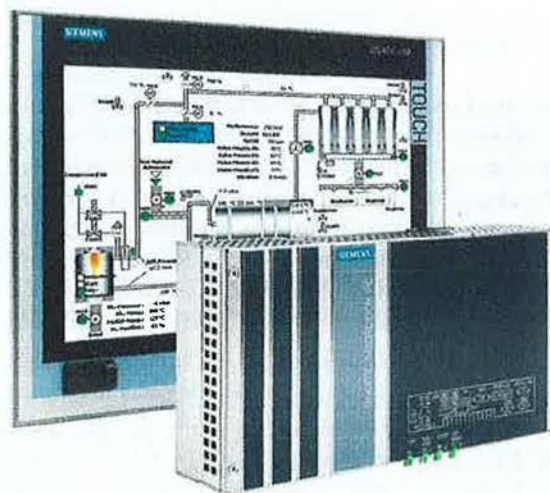


Figura 1.7. PC SIMATIC. (Cortesía de Siemens.)

Actividad propuesta 1.1

Enumera cinco ventajas que consideres que puedan estar asociadas de la automatización de los procesos industriales.

1.1.2. Comparativa entre las diferentes técnicas de automatización

A veces puede ser cuestionable si un PLC es necesario, siendo más apropiada la lógica cableada. Durante los últimos años, los precios de los PLCs han ido bajando, se reducen los tamaños y aumenta el rendimiento. Sin embargo, el diseñador antes de decantarse por uno u otro sistema, se tiene que hacer una serie de preguntas por si el uso del PLC es excesivo para su aplicación. Preguntas tales como: ¿Existe necesidad de flexibilidad en los cambios de la lógica de control?, ¿habrá cambios en la lógica de control con frecuencia o rápida modificación?

En muchas ocasiones, es más rentable una tarjeta programadora (controladora dedicada) como un *PID controller*, por ejemplo para el control de la temperatura de la calefacción. Tienen la ventaja de estar todo incluido en una sola placa, normalmente con pantalla LCD y botones. Esto es práctico para instalaciones sencillas tipo ascensores, escaleras mecánicas, etc. Hoy en día, los pequeños módulos lógicos (relés programables) compiten con las tarjetas controladoras, sobre todo si se necesita más de una. Los PLCs tienen mayor grado de flexibilidad debido a que se pueden

programar en diferentes lenguajes y pueden manejar todo tipo de procesos.

A veces puede ser interesante utilizar un PC en lugar de un PLC. Los PCs industriales están disponibles, aunque su precio es más caro que los PLCs. Debido a que utilizan entorno Windows, son muy cómodos, pero tienen el inconveniente de no ser tan duros en condiciones adversas, las conexiones de entradas y salidas en el PC no son tan accesibles como en un PLC (en el que resulta sencillo cambiar o añadir componentes al tener bastidor), no son fáciles de expandir y tienen problemas al trabajar en tiempo real produciéndose bloqueos.

No obstante, existen también híbridos de PLC/PC como por ejemplo el WinPLC, en el cual se unen las dos plataformas con los puntos fuertes de ambos. La CPU puede procesar Windows CE (Windows Embedded Compact) o Linux, que son sistemas operativos para realizar funciones específicas, los llamados sistemas embebidos, diferenciándose de los ordenadores personales de consumo que tienen un gran espectro de aplicaciones. Estos sistemas mixtos tienen un bastidor que puede aceptar módulos de entrada/salida (E/S) estándar.

A continuación se realiza un estudio comparativo entre las diferentes técnicas de automatización:

Tabla 1.1. Comparativa entre sistemas de automatización.

Sistema de control	Ventajas	Inconvenientes
Lógica cableada	<ul style="list-style-type: none"> Económico si no hay previsión de cambio. 	<ul style="list-style-type: none"> Poca flexibilidad a pequeñas y grandes modificaciones.
PLC	<ul style="list-style-type: none"> Perfecto en instalaciones que requieran flexibilidad y cambios en la lógica de control con frecuencia o necesidad temprana de modificación. Si hay máquinas similares, es ideal ya que es cómodo de programar. Fácilmente ampliable. Alta fiabilidad (robustos). Trabajan en condiciones adversas. Es raro que se bloquee durante largos períodos de tiempo. Programación basada en lógica de contactos, siendo muy familiar para los profesionales del sector eléctrico. 	<ul style="list-style-type: none"> Excesivo en instalaciones pequeñas. Solo pueden ejecutar un programa a la vez en orden secuencial. Capacidad de almacenamiento limitada frente al disco duro de un PC industrial.
PC industrial	<ul style="list-style-type: none"> Entorno tipo Windows. Es cómodo, fácil y accesible para el técnico. Al tener mayor capacidad que los PLCs, tiene mejor respuesta a manejar eventos reales al realizar tareas simultáneas. Flexible y potente. Lenguajes de programación fáciles, bloques de funciones, texto estructurado, etc. Gran capacidad de almacenamiento de programa. A largo plazo para almacenamiento es mejor que un PLC. 	<ul style="list-style-type: none"> Precio más elevado que los PLCs. La conexión de E/S no es tan sencilla como en un PLC. Limitación de número de tarjetas de expansión. En tiempo real tiene problemas, bloqueándose. Difícil comparar precios con tantas variables, como la cuenta de E/S, <i>software</i> de programación, etc.

Tabla 1.1. Comparativa entre sistemas de automatización (continuación).

Sistema de control	Ventajas	Inconvenientes
Tarjetas controladoras (PID)	<ul style="list-style-type: none"> • Un solo dispositivo que incluye la pantalla LCD, botones, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se necesita más de una tarjeta controladora, los PLCs compiten en cuanto a precio. • Menos grado de flexibilidad que los PLCs al poderse programar en diferentes lenguajes y muchos procesos.
Soluciones propias	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de costes. • Construcción de manera rentable. • Ejemplo: Divalbiss. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos flexibilidad que un PLC.

1.1.3. Fases de desarrollo de un sistema automático

A pesar de la gran variedad de sistemas de automatización existentes en el mercado, los de mayor aplicación en las instalaciones eléctricas industriales son los basados en lógica cableada y autómatas programables.

Para llevar a cabo el correcto desarrollo y elaboración de un sistema automático es necesario conocer previamente las especificaciones del proceso que se va a controlar, teniendo siempre muy en cuenta los requisitos económicos y el coste de cada solución planteada.

Resultará igualmente decisivo el tener en cuenta los equipos y materiales que formarán parte del automatismo verificando la calidad de los mismos, así como la disponibilidad y el coste de los posibles recambios.

Las fases del desarrollo completo de un sistema automático se muestran en el organigrama de la Figura 1.8, donde puede apreciarse que antes de seleccionar la opción más eficiente para la instalación es necesario valorar las necesidades del cliente y realizar uno o varios estudios previos, técnicos, económicos y funcionales, en los cuales se deben evaluar determinados parámetros como:

- Ventajas e inconvenientes de cada posible opción.
- Necesidad de ampliación del sistema.
- Vida útil del sistema.
- Coste y complejidad del mantenimiento.

Tras esto, la **fase clave** del desarrollo de un sistema automático es la elección entre la lógica cableada o la lógica digital, puesto que de esta decisión dependerán los materiales, componentes y equipos a adquirir e instalar, así como la documentación asociada a los mismos, la posible programación del sistema y la necesidad de formar en mayor o menor medida a los operarios de las instalaciones sobre el uso y funcionamiento de los procesos.



Figura 1.8. Fases de desarrollo de un sistema automático.

1.2. Estructura y componentes de las instalaciones de automatismos

Un sistema automatizado está constituido por los elementos y bloques funcionales que se muestran en la Figura 1.9:

- 1. Red eléctrica.** Suministro trifásico de energía que puede proceder de:
 - Un centro de transformación de compañía, en industrias muy pequeñas.
 - Uno o varios transformadores propios (como ocurre en la mayoría de las industrias actuales).
- 2. Línea de entrada a la instalación eléctrica.** Si procede de un transformador de compañía se denominará **derivación individual**.
- 3. Cuadro general de baja tensión (CGBT) y cuadros y armarios secundarios.** Contienen los dispositivos de protección, maniobra y gestión del sistema automatizado (aparataje eléctrico). En algunas instalaciones eléctricas industriales todos los dispositivos se encuentran alojados bajo una misma envolvente, pero lo más común es disponer armarios o cuadros independientes para los circuitos que alimentan a los receptores y para los circuitos de gestión y control.
- 4. Zona de mando y control.** Aquí es donde los operarios interactúan con el sistema automatizado, a partir de mandos, pupitres o salas de operaciones. También es posible llevar a cabo una monitorización de los procesos.
- 5. Sensores y detectores.** Son las entradas del sistema automatizado que se encargan de medir variables ex-

ternas y enviar información captada en forma de señales eléctricas. Existen numerosos tipos de sensores, dependiendo del tipo de variables que son capaces de medir. Algunos ejemplos de sensores y detectores son: capacitivos, inductivos, magnéticos, de temperatura, de presión, de velocidad, de nivel, de posición, etc.

- 6. Receptores y actuadores.** Son las salidas del sistema eléctrico. Los más comunes en instalaciones de automatismos industriales son los motores, resistencias, baterías de condensadores, electroválvulas, lámparas de señalización, células robotizadas, etc.
- 7. Conductores eléctricos.** Encargados de transmitir la energía eléctrica o las señales de información entre los diversos componentes del sistema automatizado.



SABÍAS QUE

Es posible que algunos componentes de maniobra, como determinados sensores, utilicen tecnologías inalámbricas u ópticas en lugar de cableado eléctrico.

En las instalaciones de automatismos industriales, los conductores y circuitos eléctricos pueden dividirse en dos grupos:

- **Circuitos de fuerza:** los circuitos de fuerza o potencia son los encargados de suministrar energía eléctrica a los receptores del sistema automático (generalmente máquinas eléctricas rotativas).
- **Circuitos de maniobra:** los circuitos de maniobra, o circuitos de control, se encargan de alimentar a los sensores, detectores, electroimanes, mandos, pulsadores, temporizadores y demás componentes de gestión y su-

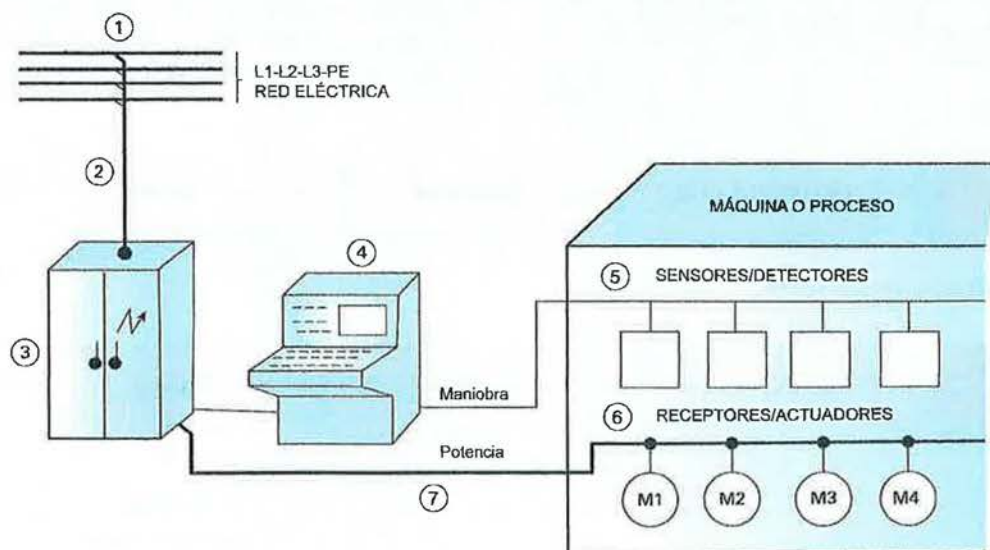


Figura 1.9. Estructura de un sistema automático.

pervisión de la instalación. Es sobre los circuitos de maniobra donde los operarios interactúan con el proceso.

El cableado de los circuitos de fuerza es independiente del cableado de los circuitos de maniobra, y ambos circuitos se interrelacionan mediante componentes eléctricos comunes a ambos, como contactores, relés térmicos y similares, tal como será estudiado en unidades posteriores del libro.

1.2.1. Tipos de sistemas automáticos

Existen básicamente dos formas de realizar el control automático de un proceso industrial: en bucle abierto y en bucle cerrado.

Los sistemas automáticos en **bucle abierto** se caracterizan porque la información que controla el proceso circula en una única dirección desde el sistema de control (Figura 1.10).

Los sistemas automáticos en **bucle cerrado** son aquellos en los que existe una comunicación entre el proceso y el sistema de control a través de sensores, lo que permite controlar el funcionamiento del mismo (Figura 1.11).

La mayoría de procesos existentes en las instalaciones industriales son controlados a través de sistemas de automatismos en bucle cerrado, dado que son mucho más eficientes y permiten ampliar las posibilidades de control sobre los procesos.

Actividad propuesta 1.2

Pon un ejemplo, justificando la respuesta, de un proceso automático en bucle cerrado y de un proceso automático en bucle abierto.

¿Cuál de los dos resultaría más sencillo de llevar a cabo?
¿En cuál de los dos sería más fácil añadir funciones o realizar modificaciones?

1.2.2. Aparamenta eléctrica

Se define como **aparamenta eléctrica** cualquier equipo o dispositivo perteneciente a un circuito eléctrico que cumple cualquiera de las siguientes funciones:

Tabla 1.2. Posibles aplicaciones de la aparamenta eléctrica.

Seccionamiento	Conexión	Protección	Control y medida
----------------	----------	------------	------------------

- **Seccionamiento:** la aparamenta de seccionamiento cumple la función de abrir y cerrar circuitos que se encuentran sin carga, es decir, cuando no circula intensidad por los conductores.
- **Conexión:** la aparamenta de conexión cumple la función de abrir y cerrar circuitos en los que no circula intensidad, o bien circula la intensidad de funcionamiento normal del sistema. Estos dispositivos son generalmente controlados por los operarios (componentes de mando). Algunos ejemplos: interruptores, pulsadores, contactores, relés, etc.
- **Protección:** la aparamenta de protección cumple la función de dejar fuera de servicio (abrir) los circuitos en los que las condiciones de funcionamiento normal se han visto alteradas y ha puesto en riesgo la integridad de las personas o de los componentes de la instalación. Estos dispositivos deben actuar de manera automática. Algunos ejemplos: cortacircuitos fusible, relé térmico, interruptor automático, interruptor diferencial, etc.
- **Control y medida:** la aparamenta de control y medida cumple la función de recoger las variables derivadas del proceso, bien para almacenar la información (medida), o para enviar dicha información en tiempo real al sistema de control, tal como ocurre en los

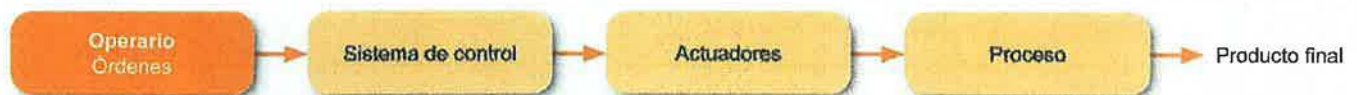


Figura 1.10. Proceso automático en bucle abierto.

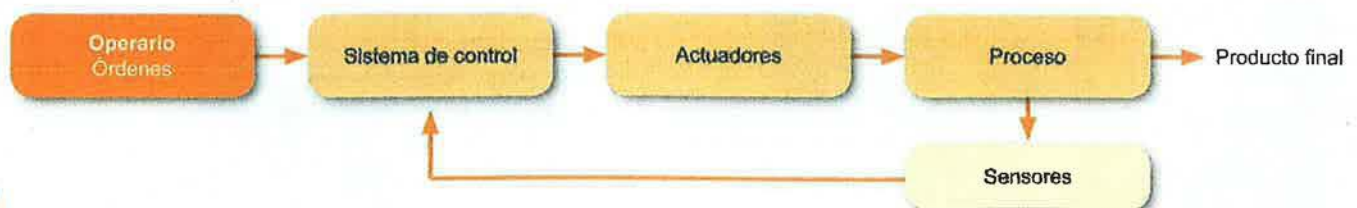


Figura 1.11. Proceso automático en bucle cerrado.

automatismos en bucle cerrado. Algunos ejemplos: analizadores de redes, contadores, temporizadores, interruptores de posición, termostatos, etc.

Actividad propuesta 1.3

A lo largo del libro serán analizados todos los componentes considerados como *aparataje eléctrico* asociados a las instalaciones de automatismos industriales.

No obstante, para evaluar tus conocimientos iniciales e ir familiarizándote con los dispositivos que forman los sistemas automáticos, a continuación debes realizar una clasificación de los elementos expuestos, dependiendo de la función que crees que desempeñan dentro de un circuito eléctrico:

- Detector de proximidad.
- Motor eléctrico.
- Voltímetro.
- Lámpara de señalización.
- Interruptor de nivel.
- Interruptor de tres posiciones.
- Pulsador de paro de emergencia.
- Contador de energía reactiva.
- Resistencia eléctrica.
- Fusible.
- Contactor.
- Sondas térmicas.
- Programador horario.
- Tacómetro.

1.3. Características de las instalaciones eléctricas industriales

Las instalaciones eléctricas, sean industriales o de cualquier otro tipo, pueden clasificarse en función de su nivel de tensión, de su uso y características o por su potencia.

La legislación actual establece que, **dependiendo del voltaje o nivel de tensión**, las instalaciones eléctricas pueden ser de dos tipos: instalaciones consideradas como de **baja tensión**, con un voltaje menor o igual a 1.000 V en corriente alterna o 1.500 V en corriente continua, o instalaciones consideradas como de **alta tensión** con un voltaje superior a 1.000 V en corriente alterna o 1.500 V en corriente continua.

Tabla 1.3. Clasificación de las instalaciones eléctricas en función de los niveles de tensión.

	Corriente alterna	Corriente continua
Instalaciones de baja tensión (BT)	$\leq 1.000 V_{CA}$	$\leq 1.500 V_{CC}$
Instalaciones de alta tensión (AT)	$> 1.000 V_{CA}$	$> 1.500 V_{CC}$

En la práctica, dentro del grupo de las instalaciones de corriente alterna, al ser el tipo de corriente más utilizada para su generación, transporte, distribución y consumo, se suelen clasificar las tensiones de una manera mucho más específica, tal y como se muestra en la Figura 1.12.



SABÍAS QUE

En algunas regiones de Europa, cerca de la frontera con Rusia, se utilizan tensiones de transporte cercanas a los 765 kV. En España, las líneas eléctricas de alta tensión no superan los 400 kV.

En lo que respecta al uso y características de una instalación eléctrica, las consideradas como de **baja tensión** son casi siempre de tipo receptoras, es decir, su finalidad es consumir la energía eléctrica para convertirla en trabajo útil. No obstante, también resulta posible encontrar insta-

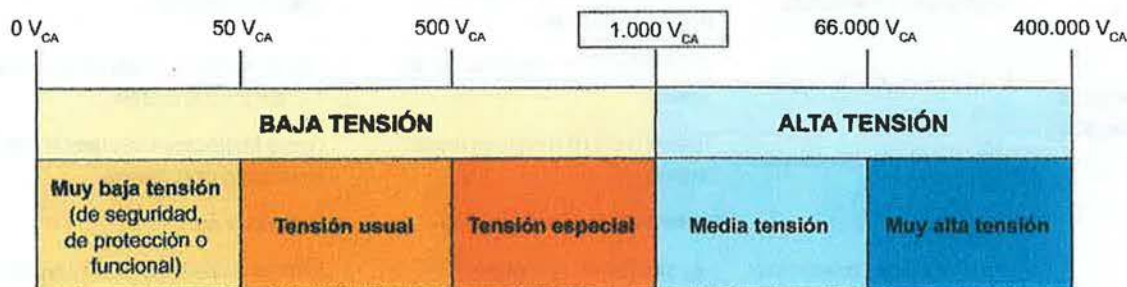


Figura 1.12. Clasificación de los niveles de tensión de corriente alterna (V_{CA}).

laciones de baja tensión cuya finalidad es la generación, distribución o almacenamiento de energía eléctrica, pero en pequeñas cantidades.

La clasificación de las instalaciones de **alta tensión** en base a su finalidad es mucho más compleja, puesto que pueden haber sido diseñadas para generar, transportar o distribuir la energía eléctrica en grandes cantidades, así como para transformar los niveles de tensión. También es posible encontrar instalaciones de alta tensión con una finalidad receptora, como es el caso de las grandes industrias que utilizan equipamiento y máquinas eléctricas de grandes dimensiones que funcionan a tensiones superiores a los 1.000 voltios.

En definitiva, atendiendo al **criterio de uso**, una posible clasificación de las instalaciones eléctricas es la que se muestra en la Tabla 1.4.

1.3.1. Estructura del sistema eléctrico

El conjunto de elementos que permiten transportar la electricidad desde los lugares en los que se genera hasta los lugares en los que se consume es lo que se conoce como **sistema eléctrico**. Desde una perspectiva general del sistema eléctrico nacional, este puede dividirse en cuatro gran-

des bloques funcionales o etapas: generación, transporte, distribución y consumo.

- **Generación:** está formada por un conjunto de plantas eléctricas que son las encargadas de generar electricidad mediante la transformación de otro tipo de energía. Por ejemplo, una central hidroeléctrica convierte la energía del agua en forma de potencial, que mediante generadores eléctricos se transforman en energía eléctrica. Las centrales suelen producir energía a una tensión entre 10 y 20 kV (kilovoltios).
- **Transporte:** es la parte de la red con mayor longitud de conductores al conectar desde la subestación elevadora de generación a la de distribución. Dado que la energía eléctrica tiene mayores pérdidas cuanto mayor sea la intensidad que circula por los conductores (efecto Joule), se eleva la tensión hasta 400 kV por medio de máquinas eléctricas llamadas transformadores y así disminuir la intensidad con objeto de transportar la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles. La generación y transporte se realiza mediante sistemas trifásicos, precisamente porque entre otros factores esto permite utilizar tres conductores sin necesidad de retorno, ya que la suma fasorial de las tres intensidades es cero.

Tabla 1.4. Clasificación de las instalaciones eléctricas en función de su uso y características.

Nivel de tensión	Uso de la instalación	Características de la instalación	Tipo de instalación
Instalaciones de baja tensión (BT)	Instalaciones receptoras.	Puntos de consumo de energía eléctrica.	Puntos de consumo como viviendas, oficinas, pequeñas y medianas industrias , alumbrado exterior, etc.
	Instalaciones generadoras o de almacenamiento.	Suministro de energía eléctrica en pequeñas cantidades.	Instalaciones generadoras fotovoltaicas, grupos electrógenos, sistemas de almacenamiento ininterrumpido (SAI), etc.
	Instalaciones distribuidoras y de enlace.	Transferencia de energía en baja tensión.	Redes de distribución de energía en baja tensión, instalaciones de enlace, etc.
Instalaciones de alta tensión (AT)	Instalaciones receptoras.	Consumo de energía eléctrica en grandes cantidades.	Grandes industrias , medios de transporte ferroviarios, etc.
	Instalaciones generadoras.	Generación de energía eléctrica en grandes cantidades.	Centrales eléctricas.
	Instalaciones de transporte.	Transferencia de energía en muy alta tensión.	Líneas eléctricas de alta tensión para el transporte de la energía.
	Instalaciones de distribución.	Transferencia de energía en media tensión.	Líneas eléctricas de alta tensión para la distribución de la energía.
	Instalaciones de transformación, conversión o maniobra de la energía.	Conversión de energía de AT a AT.	Subestaciones.
		Seccionamiento y maniobra.	Centros de seccionamiento y centros de reparto.
		Conversión de energía de AT a BT.	Centros de transformación.

• **Distribución:** la distribución de energía eléctrica se realiza mediante transformadores reductores de tensión, con lo que la intensidad es más alta que en el transporte, pero es más manejable para distribuir a los puntos de consumo. Puede ser de dos tipos:

— **Suministros en alta tensión:** se trata de los clientes que dada su elevada potencia contratada necesitan para sus instalaciones (como pueden ser grandes industrias siderúrgicas, farmacéuticas, imprentas y similares), la compañía eléctrica les tarifica a un precio inferior que un usuario en baja tensión. Estos clientes se llaman abonados y se encargan de disponer en correctas condiciones y mantenimiento su centro o centros de transformación para reducir la tensión de suministro, que suele ser 15, 20 o incluso 66 kV, hasta 420 V, que tras las pérdidas producidas en el transformador llega a la instalación interior finalmente a 400 V.

— **Suministros en baja tensión:** son aquellos usuarios en los que la acometida de la compañía les suministra 400 V (ya que son las compañías suministradoras de energía eléctrica las que se encargan del correcto funcionamiento y mantenimiento de los transformadores). El precio de la energía medido en kWh es más elevado que en alta tensión. Es característico de suministros tales como pequeñas naves industriales, talleres, edificios de oficinas, garajes, viviendas y similares.

Cabe destacar que actualmente la energía eléctrica no se puede acumular en grandes cantidades, por lo que se debe generar en función de la demanda. La gestión de esta tarea se realiza por medio del mercado eléctrico a través de los **operadores de mercado**, los cuales se encargan de las transacciones diarias para que los productores de energía vendan la energía al mejor precio. En España, esta gestión está regulada por el OMEL (Operador de Mercado Eléctrico).

Por otro lado, el agente de sistema eléctrico que cumple la función de **operador de la red de transporte eléctrico** (para asegurar el correcto funcionamiento de la red de transporte de energía) es Red Eléctrica de España (REE).

1.3.2. Parámetros característicos de las instalaciones eléctricas en baja tensión

Como ya se ha definido, la generación, el transporte y la distribución de la energía se realiza mediante sistemas eléctricos trifásicos. Sin embargo, el consumo de energía puede realizarse en corriente continua (poco común), corriente alterna monofásica o corriente alterna trifásica.

Sistemas de corriente continua (CC)

El voltaje y el sentido de la corriente son constantes en todo momento. Se utilizan dos conductores que son denominados como **positivo** y **negativo**, y un conductor de protección (PE) para garantizar la seguridad, que será conectado a las masas metálicas de la instalación.

Los sistemas de corriente continua son utilizados generalmente en aplicaciones de pequeña potencia, aunque también resulta posible encontrar instalaciones de corriente de alta potencia, ya que hasta la aparición de la electrónica de potencia, los motores de corriente continua eran los únicos en los que podía variarse la velocidad de manera sencilla. Es por este motivo que actualmente algunas líneas de metro y tren siguen abasteciéndose en corriente continua.



Figura 1.14. Representación de los conductores en corriente continua.

Sistemas de corriente alterna monofásicos (CA)

El voltaje y el sentido de la corriente varían continuamente, formando ciclos con forma de onda senoidal. Las características básicas de la corriente alterna son: la frecuencia



Figura 1.13. Esquema completo del sistema eléctrico nacional desde los puntos de generación hasta las zonas de consumo.

(número de ciclos en un segundo), la tensión de pico (tensión máxima) y la tensión eficaz.



Figura 1.15. Representación de los conductores en corriente alterna.

Los circuitos eléctricos de corriente alterna se obtienen siempre a partir de un sistema trifásico, combinando una de las fases con el conductor neutro.

■ ■ ■ Sistemas trifásicos (3~)

Los sistemas trifásicos están formados por tres ondas de corriente alterna desfasadas 120 grados. Cada una de esas ondas se corresponde con un conductor de fase, denominados L1, L2 y L3.

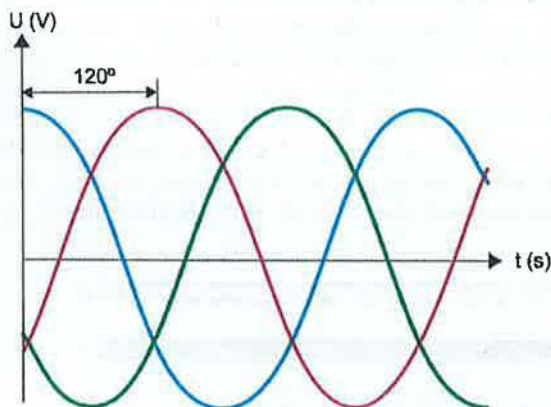


Figura 1.16. Representación de las ondas de tensión en un sistema trifásico.

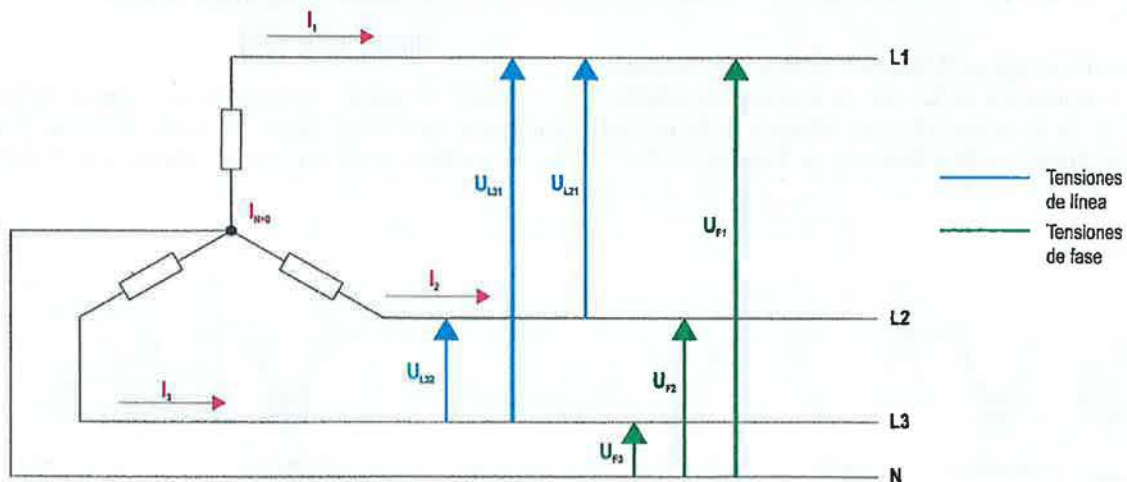


Figura 1.17. Esquema simplificado de la red de distribución en BT.

Se pueden diferenciar dos configuraciones dentro de los sistemas trifásicos de baja tensión:

- **Red trifásica con conductor neutro distribuido:** consta de cinco conductores (L1, L2, L3, N y PE). A partir de estas redes se obtienen los sistemas monofásicos.
- **Red trifásica sin conductor neutro distribuido:** consta de cuatro conductores (L1, L2, L3 y PE). Desde esta red solo es posible alimentar a circuitos y cargas trifásicos.



SABÍAS QUE

En un sistema trifásico equilibrado, el conductor neutro, aunque sea considerado un conductor activo, no debe tener tensión en condiciones normales ni tampoco debe circular intensidad por él. En caso contrario, el sistema estará **desequilibrado**, lo que podría ser causa de sobretensiones y sobrecargas en el circuito eléctrico.

■ ■ ■ Tensiones de servicio

La mayoría de los transformadores de distribución que abastecen a los lugares de consumo tienen el bobinado secundario del transformador con el neutro accesible (conexión en estrella o zigzag).

De esta manera, desde el centro de transformación salen cuatro conductores activos, tres fases y un neutro, que dan la posibilidad de obtener dos tensiones de consumo:

- **Tensión de línea (U_L):** es la tensión existente entre los conductores activos (L1, L2 y L3).

También se conoce como tensión compuesta, tensión de red o tensión entre fases.

En la mayoría de las redes de distribución de baja tensión tiene un valor de **400 V_{CA}**.

- **Tensión de fase (U_F):** es la tensión existente entre cualquiera de los conductores activos (L1, L2 y L3) y el conductor neutro (N). También se conoce como tensión simple o tensión fase-neutro. En la mayoría de las redes de distribución de baja tensión tiene un valor de **230 V_{CA}**.

$$U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

Aunque no resulta muy frecuente, existen instalaciones cuyas tensiones de servicio no se corresponden con los 400 V_{CA} de tensión de línea y 230 V_{CA} de tensión de fase. Las tensiones normalizadas para las redes de distribución de energía en baja tensión en España son las siguientes:

Tabla 1.5. Tensiones de servicio de las redes de BT.

Tensión de línea (V _{CA})	Tensión de fase (V _{CA})	Denominación de la red
230	133	133/230
400	230	230/400
690	400	400/690
1.200 (alta tensión)	690	690/1.200

Intensidad de línea (A)

Es la intensidad de corriente que circula por los conductores de alimentación del sistema eléctrico. Depende, de manera proporcional, de la carga conectada, ya que cuanto más potencia demanda una carga mayor intensidad requiere para su funcionamiento. Existe también la denominada intensidad de fase, que equivaldría a la corriente que circula por el interior de los receptores eléctricos conectados en sistemas trifásicos.

Frecuencia de la red (Hz)

Es el número de ciclos de la onda de corriente alterna por segundo. Las redes eléctricas de corriente alterna en toda Europa prestan servicio a una frecuencia de 50 Hz.



SABÍAS QUE

Existen instalaciones de baja tensión consideradas de **gran intensidad**. Son aquellas en las que la corriente eléctrica de servicio puede llegar a alcanzar valores entre 1.500 y 6.000 A.

1.3.3. Esquemas en redes de distribución

Para la determinación de las características de las medidas de protección en las instalaciones eléctricas, así como de las especificaciones de la aparatamenta encargada de tales funciones, será preciso tener en cuenta el tipo de esquema de distribución empleado.

Los diferentes esquemas de distribución se definen en función de las conexiones a tierra del neutro de la alimentación, por un lado, y de las masas de la instalación receptora, por otro.

La denominación de estos esquemas se realiza con un código de dos o tres letras con el significado siguiente:

- **Primera letra:** situación de la alimentación con respecto a tierra.
- **Segunda letra:** situación de las masas de la instalación receptora con respecto a tierra.
- **Tercera letra (solo en esquemas TN):** situación relativa del conductor neutro y del conductor de protección.

Tabla 1.6. Denominación de los esquemas de distribución de energía.

Primera letra	T	Conexión directa de un punto de la alimentación a tierra.
	I	Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia.
Segunda letra	T	Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación.
	N	Masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a tierra (en corriente alterna, normalmente será el punto neutro).
Tercera letra	S	Las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados (conductor N + conductor PE).
	C	Las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor CPN o PEN).

En base a la denominación anterior, es posible encontrar cinco tipos de esquemas distintos:

Esquema TT

Es el esquema más utilizado en las instalaciones eléctricas de baja tensión. Un punto de la fuente de alimentación se conecta directamente a tierra, y todas las partes conductoras accesibles de la instalación eléctrica receptora se conectan a una toma de tierra independiente.

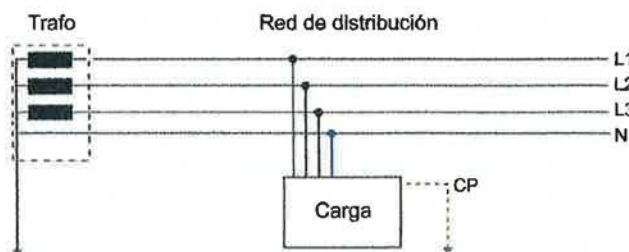


Figura 1.18. Esquema TT.

Esquema IT

No se realiza ninguna conexión entre el punto neutro de la fuente de alimentación y tierra, o se establece una conexión a través de impedancia. Las partes conductoras accesibles (masas) de la instalación eléctrica receptora se conectan a una toma de tierra. En este tipo de esquema se recomienda no distribuir el conductor neutro.

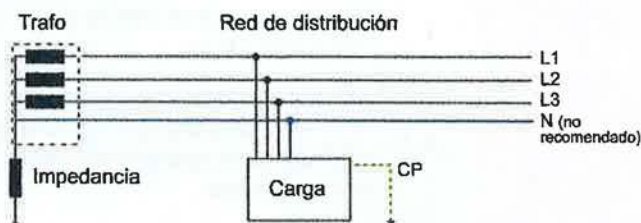


Figura 1.19. Esquema IT.

Esquema TN-S

Tienen el punto neutro de la fuente de alimentación conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas al mismo punto mediante conductores de protección. El conductor neutro y el conductor de protección son distintos en todo el esquema.



Figura 1.20. Esquema TN-S.

ceptora conectadas al mismo punto mediante conductores de protección. El conductor neutro y el conductor de protección son distintos en todo el esquema.

Esquema TN-C

Tienen el punto neutro de la fuente de alimentación conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas al mismo punto mediante conductores de protección. Las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en todo el esquema.

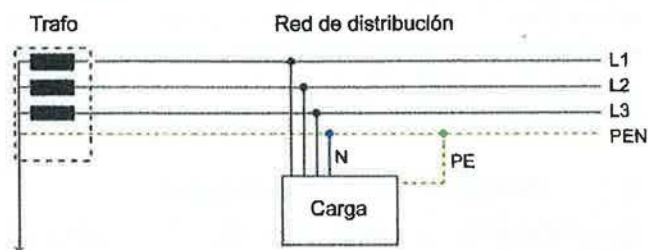


Figura 1.21. Esquema TN-C.

Esquema TN-C-S

Tienen el punto neutro de la fuente de alimentación conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas al mismo punto mediante conductores de protección. Las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor, pero en solo un tramo del esquema.

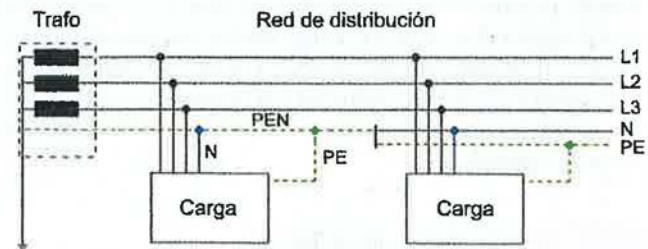


Figura 1.22. Esquema TN-C-S.

Selección de esquemas de distribución

La selección de un determinado esquema de distribución no depende directamente de los criterios de seguridad, ya que los cinco esquemas son igual de seguros si se cumplen todas las normas de instalación y uso de los equipos y materiales eléctricos en cada caso.

Los criterios para la elección del tipo de esquema más adecuado se basan en las condiciones de funcionamiento de la red, las características de las cargas, los requisitos normativos, los requisitos de la compañía distribuidora de energía y la continuidad del suministro.

En la Tabla 1.7 se especifican los esquemas de distribución más adecuados en función de las redes y las cargas, diferenciando entre el tipo de esquema más recomendado en cada caso, los esquemas alternativos y los esquemas que no deberían ser utilizados.

Tabla 1.7. Influencia de las redes y las cargas en la selección de los esquemas de distribución de neutro y masas. (Cortesía de Schneider Electric.)

Tipo de red		Recomendado	Posible	No recomendado
Red muy extensa con electrodos de tierra de alta calidad (10 Ω máx.)			TT, TN, IT o mixta	
Red muy extensa con electrodos de tierra de baja calidad (> 30 Ω)		TN	TN-S	IT TN-C
Zona con perturbaciones (tormentas) (p. ej., transmisor de televisión o radio)		TN	TT	IT
Red con corrientes de fuga altas (> 500 mA)		TN	IT TT	
Red con líneas aéreas al aire libre		TT	TN	IT
Generador auxiliar de emergencia		IT	TT	TN
Tipo de cargas				
Cargas sensibles a corrientes de defecto elevadas (motores, etc.)		IT	TT	TN
Cargas con un nivel de aislamiento bajo (hornos eléctricos, soldadoras, elementos de caldeo, etc.)		TN	TT	IT
Numerosas cargas monofásicas fase-neutro (móviles, semáforos, portátiles)		TT TN-S		IT TN-C
Cargas que presentan riesgos considerables (montacargas, cintas transportadoras, etc.)		TN	TT	IT
Numerosos elementos auxiliares (máquinas-herramienta)		TN-S	TN-C IT	TT
Varios				
Suministro a través de un transformador de energía conectado en estrella-estrella		TT	IT sin neutro	IT con neutro
Instalaciones que presentan un riesgo de incendio		IT	TN-S TT	TN-C
Aumento del nivel de alimentación del servicio público de suministro de BT, que requiere un CT privado		TT		
Instalación sometida a modificaciones frecuentes		TT		TN IT
Instalaciones en las que la continuidad de los circuitos de tierra es inestable (obras, instalaciones antiguas)		TT	TN-S	TN-C IT
Equipos electrónicos (ordenadores, autómatas)		TN-S	TT	TN-C
Red de control y supervisión de maquinaria, sensores de autómatas y accionadores		IT	TN-S, TT	

1.3.4. Reparto de cargas

En los sistemas eléctricos trifásicos, todas las cargas deben encontrarse repartidas de la forma más **equilibrada** posible entre las tres fases, de manera que la intensidad que circule por cada una de las líneas de alimentación sea prácticamente la misma. Es muy importante, en consecuencia, realizar un **reparto de cargas** adecuado que garantice que las potencias, tensiones e intensidades de todas las líneas estén compensadas.

Para obtener un sistema correctamente equilibrado, los receptores trifásicos se conectarán a las tres fases (y neutro cuando sea necesario), mientras que la conexión de los circuitos y receptores monofásicos debe realizarse con mayor cuidado, **repartiendo equilibradamente** cada una de las fases con su respectivo conductor neutro compensando las potencias (véase Figura 1.23).

De no respetarse este requisito, se obtendría un sistema trifásico desequilibrado, o *desbalanceado*, en el cual se

producirán anomalías de funcionamiento que podrían ocasionar problemas tales como:

- Sobrecalentamiento del conductor neutro.
- Distorsión armónica.
- Aumento de las caídas de tensión.
- Daños en los receptores.
- Disparo intempestivo de los interruptores diferenciales.



SABÍAS QUE

Existen también cargas bifásicas, que se conectarán de manera equilibrada entre dos de las tres fases. Este tipo de cargas, no obstante, son muy poco comunes. Por ejemplo, algunos motores especiales o los desfibriladores se alimentan de manera bifásica.

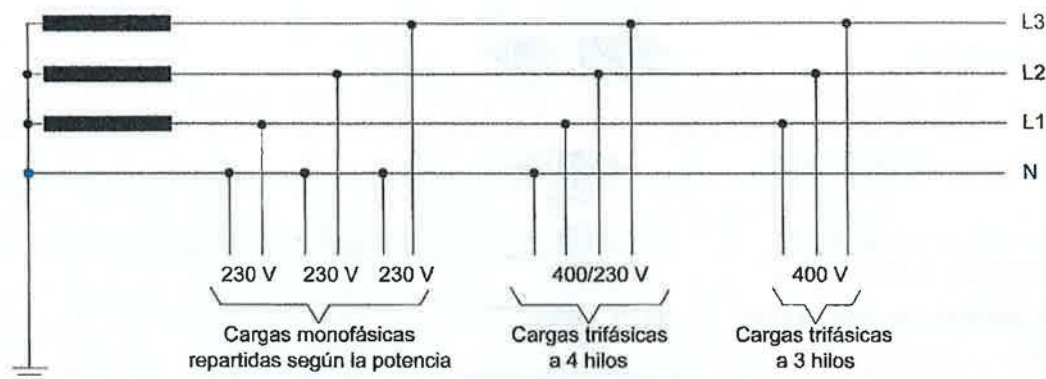
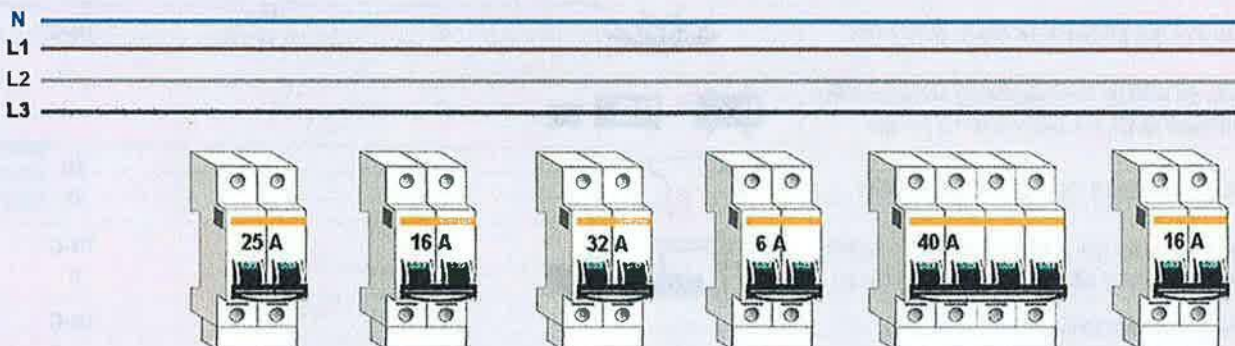


Figura 1.23. Reparto de cargas en un sistema trifásico 230/400 V.

Actividad propuesta 1.4

A continuación se muestra un grupo de interruptores automáticos domésticos de distinta intensidad nominal. Tu trabajo consiste en repartir los distintos conductores de fase y el neutro entre los interruptores para que el sistema quede lo más equilibrado posible.



1.4. Legislación y normativa de aplicación

El conjunto de criterios, instrucciones y especificaciones aplicables a una determinada materia o actividad, como es el caso de las instalaciones eléctricas, se establecen en una serie de textos y documentos de diversa índole cuya aplicación puede ser obligatoria o voluntaria.

El origen de estos documentos proviene de dos posibles entornos, el *legislativo* y el *normativo*.

1.4.1. El entorno legal

Abarca todos aquellos documentos que en forma de disposiciones legales poseen un **ámbito de aplicación obligatorio**.

En España, dichas disposiciones son aprobadas por el Estado, las comunidades autónomas, las delegaciones provinciales o los municipios y pueden ser redactadas en forma de Directiva, Ley, Ley Orgánica, Decreto, Real Decreto, Real Decreto-Ley, Reglamento, Instrucción, Orden y Ordenanza.



Figura 1.24. Figuras políticas que componen el entorno legal.

Las disposiciones legales son de aplicación obligatoria en todos los documentos elaborados e instalaciones ejecutadas con posterioridad al día de su entrada en vigor, que puede ser el mismo día de su publicación o en un día posterior concreto que debe ser anunciado en el contenido de la propia disposición.

Citando un ejemplo, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión fue publicado en un Real Decreto en agosto del año 2002. Dada su complejidad y la gran cantidad de

cambios establecidos respecto al Reglamento anterior, se estableció que su entrada en vigor fuese el 19 de septiembre de 2002 con carácter *voluntario*, y el 19 de septiembre 2003 con carácter *obligatorio*.

Siempre que por un determinado motivo justificado, no resultase posible ajustarse en su totalidad al contenido de una determinada disposición legal, el responsable de la ejecución de la instalación eléctrica debe presentar ante el Organismo Competente (generalmente la Delegación Provincial de Industria), una **solicitud de excepción** a la disposición legal o reglamento correspondiente, que debe ser aprobada antes de la fecha de comienzo de los trabajos.

1.4.2. El entorno normativo

Tienen la consideración de norma todos aquellos documentos editados por un Organismo de Normalización reconocido y cuyo **ámbito de aplicación es voluntario**. En determinadas ocasiones puede suceder que las disposiciones legales hagan referencia a una o varias normas determinadas, haciendo en ese caso su cumplimiento obligatorio.

Los Organismos de Normalización existentes en la actualidad que afectan a las instalaciones electrotécnicas se muestran en la Tabla 1.8.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es la entidad encargada de favorecer la normalización en el mundo. Es una federación de organismos nacionales con oficinas que actúan como delegadas en cada país (AENOR en España, DIN en Alemania, AFNOR en Francia, etc.) con unos comités técnicos que llevan a término las normas. Su creación surge de la necesidad de dar más eficacia a las normas nacionales.

La finalidad de las normas ISO es orientar, coordinar, simplificar y unificar los usos para conseguir menores costes y efectividad.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) posee unas características análogas a las indicadas por la Organización Internacional de Normalización, solo que en este caso las normas creadas se incluyen exclusivamente en el entorno de las competencias eléctricas.

Gran parte de las normas internacionales IEC, se transponen a normas europeas EN y posteriormente a normas españolas UNE-EN.

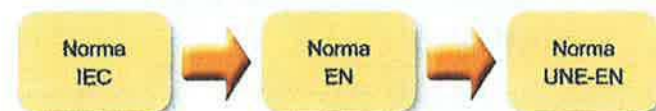


Figura 1.25. Proceso de transposición de normas internacionales a normas españolas.

Tabla 1.8. Principales Organismos de Normalización.

	De competencias generales	De competencias eléctricas	De competencias en telecomunicaciones
Ámbito Internacional	 Organización Internacional de Normalización	 Comisión Electrotécnica Internacional	 Unión Internacional de Telecomunicaciones
Ámbito europeo	 Comité Europeo de Normalización	 Comité Europeo de Normalización Electrotécnica	 Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
Ámbito nacional	AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación		

1.4.3. Normativa y reglamentación aplicables a las instalaciones eléctricas de baja tensión

El entorno legal y normativo aplicable a las instalaciones electrotécnicas es muy extenso, lo que hace muy complicado realizar un estudio en profundidad de todas las disposiciones en vigor. A continuación se darán a conocer las normas, leyes y reglamentos que afectan más directamente a las instalaciones eléctricas, de las que forman parte las instalaciones de automatismos industriales.

Todos los documentos expuestos a continuación derogan a sus precedentes, así como a cualquier texto de igual o inferior rango que contradiga o se oponga a lo establecido en los mismos.

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-BT-01 a ITC-BT-51

Aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y modificado en gran medida por la **Ley Ómnibus** (Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo). Concretamente, en el artículo séptimo modifica el REBT en lo referente al libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, de obligado cumplimiento, establece los requisitos específicos que debe cumplir una instalación eléctrica de baja tensión ($U < 1.000 V_{CA}$ y $< 1.500 V_{CC}$), en lo que respecta a sección de los conductores, métodos de montaje, diámetro de los tubos y canalizaciones, potencia prevista, características de las protecciones, etc.



SABÍAS QUE

En la actualidad, ya se ha redactado la nueva ITC-BT-52 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, referente a la infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos y electrolineras.

Guía técnica de aplicación al REBT

La guía de interpretación del Ministerio de Ciencia y Tecnología de aplicación del REBT, publicada inicialmente en septiembre de 2003 y ampliada posteriormente, tiene como objetivo facilitar la comprensión y aplicación práctica de las exigencias establecidas por el Reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias. Ha sido elaborada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología en consonancia con expertos y entidades más representativas del sector eléctrico. Al tratarse de una guía, posee un **carácter orientativo no obligatorio**.

Reglamento de Eficiencia energética en instalaciones de Alumbrado Exterior (REAE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07

Aprobado por el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, establece los requisitos técnicos y documentales que deben cumplir las instalaciones de alumbrado exterior. Dichas instalaciones, siempre que su potencia instalada sea superior a 1 kW, deben ser objeto de ciertos cálculos definidos en el reglamento y encontrarse dentro de los límites establecidos por él, los cuales determinan la calificación energética de dicha instalación.

1.4.4. Otras normas y disposiciones legales de aplicación en las instalaciones de automatismos industriales

Resulta también necesario conocer y tener en cuenta toda la legislación y normativa referente al sector eléctrico general, al sector de las telecomunicaciones y al sector industrial. Las disposiciones más relevantes que cubren este aspecto son las siguientes:

- Ley del Sector Eléctrico (Ley 54/1997, de 27 noviembre). Es aplicable a todas las instalaciones eléctricas tanto en baja como en alta tensión.
- Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Código Técnico de la Edificación (CTE) y documentos básicos DB HE, DB HR, DB HS, DB-SUA, DB SI y DB SE. El Código Técnico de la Edificación establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de ahorro de energía, protección frente al ruido, seguridad de utilización y accesibilidad, salubridad, seguridad en caso de incendio y seguridad estructural establecidos.
- Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (RICT) para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las

edificaciones (Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo, Orden ITC/1644/2011, de 10 de junio).

- Reglamento regulador de la actividad de instalación y mantenimiento de equipos y sistemas de telecomunicación (Real Decreto 244/2010, de 5 de marzo, Orden ITC/1142/2010, de 29 de abril).
- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI), especialmente en los artículos que hacen referencia a las características que deben cumplir ciertas instalaciones eléctricas (Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre).
- Norma UNE-EN 61131-1, sobre autómatas programables.
- Norma UNE 60947-4-1, sobre aparataje de baja tensión.
- Norma UNE 60439-4-1, sobre conjuntos montados de aparataje.
- Norma UNE 21811, sobre aparataje industrial de baja tensión.
- Norma UNE 20801-1, sobre compatibilidad electromagnética para los equipos de medida y control de los procesos industriales.



RECUERDA

Pueden resultar también de aplicación otras normas, disposiciones, directivas o actas propias de la comunidad autónoma, provincia o municipio donde va a ser realizada la instalación, así como los requisitos internos y protocolos de las compañías que suministran la energía eléctrica.

Todos los reglamentos y normativas que han sido citados en este apartado deben tenerse en cuenta en el campo de las instalaciones eléctricas industriales, siendo conscientes de que este ámbito de trabajo se encuentra en constante cambio, por lo que es necesario conocer las nuevas disposiciones posteriores a la fecha de publicación de los reglamentos y que son emitidas para complementar o actualizar sus contenidos, entre las que destacan Reales Decretos y Órdenes cuya finalidad es la corrección de errores y erratas, actualizaciones puntuales, etc.

Actividades de comprobación

- 1.1. ¿Cuál de los siguientes términos no se corresponde con un sistema de control industrial?
 - a) PC industriales.
 - b) Automata programable (PLC).
 - c) Reguladores PDI compactos.
- 1.2. ¿Qué empresa realizó y comercializó el primer modelo de PLC, denominado MODICON 084?
 - a) Bedford Associates.
 - b) General Motors.
 - c) Schneider Electric.
- 1.3. ¿Cómo se denomina a parte de un sistema automático en la que los operarios interactúan con el sistema automatizado a partir de mandos, pupitres o salas de operaciones?
 - a) Cuadro general de baja tensión.
 - b) Zona de sensores y detectores.
 - c) Zona de mando y control.
- 1.4. Los elementos que se encargan de medir variables externas y enviar información captada en forma de señales eléctricas se denominan:
 - a) Actuadores.
 - b) Sensores.
 - c) Conductores eléctricos.
- 1.5. Los circuitos encargados de suministrar energía eléctrica a los receptores del sistema automático, generalmente máquinas eléctricas rotativas, se denominan:
 - a) Circuitos de manobra.
 - b) Circuitos de potencia.
 - c) Circuitos de energía.
- 1.6. ¿Cuál es la tensión habitual de fase en un sistema eléctrico trifásico con neutro distribuido?
 - a) 230 V.
 - b) 400 V.
 - c) 690 V.
- 1.7. La apartamentada cuya función es la conexión no puede:
 - a) Abrir o cerrar circuitos en carga.
 - b) Abrir o cerrar circuitos sin carga.
 - c) Abrir circuitos en condiciones anormales de funcionamiento.
- 1.8. La apartamentada eléctrica cuya función es la de abrir y cerrar circuitos cuando no circula intensidad por los conductores se denomina:
 - a) Apartamentada de protección.
 - b) Apartamentada de conexión.
 - c) Apartamentada de seccionamiento.
- 1.9. Una instalación cuya tensión de funcionamiento es de 1.000 V_{CC} se denomina:
 - a) Instalación eléctrica de baja tensión.
 - b) Instalación eléctrica de alta tensión.
 - c) Instalación eléctrica de media tensión.
- 1.10. Una instalación cuya tensión de funcionamiento es de 1.000 V_{CA} se denomina:
 - a) Instalación eléctrica de baja tensión.
 - b) Instalación eléctrica de alta tensión.
 - c) Instalación eléctrica de media tensión.
- 1.11. Las instalaciones industriales se abastecen de energía eléctrica:
 - a) Siempre en baja tensión.
 - b) Siempre en alta tensión.
 - c) En alta o baja tensión, dependiendo del tamaño y la potencia consumida.
- 1.12. Selecciona la opción incorrecta, relacionada con las tensiones características de los sistemas trifásicos:
 - a) $U_L = 1,73 \times U_F$
 - b) $U_L = U_F / \sqrt{3}$
 - c) $U_F = U_L / \sqrt{3}$
- 1.13. ¿Cuál es la frecuencia de una instalación eléctrica de corriente continua?
 - a) 50 Hz.
 - b) 5 Hz.
 - c) Ninguna respuesta es correcta.
- 1.14. Los documentos editados por un Organismo de Normalización reconocido y cuyo ámbito de aplicación en algunos casos puede ser voluntario, se denominan:
 - a) Leyes.
 - b) Normas.
 - c) Decretos.

Actividades de aplicación

- 1.1. Define brevemente los siguientes conceptos:
 - a) Automatización.
 - b) Automática.
 - c) Automatismos industriales.
 - d) Automatización industrial.
- 1.2. Enumera los sistemas de control más generalizados de aplicación en los procesos industriales.
- 1.3. ¿En qué se diferencian básicamente la lógica cableada y la lógica digital? ¿Cuáles son las principales ventajas que presenta la lógica cableada frente a los PLCs?
- 1.4. ¿Qué diferencias existen entre un autómatas programable y un relé programable?
- 1.5. Enumera las fases de desarrollo de un proyecto de automatización basado en lógica digital.
- 1.6. Indica las características que definen a los circuitos de fuerza y los circuitos de maniobra. ¿Qué relación existe entre el cableado de ambos circuitos?
- 1.7. Enumera las cuatro posibles funciones que pueden realizar los dispositivos eléctricos considerados como aparataje eléctrica.
- 1.8. Realiza la clasificación práctica de los diferentes niveles de tensión de corriente alterna.
- 1.9. ¿Por qué crees que a la tensión en corriente alterna que se encuentra entre 50 y 500 voltios se le denomina *tensión usual*?
- 1.10. ¿Por qué motivo el transporte de la energía eléctrica se realiza en alta tensión?
- 1.11. ¿Qué diferencias existen entre los sistemas eléctricos de corriente alterna monofásicos y los trifásicos? ¿Qué relación hay entre los mismos?
- 1.12. Enumera las posibles tensiones de servicio que podemos encontrar en las redes eléctricas de baja tensión.
- 1.13. ¿Cuál es el sistema de distribución de neutro y masas más utilizado en las instalaciones eléctricas de baja tensión? ¿Cuáles son las características fundamentales que lo definen? ¿Qué otros sistemas conoces?
- 1.14. Explica en qué consiste el reparto de cargas en una instalación eléctrica trifásica.
- 1.15. Enumera las figuras políticas que componen el entorno legislativo, ordenándolas de manera jerárquica. Indica, asimismo, los posibles tipos de disposiciones legales que pueden redactar.
- 1.16. ¿Para qué sirve la Guía técnica de aplicación al REBT? ¿Qué función desempeña? Indica si se trata de un documento de obligado cumplimiento o posee carácter voluntario.

Casos prácticos

- 1.1. En el entorno de los automatismos industriales, se utiliza el término SCADA para referirse a un sistema que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.
Busca información en internet sobre estos sistemas SCADA y define sus principales características y las ventajas que puede ofrecer su implementación en un proceso industrial.
- 1.2. Realiza un esquema gráfico de un proceso automático en bucle abierto que se te ocurra, definiendo todos los dispositivos que deben actuar en él. A continuación, sobre ese mismo proceso, añade las etapas y dispositivos correspondientes para transformarlo en un proceso automático de bucle cerrado.

- 1.3. Con el objetivo de ir ampliando tu conocimiento sobre el mundo de los automatismos industriales y sus componentes asociados, avanza hasta la siguiente unidad y realiza un breve listado de todos los dispositivos que serán estudiados, indicando en cada caso la función que cumplen dentro de un circuito eléctrico de entre estas posibilidades: seccionamiento, conexión, protección, control y medida u otras funciones.

Guarda el listado que has realizado, puesto que te servirá para consultas futuras y te ayudará a entender mucho mejor los contenidos de la asignatura.

- 1.4. Asocia cada uno de los siguientes tipos de instalaciones eléctricas dentro de los rangos de tensión propuestos en los que suelen encontrarse normalmente.

Nivel de tensión:

Hasta 400 V	400 V - 5.000 V	5.000 V - 66.000 V	Más de 66.000 V
-------------	-----------------	--------------------	-----------------

Tipo de instalación:

- Línea de entrada de un centro de transformación.
 - Línea de transporte de energía.
 - Línea de salida de un centro de transformación.
 - Instalación de alumbrado público.
 - Instalación para industria en alta tensión.
 - Central hidroeléctrica.
- 1.5. La generación y consumo de la energía eléctrica se realiza en tiempo real, es decir, toda la energía que se genera

debe ser consumida en el mismo momento. La previsión y monitorización de estos flujos de electricidad la lleva a cabo Red Eléctrica de España, y puede ser consultada por cualquier persona a través de su página web.

Entra en la siguiente página web: <https://demanda.ree.es/demanda.html> y podrás visualizar la demanda y generación de energía en tiempo real (en MW y en valor porcentual) del sistema eléctrico nacional. A continuación responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las principales fuentes de generación de energía eléctrica en España?
- ¿A qué hora se produce el mayor consumo energético?
- ¿Cuál es la energía eléctrica media consumida (en kW) en nuestro país?

- 1.6. Localiza las disposiciones legales y normas que podrás encontrar en la página web de la editorial (www.parainfo.es). Descarga las que puedas considerar de mayor interés, especialmente la Guía Técnica de aplicación al REBT, ya que te resultará muy útil como manual de consulta para llevar a cabo la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo del libro.

- 1.7. Identifica los dispositivos presentes en la imagen siguiente, correspondiente a la instalación eléctrica en un cuadro general de baja tensión (CGBT).

Realiza un reparto de cargas lo más equilibrado posible entre las tres fases del sistema y entre los interruptores diferenciales.

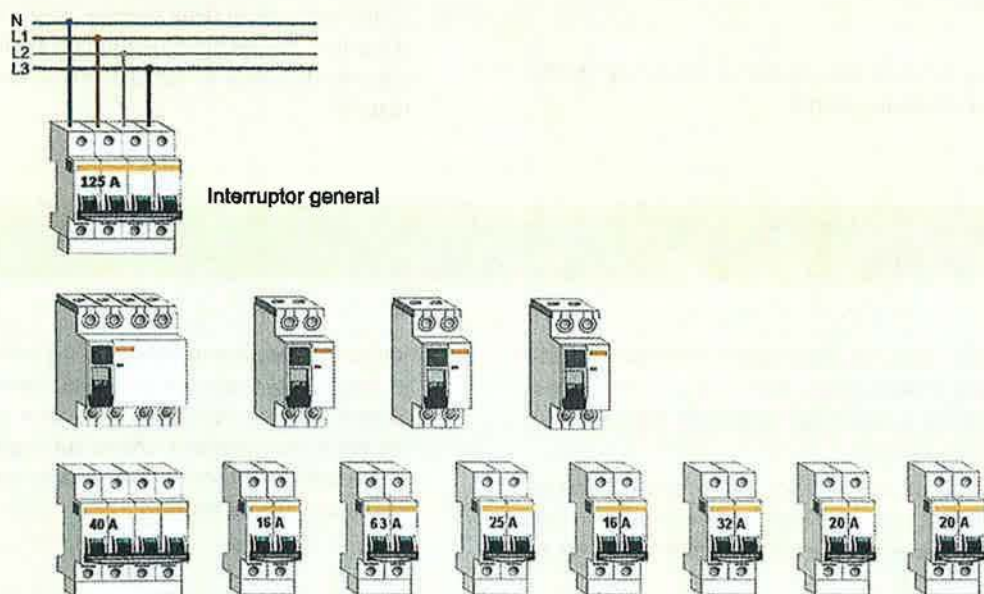
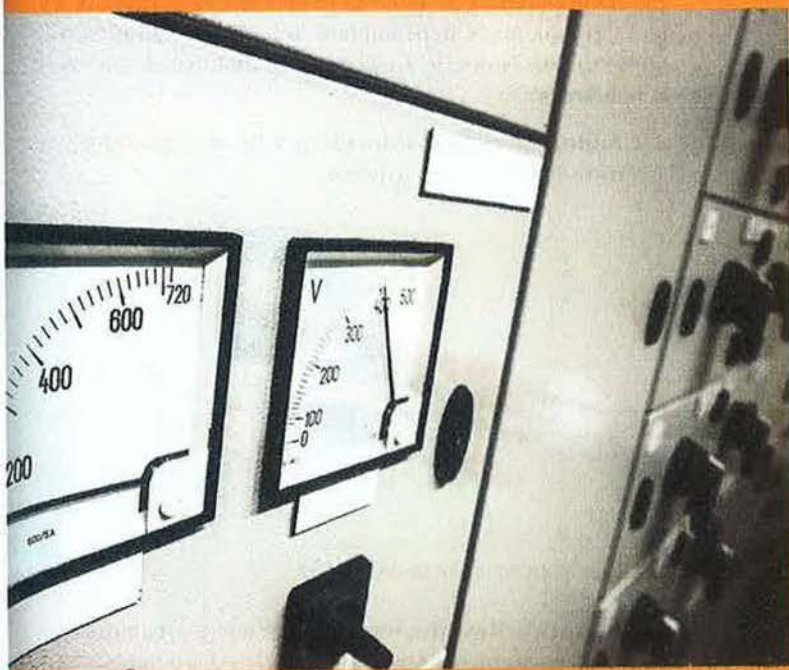


Figura 1.26. Dispositivos de protección de un cuadro general.

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**.

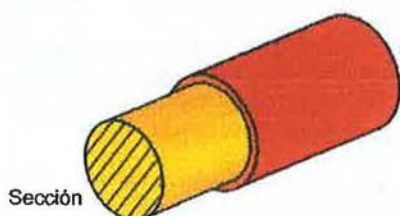
Tabla 2.2. Código de colores del aislamiento de los conductores en instalaciones de baja tensión.

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 × 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, **U_o/U**, expresados en voltios, siendo **U_o** 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 (U _o /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.

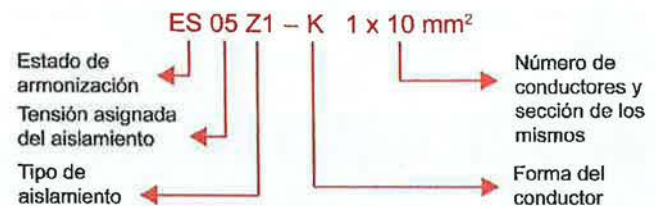
Tras el nombre del fabricante y la marca comercial, dicha combinación de símbolos (letras y números) hace referencia a las características físicas y técnicas del cable. Este

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 _o /U _i -450/750 V CONFORME A UNE 21031, UNE 21027, UNE 211002			
Número	Descripción	Sigla 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 _o /U _i -100/100 V U _o /U _i -300/300 V U _o /U _i -300/500 V U _o /U _i -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 Uo/U -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 $I_N < 16$ 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.

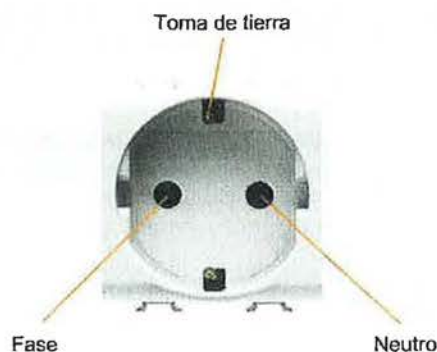


Figura 2.16. Partes de una toma de corriente.





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	Domésticas	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	-X 
Base monofásica con toma de tierra	-X 
Base monofásica de 25 A o superior	-X 
Base trifásica	-X 

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.

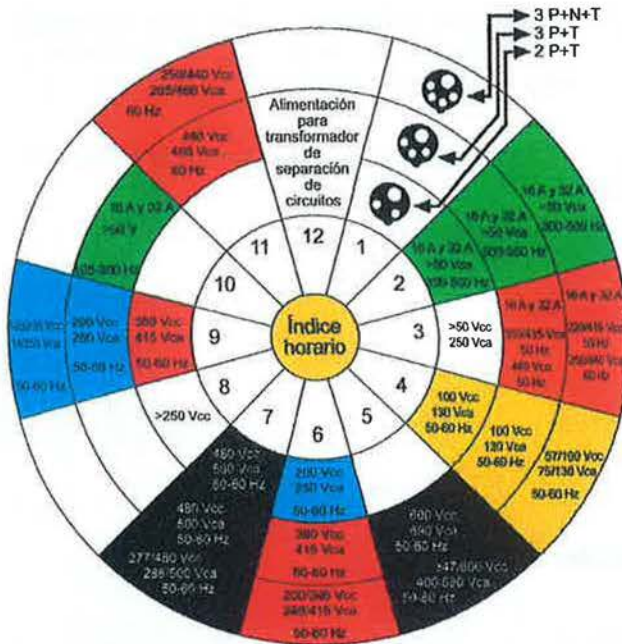


Figura 2.17. Código de colores y posición de la toma de tierra para bases de corriente industriales.

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 apartamento, generalmente fusibles e interruptores de corte en carga.

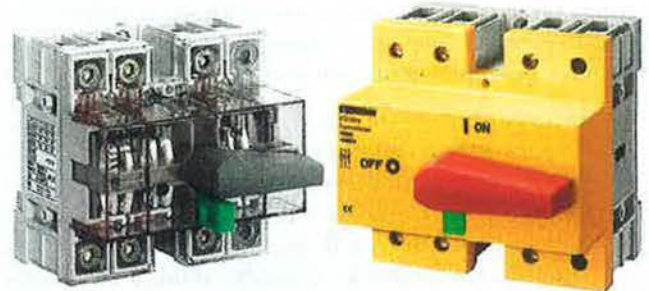


Figura 2.19. Interruptor-seccionador, utilizado en instalaciones de BT. (Cortesía de Siemens.)

Tabla 2.9. Simbología asociada a los seccionadores.

	Simbolo
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.

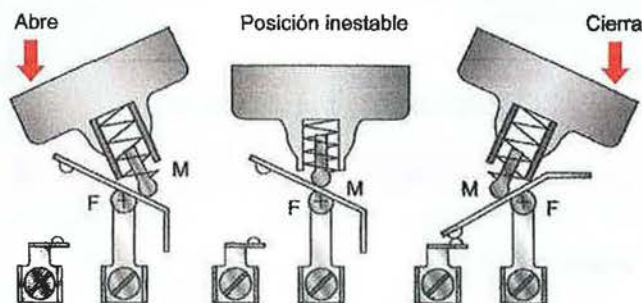


Figura 2.20. Principio de funcionamiento de un interruptor.

- **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	
Pulsador	
Resistencia variable (regulador)	

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.)

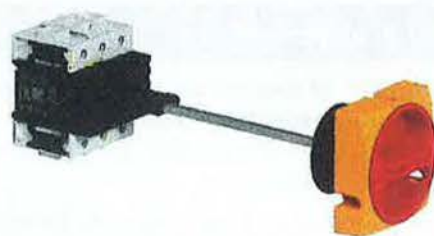


Figura 2.22. Conmutador rotativo.

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.

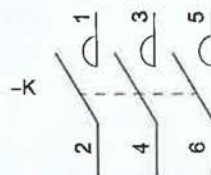


Figura 2.23. Símbolo asociado al contactor.

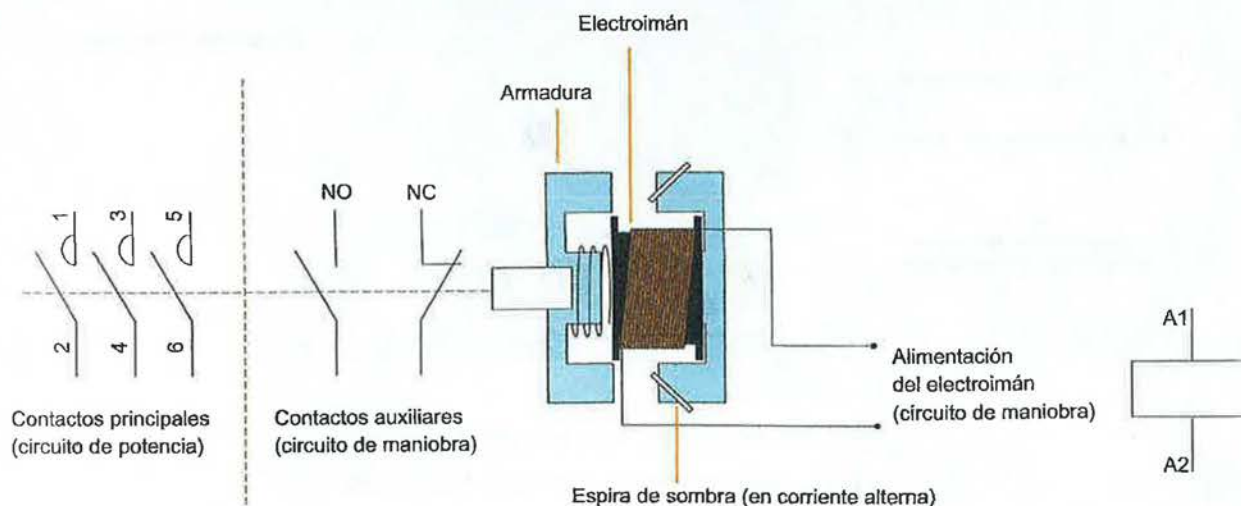


Figura 2.24. Representación interna y principio de funcionamiento de un contactor.

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.

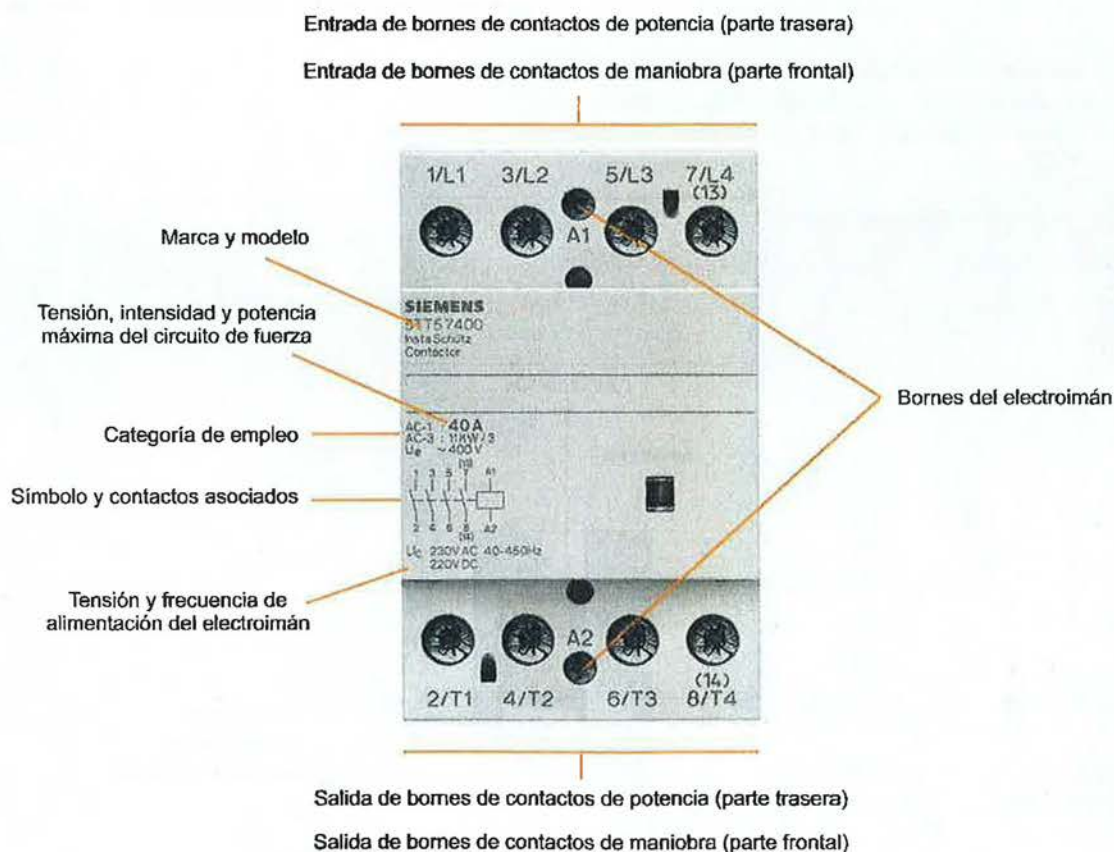


Figura 2.26. Parámetros característicos de un contactor.

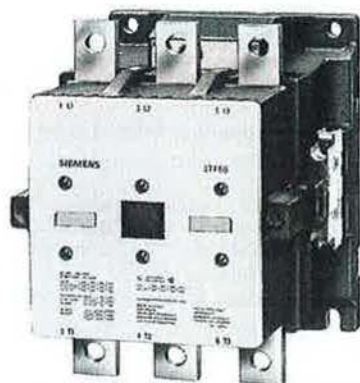


Figura 2.27. Contactor para circuitos de alta potencia. (Cortesía de Siemens.)

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. <ul style="list-style-type: none"> 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. <ul style="list-style-type: none"> 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. <ul style="list-style-type: none"> 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.

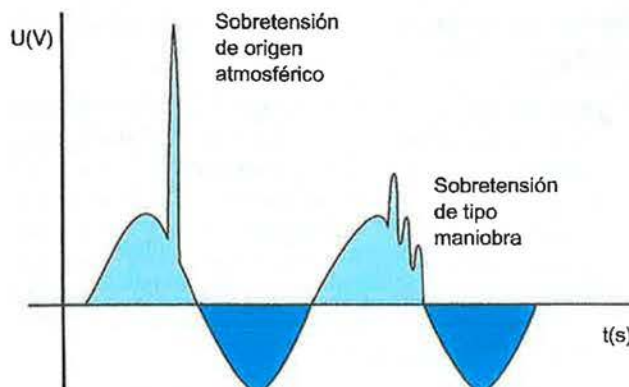


Figura 2.28. Representación gráfica de las sobretensiones de mayor amplitud.

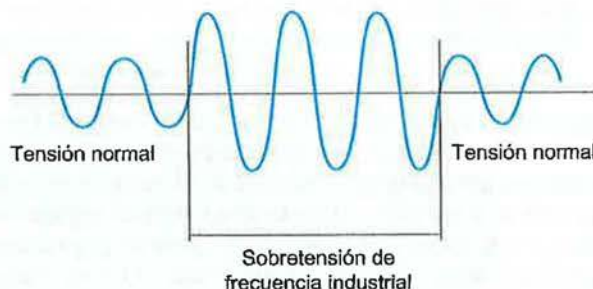


Figura 2.29. Representación gráfica de la sobretensión de frecuencia industrial.

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)**.

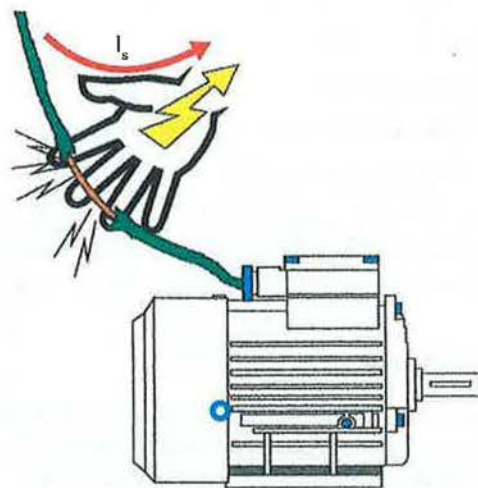


Figura 2.30. Representación de un contacto directo.

- **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)**.

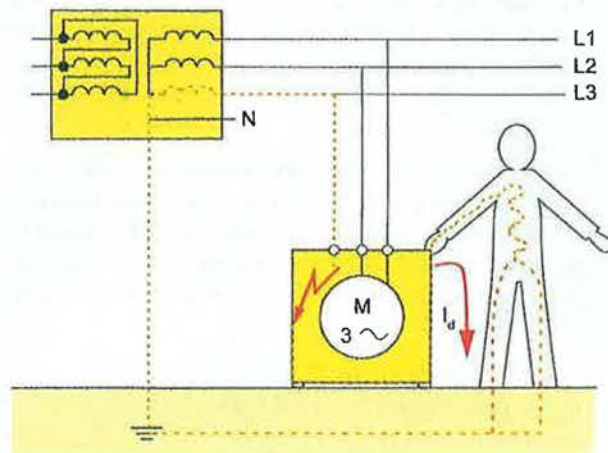


Figura 2.31. Representación de un contacto indirecto.

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

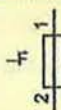
El cortacircuitos fusible, o simplemente fusible, es el dispositivo más antiguo para la protección de los circuitos eléctricos. Se trata de un elemento de protección muy fiable y económico, el cual tiene en su interior un material conductor (generalmente una aleación metálica con bajo punto de fusión 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.

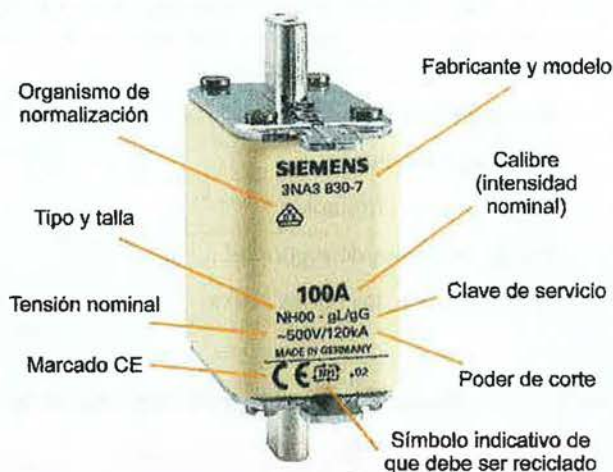


Figura 2.33. Parámetros característicos de un fusible.

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.

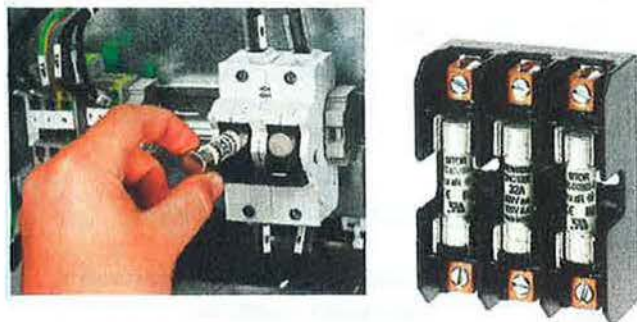


Figura 2.34. Fusibles cilíndricos en base portafusibles. (Cortesía de Siemens.)

- **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.)

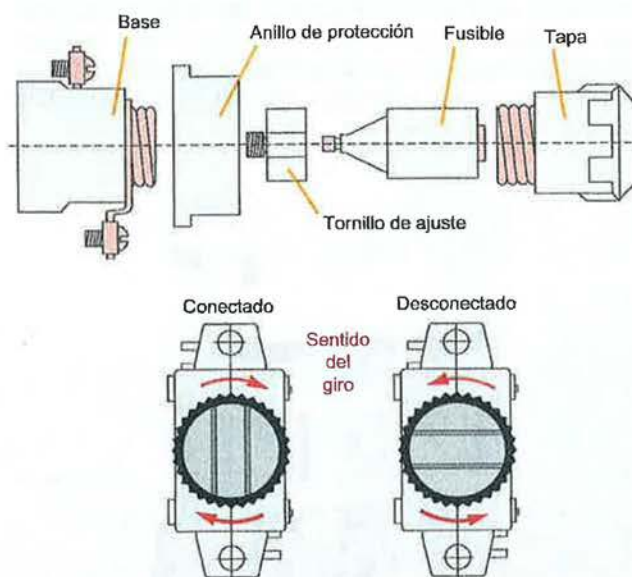


Figura 2.37. Base portafusibles de rosca. (Cortesía de Siemens.)

- **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.

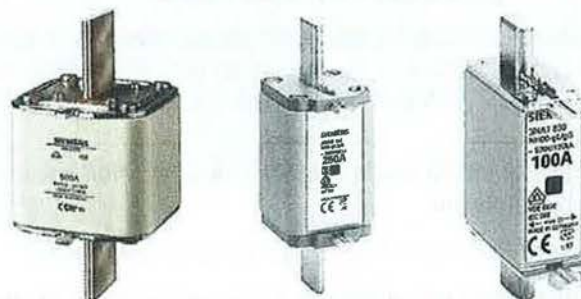


Figura 2.38. Fusibles NH. (Cortesía de Siemens.)

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.

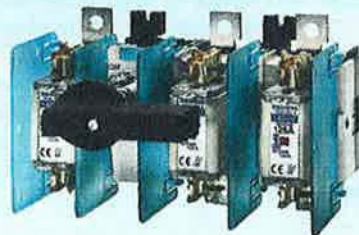


Figura 2.40. Conjunto seccionador-fusible, con un alto poder de corte. (Cortesía de Siemens.)

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:

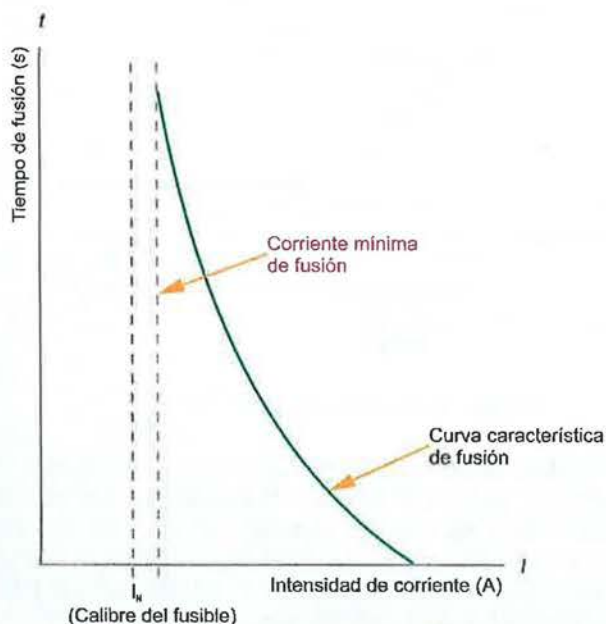


Figura 2.41. Curva característica intensidad/tiempo de un fusible.

- 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.

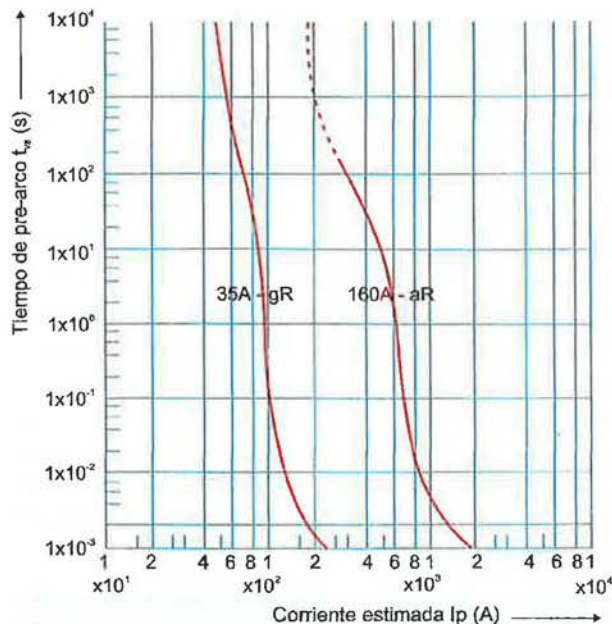


Figura 2.42. Curva característica intensidad/tiempo, aportada por el fabricante, de fusibles tipo gR y aR, de 35 y 160 A respectivamente.



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 $1,5 \text{ mm}^2$, 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.

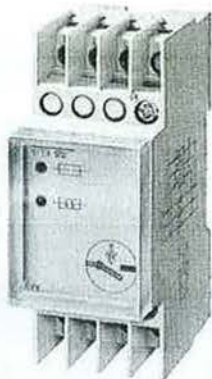


Figura 2.43. Controlador de fusibles. (Cortesía de Siemens.)

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.

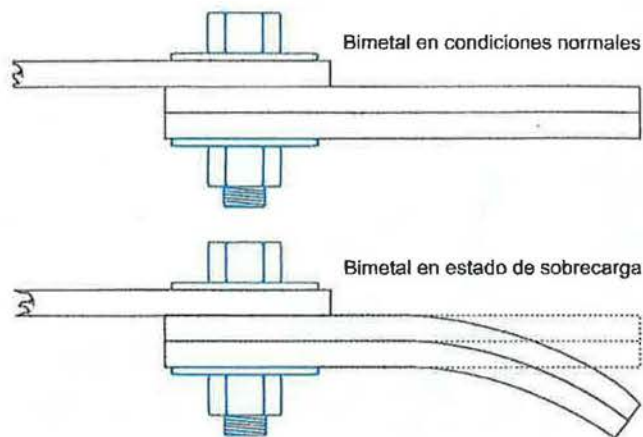


Figura 2.44. Principio de funcionamiento del relé térmico.

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.

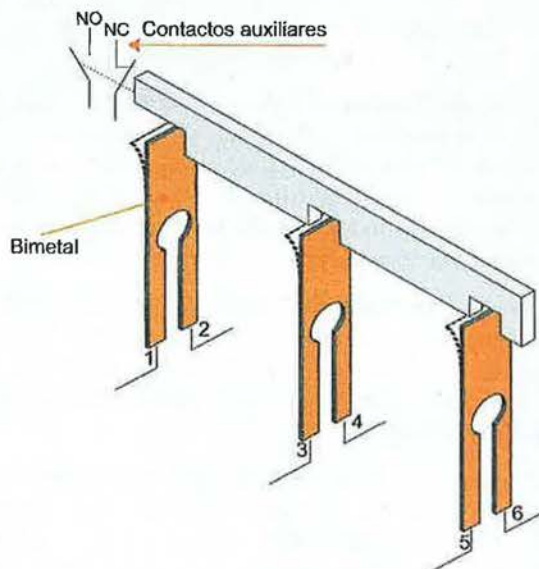


Figura 2.45. Estructura interna del relé térmico.

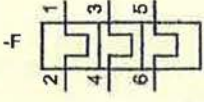
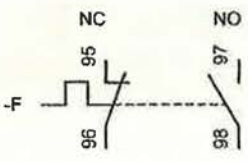
SABÍAS QUE

La lámina bimetalica 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	

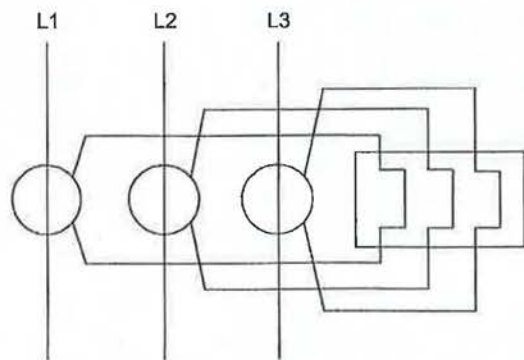


Figura 2.46. Medida indirecta de intensidad por parte de un relé térmico.

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*.

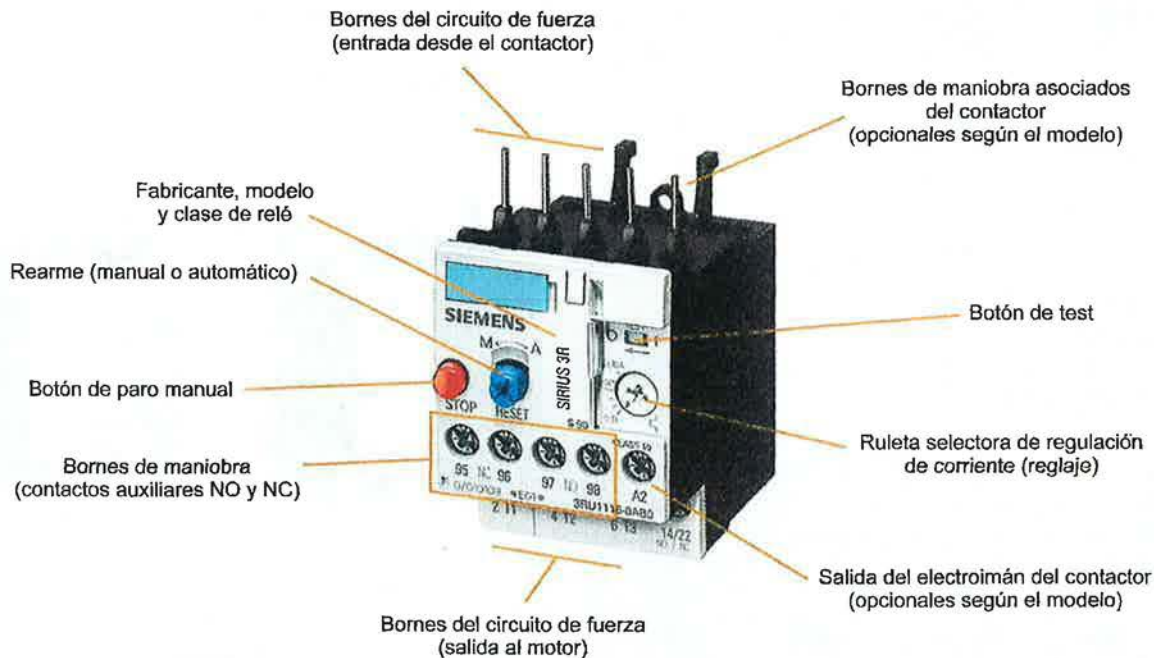


Figura 2.49. Características de un relé térmico.

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

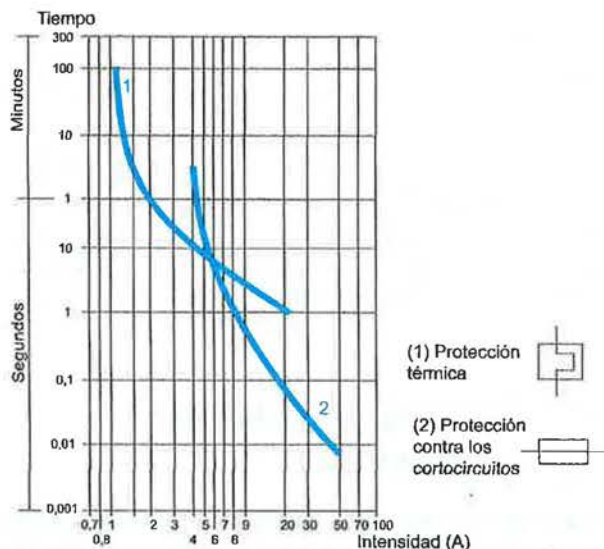


Figura 2.50. Curva característica intensidad/tiempo resultante de la combinación en un circuito eléctrico de un fusible y un relé térmico.

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		

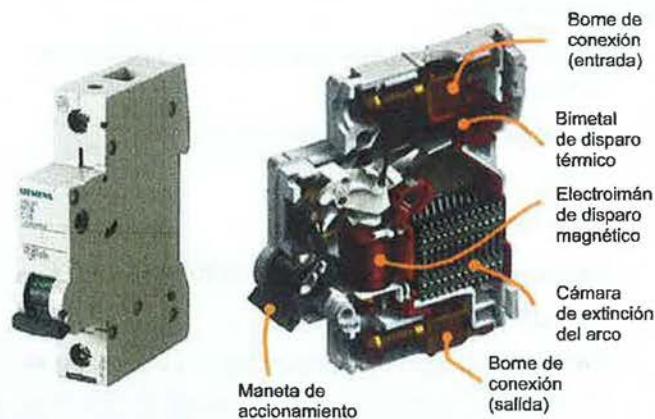


Figura 2.51. Vista interna y externa de un interruptor automático magnetotérmico.

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.

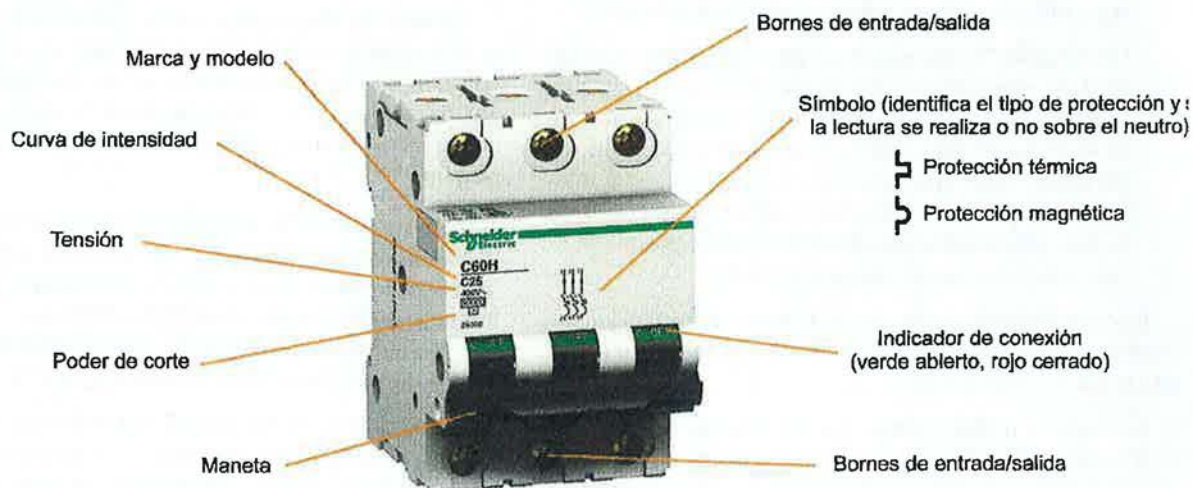


Figura 2.52. Parámetros característicos de un interruptor automático.

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.

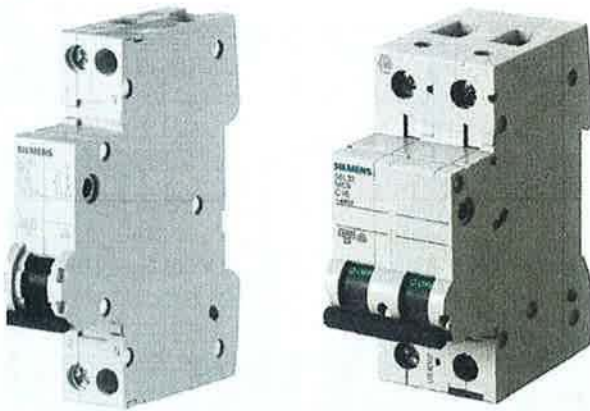


Figura 2.53. Interruptor automático doméstico DPN 2x16 A (polo + neutro). (Cortesía de Siemens.)



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.

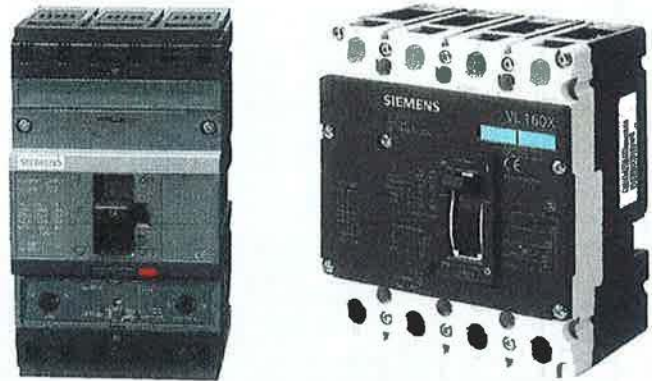


Figura 2.57. Interruptores automáticos de caja moldeada de tres y cuatro polos.

- **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).

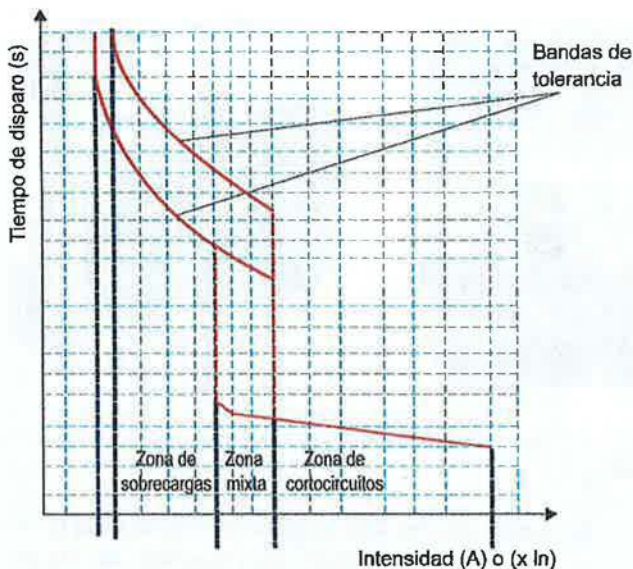


Figura 2.59. Representación de la curva de disparo de un interruptor automático.

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.

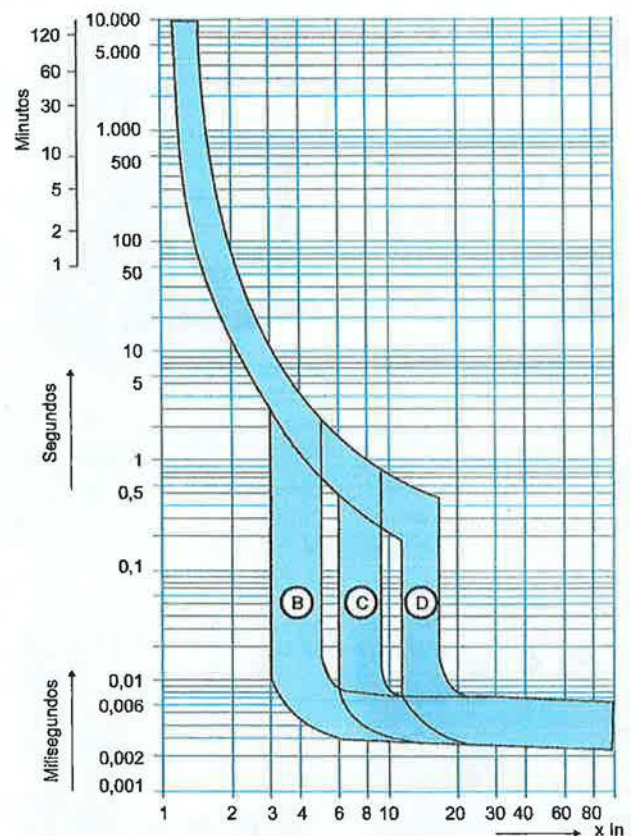


Figura 2.60. Representación de las curvas de disparo B, C y D.

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.

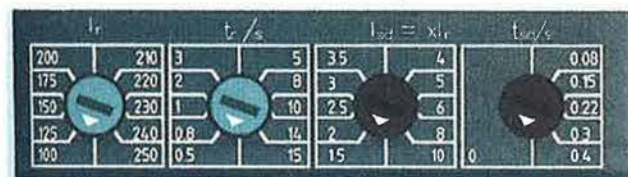
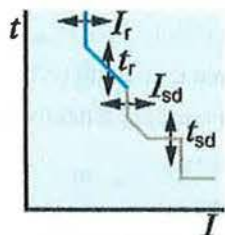


Figura 2.61. Ruletas de reglaje de un interruptor automático de caja moldeada de 250 A.

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_{sd} , 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

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

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.

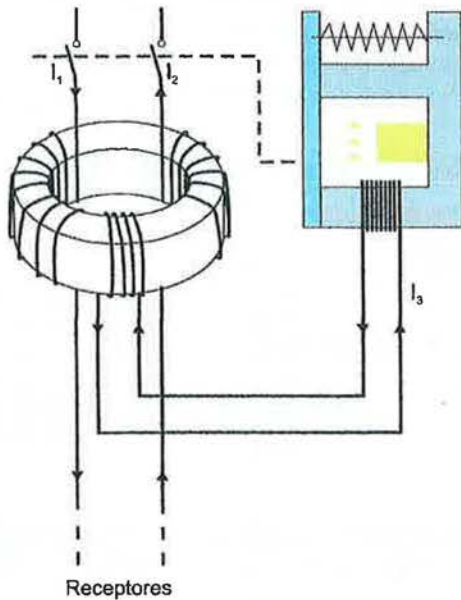


Figura 2.62. Principio de funcionamiento del interruptor diferencial.



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

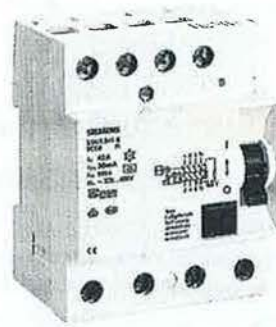


Figura 2.64. Interruptor diferencial trifásico. (Cortesía de Siemens.)



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



Figura 2.66. Toroidal de medida indirecta. (Cortesía de Schneider 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 o 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.

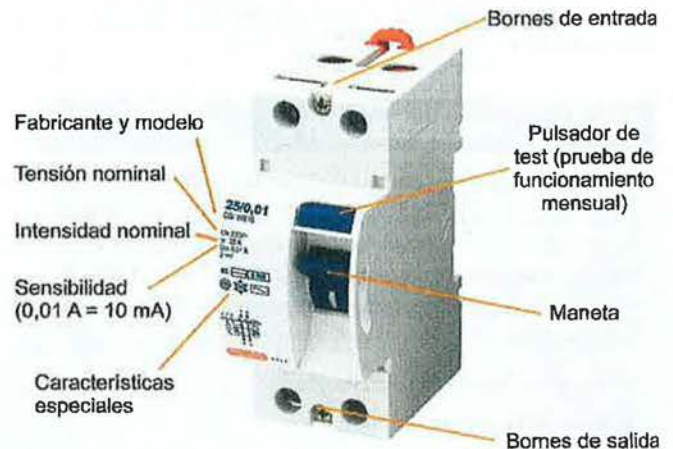


Figura 2.67. Parámetros característicos de un interruptor diferencial.



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 atravesarla 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.

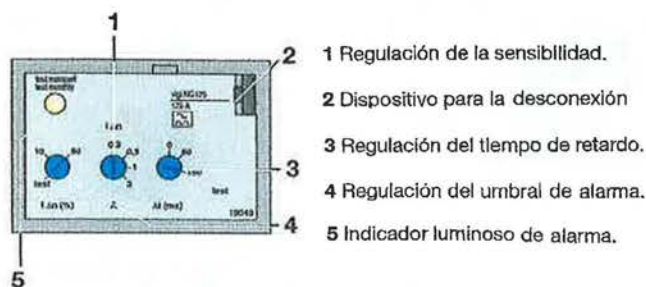


Figura 2.68. Vista frontal de la zona de reglaje de un relé diferencial.

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 **superinmune** ("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.

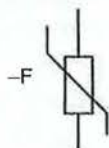


Figura 2.72. Símbolo genérico asociado al descargador de sobretensiones.

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.

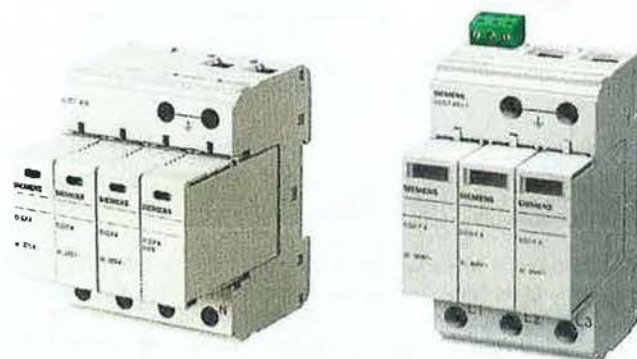


Figura 2.73. Descargador de sobretensiones de tres y cuatro polos. (Cortesía de Siemens.)



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.

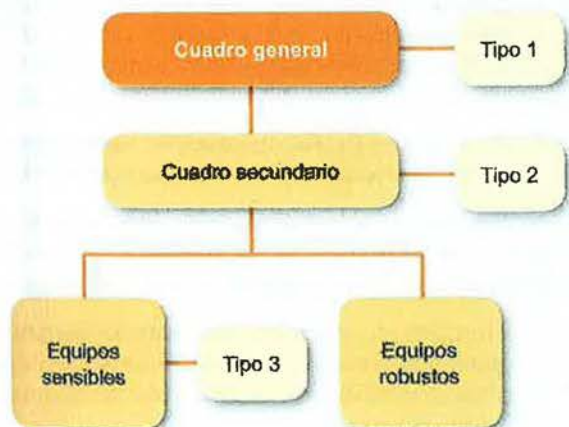


Figura 2.75. Ejemplo de una instalación con tres tipos de descargadores de sobretensiones.

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.

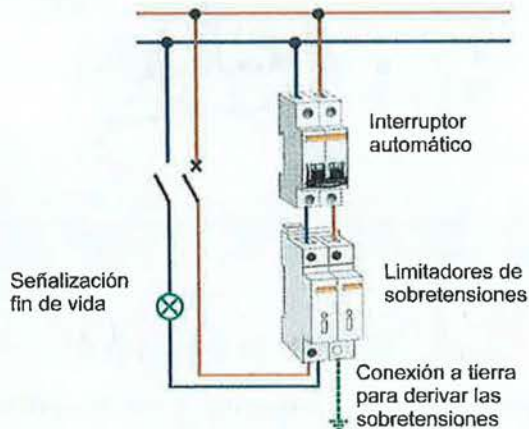


Figura 2.76. Ejemplo de conexionado de un descargador de sobretensiones tipo 1 o 2.

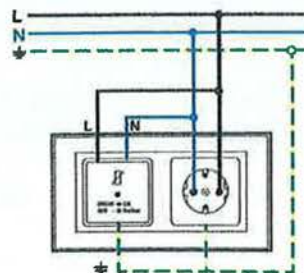


Figura 2.77. Ejemplo de conexionado de un descargador de sobretensiones tipo 3.

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.

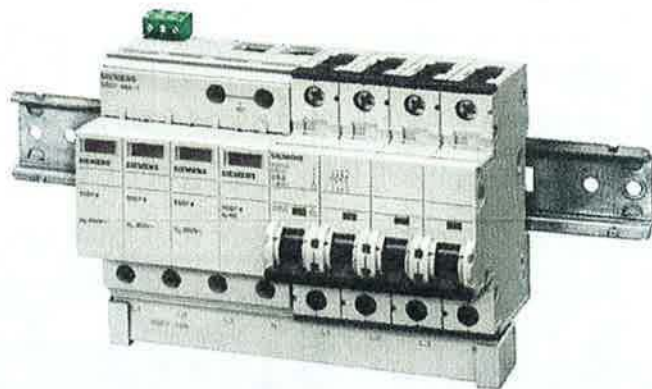


Figura 2.78. Detalle de un descargador de sobretensiones e interruptor automático asociado. (Cortesía de Siemens.)

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.

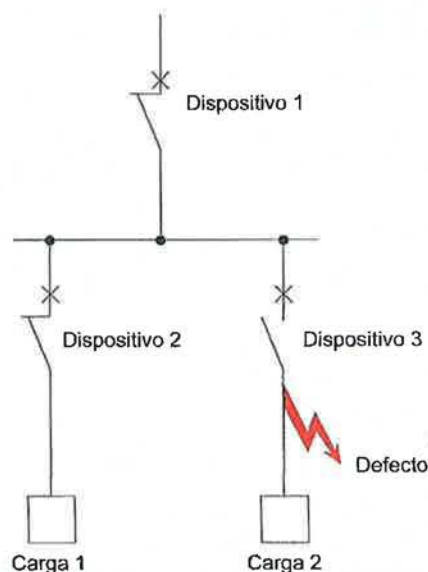


Figura 2.79. Principio de selectividad.

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.

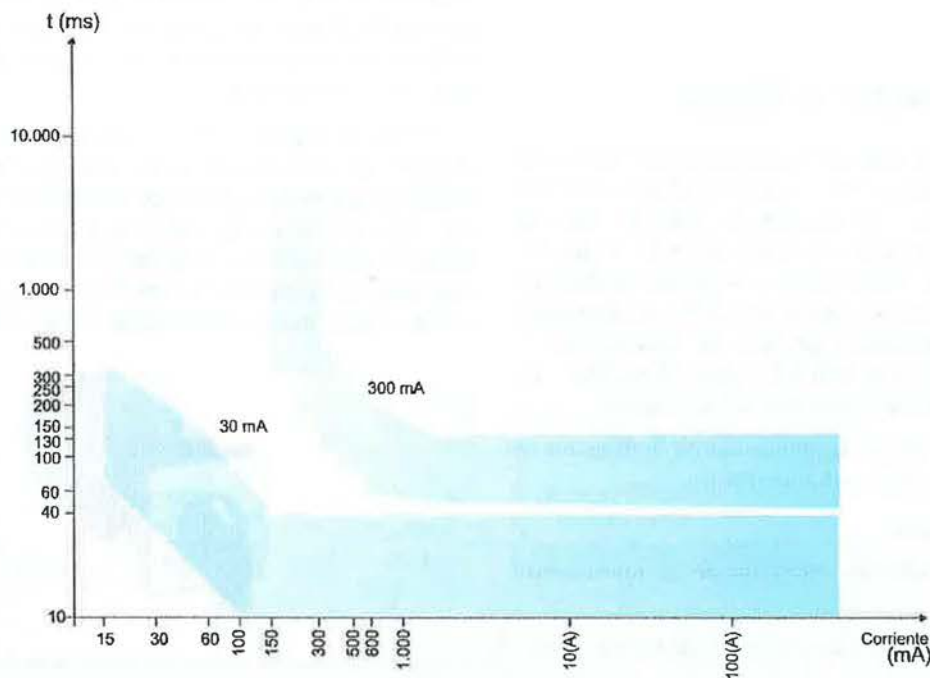


Figura 2.80. Ejemplo de selectividad en interruptores diferenciales domésticos de 30 mA y 300 mA. (El diferencial de 300 mA estará situado aguas arriba del diferencial de 30 mA.)

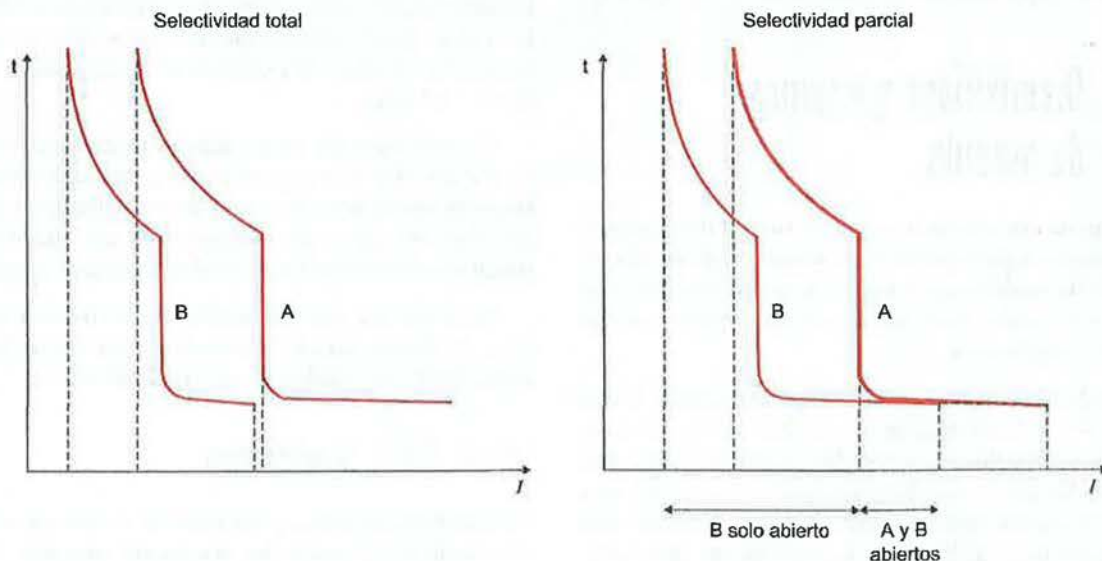


Figura 2.81. Ejemplo de selectividad total y parcial para dos interruptores automáticos, en función de sus curvas de disparo (dispositivo A situado aguas arriba de B).

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 desea visualizar.



Figura 2.82. 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	$-P \quad \bigcirc \quad V$

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.

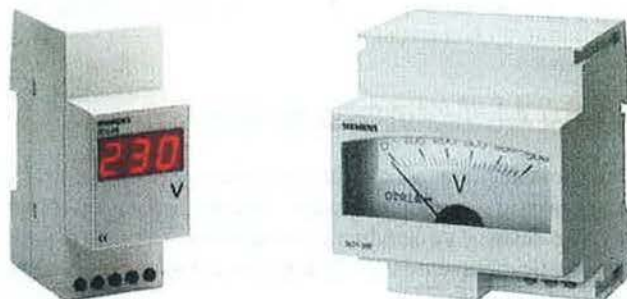


Figura 2.83. Voltímetros para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)

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	$-P \quad \bigcirc \quad A$

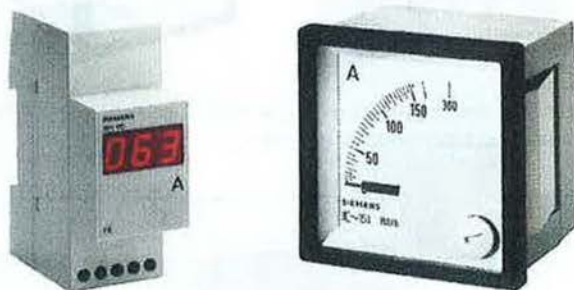


Figura 2.84. Amperímetro para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)



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 0Ω , error o infinito.

	Símbolo
Óhmetro	$-P \quad \bigcirc \quad \Omega$

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 aparatenta 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	$-P \quad \bigcirc \quad W$

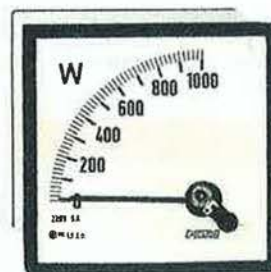


Figura 2.86. Vatímetro para montaje superficial en la puerta de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Circutor.)

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

xión: 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.

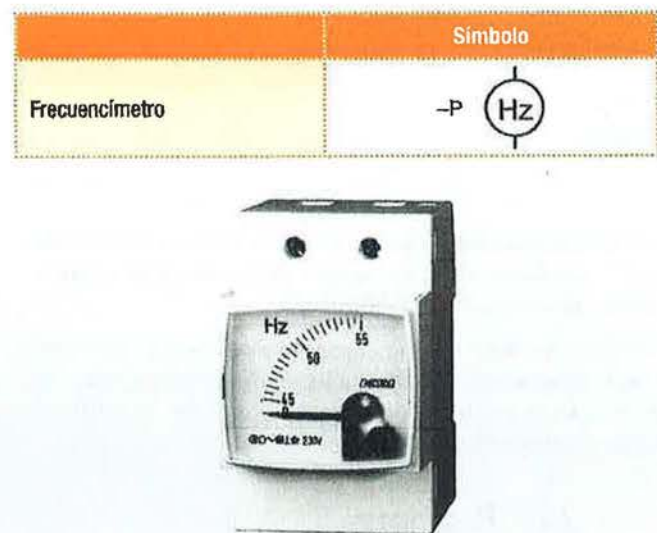


Figura 2.87. Frecuencímetro para montaje en carril DIN. (Cortesía de Circutor)

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.

	Símbolo
Contador de energía activa	-P kWh
Contador de energía reactiva	-P kVAr

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.

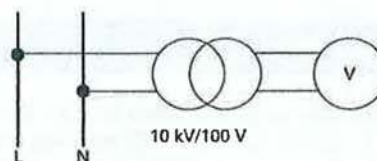


Figura 2.92. Representación de un transformador de tensión.

- 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.

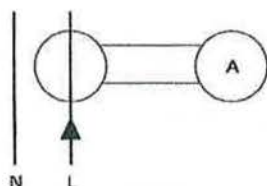


Figura 2.93. Representación de un transformador de intensidad.

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.

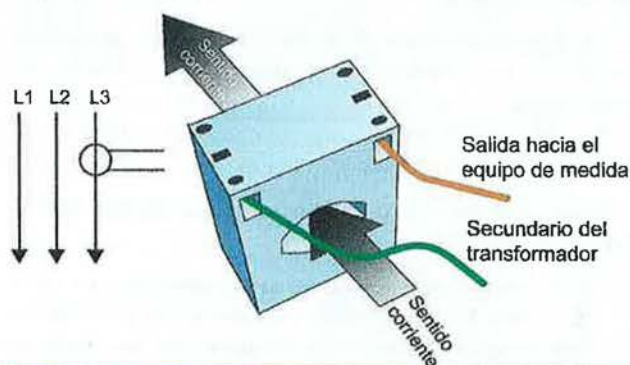


Figura 2.95. Ejemplo de instalación de un transformador de intensidad de ventana rectangular para una fase.



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.

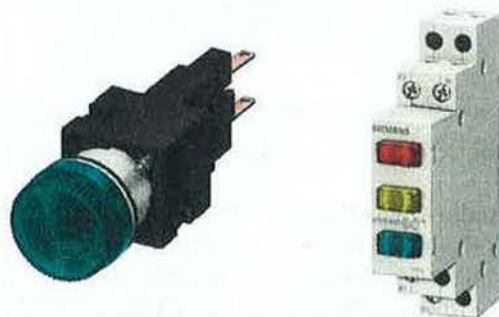


Figura 2.96. Pilotos de señalización. (Cortesía de Siemens.)



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 electroneumáticos.
- 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.

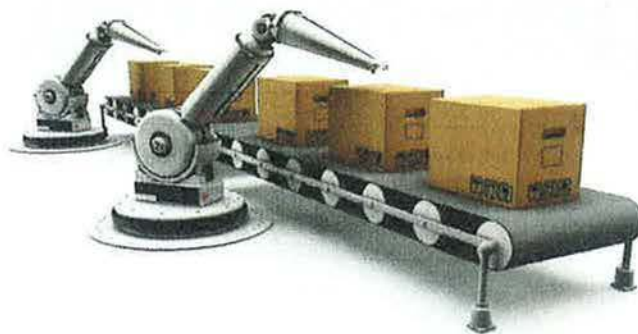


Figura 2.98. Robots articulados y cinta transportadora de un proceso industrial. Ambos elementos basan su funcionamiento en motores.



Figura 2.99. Electroválvulas.



Figura 2.100. Electroválvula neumática.

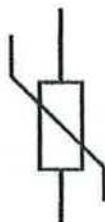


Figura 2.101. Motores industriales.

Actividades de comprobación

- 2.1. ¿Cuál de las siguientes secciones de conductores no está normalizada?
 - a) 1,5 mm².
 - b) 3 mm².
 - c) 6 mm².
- 2.2. Un conductor compuesto por una gran cantidad de alambres muy finos se dice que es:
 - a) Multiconductor.
 - b) Flexible.
 - c) Rígido.
- 2.3. Cuanto mayor sea la potencia de un receptor eléctrico:
 - a) Mayor será la intensidad, y por tanto, la sección del conductor será más pequeña.
 - b) Menor será la intensidad, y por tanto, la sección del conductor será más grande.
 - c) Ninguna de las dos opciones es correcta.
- 2.4. Un conductor desnudo puede utilizarse:
 - a) Siempre.
 - b) Nunca.
 - c) Solo si existe una distancia de seguridad o si está conectado a tierra.
- 2.5. ¿Cómo se deben conectar las bases de toma de corriente en una instalación eléctrica convencional?
 - a) Serie.
 - b) Paralelo.
 - c) Mixto.
- 2.6. ¿Cuál de los siguientes elementos de maniobra vuelve a su posición original cuando se deja de actuar sobre sus contactos?
 - a) Interruptor.
 - b) Regulador.
 - c) Pulsador.
- 2.7. Un exceso de cargas eléctricas conectadas en un circuito eléctrico puede producir:
 - a) Cortocircuitos.
 - b) Sobrecargas.
 - c) Sobre tensiones.
- 2.8. ¿Qué es el calibre de un fusible?
 - a) El diámetro del fusible.
 - b) El nivel de tensión máximo que soporta el fusible.
 - c) El valor de intensidad límite que es capaz de soportar sin fundirse.
- 2.9. Las posibles consecuencias de las sobretensiones y sobrentensiones en las instalaciones eléctricas son:
 - a) Calentamiento excesivo de los materiales.
 - b) Interrupción del suministro eléctrico.
 - c) Ambas opciones son correctas.
- 2.10. Si tenemos un interruptor automático de 2x16A, podemos afirmar:
 - a) Que es un interruptor automático tripolar de 16 A de intensidad nominal.
 - b) Que es un interruptor automático bipolar de 16 A de intensidad nominal.
 - c) Que es un interruptor automático bipolar de 16 A de poder de corte.
- 2.11. ¿Cuál de los siguientes interruptores diferenciales se puede considerar como *de alta sensibilidad*?
 - a) Interruptor diferencial 2x40A/300 mA.
 - b) Interruptor diferencial 4x63A/0,03 A.
 - c) Interruptor diferencial 2x25A/0,5 A.
- 2.12. Un interruptor automático magnetotérmico protege frente a:
 - a) Sobrecargas y cortocircuitos.
 - b) Sobretensiones y cortocircuitos.
 - c) Sobrecargas y sobretensiones.
- 2.13. Un interruptor diferencial tiene la función de proteger:
 - a) Frente a sobrecargas.
 - b) Frente a contactos indirectos.
 - c) Frente a sobretensiones.
- 2.14. ¿Cuál de los siguientes términos no hace referencia a un tipo de fusible?
 - a) DPN.
 - b) Cuchilla.
 - c) Rosca.

- 2.15. El símbolo de la figura representa:
- Un descargador de sobretensiones.
 - Un bloque Vigi.
 - Un relé térmico.



- 2.16. ¿Qué instrumento podemos utilizar para medir la potencia eléctrica en un circuito?
- Un contador de energía.
 - Un vatímetro.
 - Un fasímetro.
- 2.17. El equipo de medida que permite la comprobación de numerosos parámetros de una instalación eléctrica se denomina:
- Sincroscopio.
 - Transformador de intensidad.
 - Analizador de redes.

Actividades de aplicación

- 2.1. Indica las características que definen al conductor representado en la imagen, dada su designación normalizada:



- 2.2. Explica la característica fundamental de funcionamiento que define la diferencia entre los interruptores y los pulsadores.
- 2.3. Explica la característica fundamental de funcionamiento que define la diferencia entre los interruptores y los contactores.
- 2.4. ¿Qué función cumple la bobina interna (electroimán) de un contactor?
- 2.5. ¿Qué tipo o categoría de contactor utilizarías para maniobrar sobre una carga de tipo resistivo? ¿Y para maniobrar sobre los motores que mueven cintas transportadoras en una instalación industrial?
- 2.6. ¿Qué tipo de fusible es un gG? ¿Cuáles son sus principales características y aplicaciones? Enumera los tipos de fusibles, en función de su clase, más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales.
- 2.7. Explica brevemente por qué se dice que las sobrecargas son sobreintensidades de tipo térmico y los cortocircuitos son sobreintensidades de tipo magnético.
- 2.8. Define los siguientes conceptos:
- Tensión nominal.
 - Arco eléctrico.
 - Corte omnipolar.
 - Poder de aislamiento.
 - Poder de corte.
- 2.9. ¿En qué punto de una instalación eléctrica crees que puede ser mayor la intensidad de cortocircuito resultante de un defecto? Justifica tu respuesta relacionándola con el concepto de fallación.
- 2.10. Explica brevemente el principio de funcionamiento de un relé térmico. ¿Cómo se produce la desconexión del circuito de potencia cuando se produce una sobrecarga?
- 2.11. Justifica si los siguientes defectos pueden considerarse contactos directos o indirectos:
- Tocar una toma de corriente con la mano.
 - Que un cable suelto dentro de la lavadora entre en contacto con la carcasa metálica.
- 2.12. ¿En qué se diferencia un interruptor automático tetrapolar de tres polos + neutro de otro tetrapolar de cuatro polos?
- 2.13. ¿En qué se diferencian fundamentalmente las curvas de disparo de los interruptores automáticos? Razona la respuesta utilizando como ejemplo dos curvas a tu elección.

- 2.14.** Explica qué es la selectividad de un interruptor diferencial. Cita los valores de sensibilidad que pueden tener los interruptores diferenciales domésticos.
- 2.15.** Indica brevemente el método de instalación de un descargador de sobretensiones tipo 1.
- 2.16.** Si deseamos realizar una medición de corriente en un circuito eléctrico, sabiendo que el valor estará comprendido entre 10 y 20 amperios, ¿qué tipo de amperímetro debemos utilizar?
- 2.17.** Indica cómo debe realizarse la conexión de los siguientes equipos eléctricos de medición:
- Voltímetro.
 - Amperímetro.
 - Óhmetro.
 - Varímetro.
- 2.18.** ¿Qué es un transformador de medida? ¿Para qué se utiliza? ¿A qué magnitudes eléctricas están asociadas? ¿Qué otro tipo de transformadores conoces?

Casos prácticos

- 2.1.** A continuación se muestra el diagrama característico intensidad/tiempo, proporcionado por el fabricante, de varios fusibles tipo DIAZED de distinto calibre.

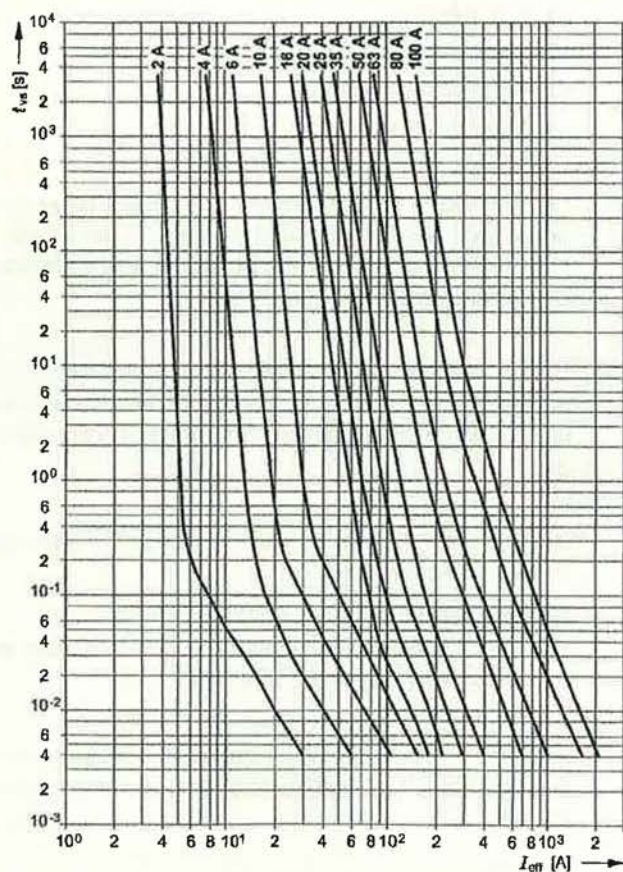
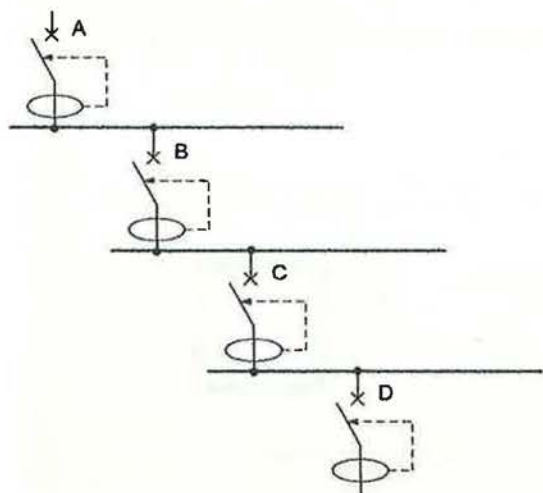


Figura 2.102. Curvas intensidad/tiempo correspondientes a diversos fusibles.

Analiza el gráfico y responde a las siguientes cuestiones:

- Establece la intensidad que haría actuar a cada uno de los fusibles tras un defecto de 2 minutos de duración.
- Establece los fusibles que responden ante sobrentensiones de 60 A.
- ¿Qué fusibles podríamos utilizar en un circuito en el que la intensidad de defecto estimada sea 1.000 A? ¿Cuánto tiempo tardarían en actuar los fusibles seleccionados ante esa intensidad?
- ¿Qué intensidad debe circular por un circuito para que el fusible de 100 A actúe en 1 segundo?
- ¿Qué fusibles podrían ser utilizados para proteger un circuito eléctrico de 30 A de intensidad nominal? ¿Qué fusible sería más recomendable utilizar?
- Identifica el fusible que actúa en 0,1 segundos ante una sobrentensión de 40 A.
- ¿Qué fusibles actuarían adecuadamente ante una sobrecarga de 20 A?
- ¿Qué fusibles actuarían adecuadamente ante una sobrecarga de 2 A?
- Si la intensidad nominal de un circuito es de 90 A, ¿podría utilizarse el fusible de 80 A para proteger dicho circuito? Justifica la respuesta desde un punto de vista técnico y desde un punto de vista gráfico.

- 2.2. Dado el siguiente diagrama, en el que se muestran varios interruptores diferenciales (mediante la simbología simplificada) de una instalación eléctrica, y suponiendo que el dispositivo A se encuentra ubicado en el cuadro general de baja tensión y el resto se van ubicando aguas abajo:



- a) Define el concepto de selectividad y relaciónalo con el diagrama mostrado.
- b) De entre los siguientes modelos de interruptores diferenciales, selecciona cuál debería corresponderse con cada uno de los mostrados en el diagrama, para mantener la selectividad diferencial en la instalación:
- Interruptor diferencial doméstico de 300 mA.
 - Relé diferencial con el reglaje en 300 mA temporizado a 250 ms.

- Interruptor diferencial doméstico de 30 mA.
- Interruptor diferencial superinmunizado de 30 mA.

- 2.3. Al moverse los electrones producen calor, de modo que si la intensidad de corriente que circula por un cable es muy elevada, puede suceder que ese calor rompa el cable. Como ya sabes, la intensidad que puede soportar un cable sin quemarse se denomina intensidad máxima admisible.

Es muy importante conocer la intensidad de corriente que va a circular por un circuito y seleccionar un conductor cuya sección se ajuste a esa intensidad.

Entra en la página web de la editorial (www.paraninfo.es) y localiza la tabla en la que se muestran las intensidades máximas admisibles de los conductores, dependiendo, entre otros factores, de su sección.

¡Ya puedes empezar a trabajar con los conductores más utilizados en baja tensión! Conociendo la intensidad máxima que pueden soportar podrás dimensionar instalaciones y seleccionar los dispositivos de protección más adecuados

- 2.4. Dada la Figura 2.103, que representa a varios dispositivos y protecciones eléctricas en un cuadro general, resuelve las siguientes cuestiones:

1. Identifica en la figura los elementos señalados, indicando brevemente la función que cumplen.
2. Localiza los errores cometidos en la instalación de estos componentes y justifica la solución que adoptarías en cada caso.

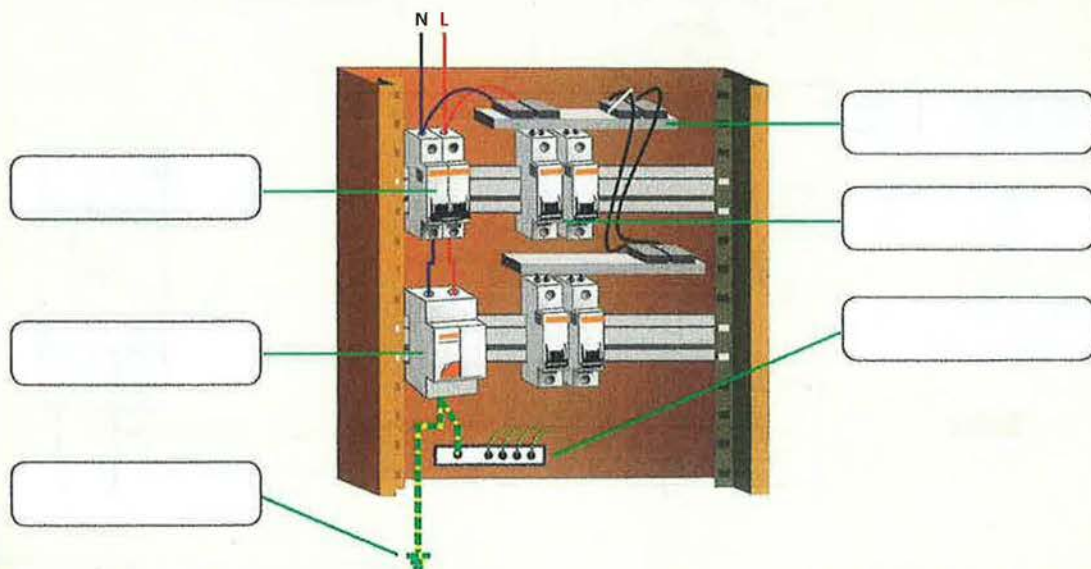


Figura 2.103. Representación de un cuadro eléctrico con aparata de protección.

2.5. Realiza la conexión de los equipos y dispositivos de medida de los que dispongas en el aula-taller.

Recuerda que la conexión en serie o paralelo está relacionada con la variable a medir y de realizarse mal esta conexión los equipos pueden resultar dañados. Recuerda también consultar las especificaciones del fabricante.

A continuación se muestran algunos ejemplos de estas conexiones para diversos equipos de distinto tipo:

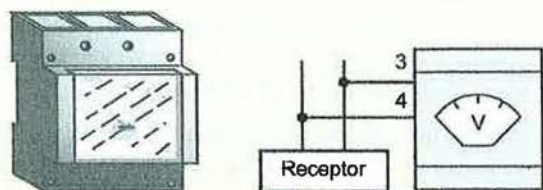


Figura 2.104. Conexión de voltímetro analógico.

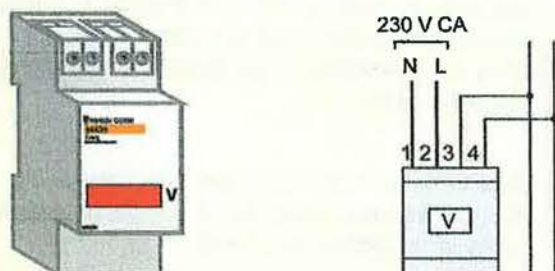


Figura 2.105. Conexión de voltímetro digital.

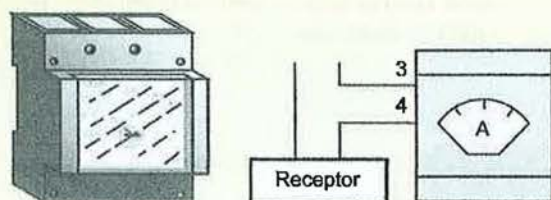


Figura 2.106. Conexión de amperímetro analógico.

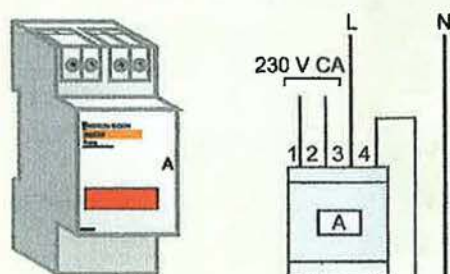


Figura 2.107. Conexión de amperímetro digital.

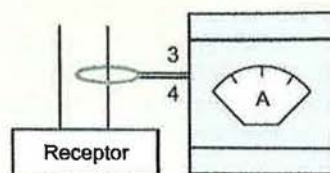


Figura 2.108. Conexión de amperímetro con transformador de intensidad.

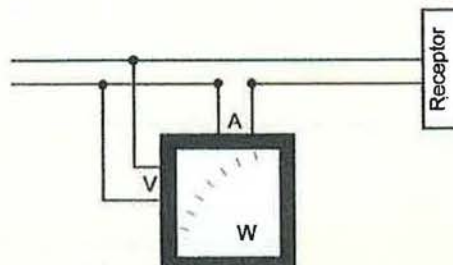


Figura 2.109. Conexión de vatímetro.

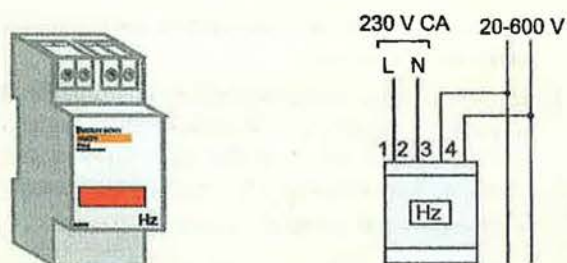


Figura 2.110. Conexión de frecuencímetro.

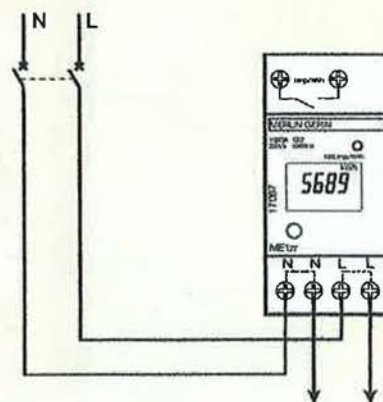


Figura 2.111. Conexión de contador electrónico para carril DIN.