



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

3º CURSO

GUIONES DE LA ASIGNATURA:
"SISTEMAS ENERGÉTICOS"

UNIDAD DIDÁCTICA:
INSTALACIONES ELÉCTRICAS

MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ POZUETA
JOSÉ RAMÓN ARANDA SIERRA

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

ABREVIATURAS UTILIZADAS

AT	Alta tensión
BT	Baja tensión
CC	Centralización de contadores
CGP	Caja general de protección
CPA	Controlador permanente de aislamiento
CPM	Caja de protección y medida
CT	Centro de transformación
CTE	Código Técnico de la Edificación
c.a.	Corriente alterna
DGMP	Dispositivos generales de mando y protección
DI	Derivación individual
DR	Interruptor diferencial
ECT	Esquema de conexión a tierra (o régimen de neutro)
EPR	Etileno-propileno (material aislante de cables eléctricos)
FI	Protección diferencial
GUIA-BT	Guía técnica de aplicación del reglamento electrotécnico de baja tensión
ICP	Interruptor de control de potencia
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IK	Es un código de identificación para indicar el grado de protección que proporciona una envolvente frente a los impactos mecánicos nocivos
IGA	Interruptor general de protección
IP	Es un código de identificación para indicar el grado de protección que da una envolvente contra la entrada de cuerpos sólidos y de agua
ITC (ITC-BT)	Instrucción técnica complementaria del REBT
LGA	Línea general de alimentación
MBTS	Muy baja tensión de seguridad
NTE	Norma tecnológica de la edificación
n.a	(Contacto) normalmente abierto
n.c	(Contacto) normalmente cerrado
PIA	Pequeño interruptor automático
PLC	Controlador Lógico Programable o Autómata Programable
PVC	Policloruro de vinilo (material aislante de cables eléctricos)
RAE	Reglamento de aparatos elevadores y manutención
REBT	Reglamento electrotécnico de baja tensión
U_c	Tensión de contacto
U_L	Tensión límite de seguridad
XLPE	Polietileno reticulado (material aislante de cables eléctricos)

NORMATIVA PARA LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN (B.T.)

Para estudiar una instalación eléctrica es imprescindible el conocimiento de la reglamentación y de la normativa en vigor ya que se trata de una instalación con riesgo de accidente. La normativa básica a emplear está compuesta por el “Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)” ([Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión](#) B.O.E. Nº 224 publicado el 18/9/2002¹) con sus “Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC)” [6], su “Guía Técnica de Aplicación” [5] y las “Normas Tecnológicas de la Edificación NTE-IEB: Baja Tensión” [8], así como diversas normas UNE citadas en el REBT.

Tabla I: Índice del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión:

Reglamento	Índice de las instrucciones técnicas complementarias	
	Instrucción	Título
	ITC-BT-01	Terminología.
	ITC-BT-02	Normas de referencia en el Reglamento Electrotécnico de baja tensión.
	ITC-BT-03	Instaladores autorizados y empresas instaladoras autorizadas.
	ITC-BT-04	Documentación y puesta en servicio de las instalaciones.
	ITC-BT-05	Verificaciones e inspecciones.
	ITC-BT-06	Redes aéreas para distribución en baja tensión.
	ITC-BT-07	Redes subterráneas para distribución en baja tensión.
	ITC-BT-08	Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica.
	ITC-BT-09	Instalaciones de alumbrado exterior.
	ITC-BT-10	Previsión de cargas para suministros en baja tensión.
	ITC-BT-11	Redes de distribución de energía eléctrica. Acometidas.
	ITC-BT-12	Instalaciones de enlace. Esquemas.
	ITC-BT-13	Instalaciones de enlace. Cajas generales de protección.
	ITC-BT-14	Instalaciones de enlace. Línea general de alimentación.
	ITC-BT-15	Instalaciones de enlace. Derivaciones individuales.
	ITC-BT-16	Instalaciones de enlace. Contadores: ubicación y sistemas de instalación.
	ITC-BT-17	Instalaciones de enlace. Dispositivos generales e individuales de mando y protección. Interruptor de control de potencia.
	ITC-BT-18	Instalaciones de puesta a tierra.
	ITC-BT-19	Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales.
	ITC-BT-20	Instalaciones interiores o receptoras. Sistemas de instalación.
	ITC-BT-21	Instalaciones interiores o receptoras. Tubos y canales protectoras.

Artículo 1. Objeto.
Artículo 2. Campo de aplicación.
Artículo 3. Instalación eléctrica.
Artículo 4. Clasificación de las tensiones.
Frecuencia de las redes.
Artículo 5. Perturbaciones en las redes.
Artículo 6. Equipos y materiales.
Artículo 7. Coincidencia con otras tensiones.
Artículo 8. Redes de distribución.
Artículo 9. Instalaciones de alumbrado exterior.
Artículo 10. Tipos de suministro.
Artículo 11. Locales de características especiales.
Artículo 12. Ordenación de cargas.
Artículo 13. Reserva de local.
Artículo 14. Especificaciones particulares de las empresas suministradoras.
Artículo 15. Acometidas e instalaciones de enlace.
Artículo 16. Instalaciones interiores o receptoras.
Artículo 17. Receptores y puesta a tierra.
Artículo 18. Ejecución y puesta en servicio de las instalaciones.
Artículo 19. Información a los usuarios.
Artículo 20. Mantenimiento de las instalaciones.
Artículo 21. Inspecciones.
Artículo 22. Instaladores autorizados.
Artículo 23. Cumplimiento de las prescripciones.
Artículo 24. Excepciones.
Artículo 25. Equivalencia de normativa del Espacio Económico Europeo.
Artículo 26. Normas de referencia.
Artículo 27. Accidentes.
Artículo 28. Infracciones y sanciones.
Artículo 29. Guía técnica.

¹ Dirección de internet: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

ITC-BT-22	Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobreintensidades.
ITC-BT-23	Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones.
ITC-BT-24	Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos.
ITC-BT-25	Instalaciones interiores en viviendas. Número de circuitos y características.
ITC-BT-26	Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones generales de instalación.
ITC-BT-27	Instalaciones interiores en viviendas. Locales que contienen una bañera o ducha.
ITC-BT-28	Instalaciones en locales de pública concurrencia.
ITC-BT-29	Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión.
ITC-BT-30	Instalaciones en locales de características especiales.
ITC-BT-31	Instalaciones con fines especiales. Piscinas y fuentes.
ITC-BT-32	Instalaciones con fines especiales. Máquinas de elevación y transporte.
ITC-BT-33	Instalaciones con fines especiales. Instalaciones provisionales y temporales de obras.
ITC-BT-34	Instalaciones con fines especiales. Ferias y stands.
ITC-BT-35	Instalaciones con fines especiales. Establecimientos agrícolas y hortícolas.
ITC-BT-36	Instalaciones a muy baja tensión.
ITC-BT-37	Instalaciones a tensiones especiales.
ITC-BT-38	Instalaciones con fines especiales. Requisitos particulares para la instalación eléctrica en quirófanos y salas de intervención.
ITC-BT-39	Instalaciones con fines especiales. Cercas eléctricas para ganado.
ITC-BT-40	Instalaciones generadoras de baja tensión.
ITC-BT-41	Instalaciones eléctricas en caravanas y parques de caravanas.

Las normas UNE son editadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), que es una entidad privada sin ánimo de lucro fundada en 1986. Hoy en día casi todas las normas UNE son normas UNE-EN; es decir, adaptaciones a España de normas europeas. Por otra parte, casi todas las normas UNE de contenido electrotécnico y/o electrónico son, a su vez, transposiciones de normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), que es una organización internacional no lucrativa con sede en Ginebra y creada en 1906.

El REBT es de obligado cumplimiento, mientras que la Guía [5], las NTE-IEB [8] y las normas UNE, por sí mismas, son recomendaciones técnicas no vinculantes, aunque hay algunas normas UNE que el REBT indica que deben cumplirse.

El actual reglamento REBT es del año 2002, sustituye al antiguo reglamento de 1973 y ha dejado obsoletas algunas de las recomendaciones de las NTE-IEB, que son mucho más antiguas (del año 1974). Por lo tanto, al utilizar las NTE-IEB hay que

comprobar que no contradigan el REBT actual. Por otra parte, en el REBT se citan algunas normas UNE que han sido modificadas después de la redacción del REBT. En este caso hay que utilizar la norma UNE más actual, aunque el REBT reproduzca una versión antigua de la norma. De esta manera, la actualización de una norma UNE citada en el REBT conlleva, además, una actualización del REBT.

INTRODUCCIÓN A LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE B.T.

Se entiende por **instalación eléctrica** a todo conjunto de aparatos y de circuitos asociados en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

La instalación eléctrica es peligrosa (tiene un riesgo que ha de ser evitado o minimizado), ya que puede provocar accidentes (en algunos casos la muerte) si no se actúa con seguridad.

Una parte de una instalación eléctrica la constituyen sus *conductores* y a su estudio y cálculo se dedica otro capítulo de la asignatura.

Otra parte de una instalación es la **aparamenta** que es el conjunto de aparatos de maniobra, de protección, de regulación y control y de medida.

DISPOSITIVOS DE MANIOBRA EN INSTALACIONES DE B.T.

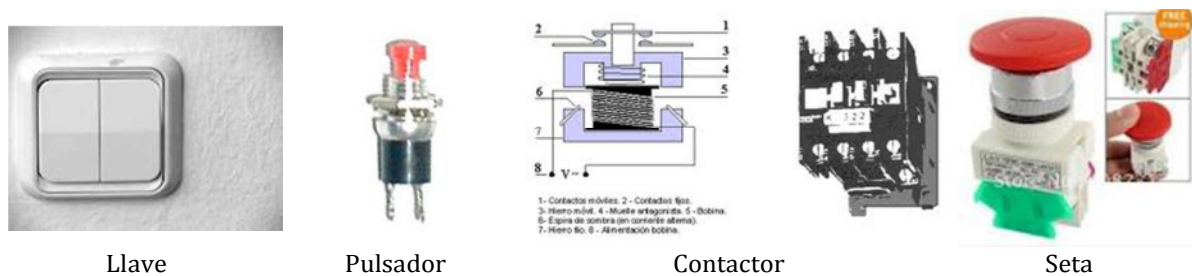


Fig. 1: Elementos de aparamenta de maniobra (Fuente: Internet)

La aparamenta de maniobra incluye los dispositivos que poseen uno o varios contactos que permiten establecer o interrumpir la corriente en uno o varios circuitos. Según la norma UNE [21], un **contacto** es el conjunto de dos o más conductores destinados a establecer la continuidad de un circuito cuando se toquen y que, por su movimiento relativo durante una maniobra, abren o cierran un circuito o, en el caso de contactos pivotantes o deslizantes, mantienen la continuidad del circuito.

Dispositivos de maniobra

Los dispositivos de maniobra más habituales son el seccionador, el interruptor o llave y el contactor.

Un **seccionador** es un aparato mecánico de maniobra que es capaz de soportar permanentemente corrientes en las condiciones normales del circuito y, durante un tiempo específico, corrientes en condiciones anormales (como las de cortocircuito). Este aparato garantiza el aislamiento de un circuito eléctrico y sólo puede accionarse cuando la corriente es nula o muy pequeña. Por lo tanto, un seccionador no sirve para

abrir o cerrar circuitos con cargas y, en consecuencia, usualmente debe instalarse en serie con un interruptor o un contactor. El interruptor o el contactor deberán cortar la corriente antes de accionar el seccionador. Lo más destacable del seccionador es que en su posición de abierto muestra de una manera visible la apertura de sus contactos y, además, la distancia entre estos contactos garantiza un aislamiento capaz de soportar las tensiones normales y anormales que puedan aparecer. Esto da la seguridad al usuario de que, cuando el contactor está abierto, el circuito estará sin tensión eléctrica.

Según la norma UNE [21] un **interruptor** es un dispositivo mecánico de conexión capaz de establecer, de soportar permanentemente y de cortar corrientes en las condiciones normales del circuito, incluidas eventualmente las condiciones específicas de sobrecarga en servicio. Además, puede soportar durante un tiempo específico corrientes en condiciones anormales, tales como las de cortocircuito

Según la norma UNE [21] un **contactor** es un aparato mecánico que tiene una sola posición de reposo de mando no manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito incluyendo condiciones de sobrecarga en servicio. El tipo de contactor más habitual y al que se va a hacer referencia en este texto es el **contactor electromagnético**, que es un contactor en el cual la fuerza que lo acciona es proporcionada por un electroimán.

El contactor es un dispositivo que permite un elevado número de maniobras de conexión y desconexión. Se usa habitualmente con motores.

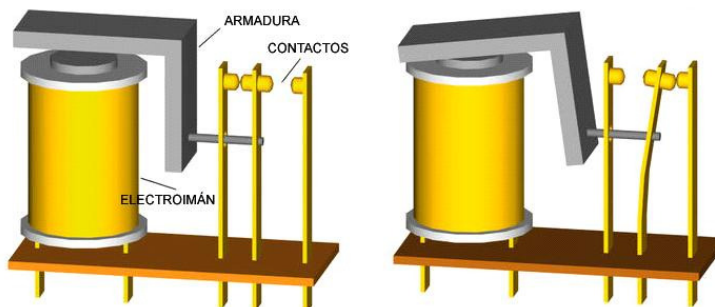


Fig. 2: Principio de funcionamiento de un contactor

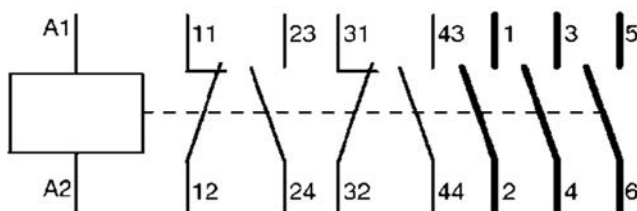


Fig. 3: Contactor tripolar

En la Fig. 3 aparece el símbolo de un contactor (electromagnético). Entre los bornes A1 y A2, está conectada la bobina de un electroimán. Entre los bornes 11 y 12 hay un contacto *normalmente cerrado (n.c.)*, es decir, que cuando el contactor está en reposo (el cual

es el estado en que se encuentra el contactor cuando su electroimán no está alimentado y es el estado en el que se representa a un contactor en todos los planos) los bornes 11 y 12 están conectados.

Entre los bornes 23 y 24 hay un contacto *normalmente abierto (n.a.)*, es decir los bornes 23 y 24 están desconectados cuando el contactor está en reposo. También hay un contacto n.c. entre los bornes 31 y 32 y contactos n.a. entre los pares de bornes 43-44, 1-2, 3-4 y 5-6.

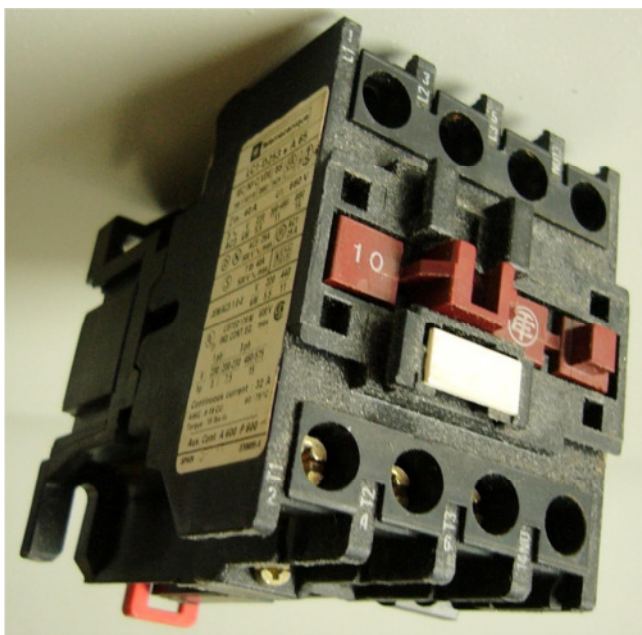


Fig. 4: Contactor

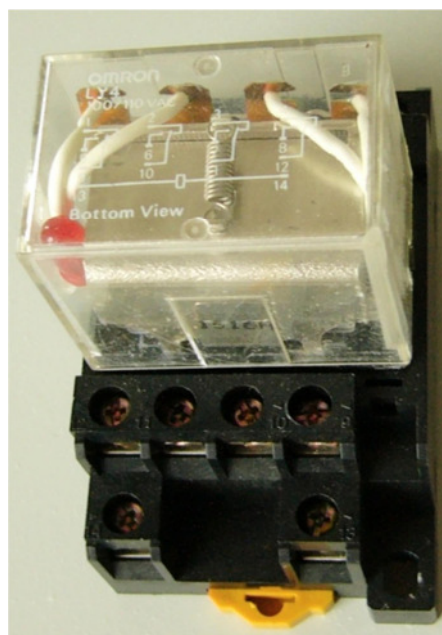


Fig. 5: Relé auxiliar

Un contactor (electromecánico) actúa como un interruptor gobernado por la tensión aplicada a un electroimán, cuya bobina tiene los bornes A1 y A2. Si la bobina no tiene tensión, el contactor está en reposo y los contactos están como el la Fig. 3. Si entre A1 y A2 se aplica la tensión adecuada, el electroimán del contactor desplaza los contactos de tal forma que se desconectan los bornes de los contactos n.c. y se conectan los bornes de los contactos n.a. Al cesar la tensión entre los bornes A1 y A2, el electroimán deja de actuar y los contactos vuelven a su posición de reposo merced a la acción de un resorte.

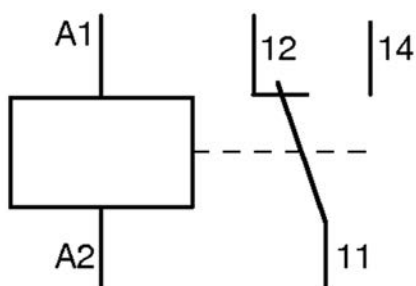


Fig. 6: Contacto conmutado

En la Fig. 6 se ha representado un contactor con un *contacto conmutado*. Es decir, cuando el contactor está en reposo los bornes 11 y 12 están conectados y los bornes 11 y 14 están desconectados. Cuando se dé tensión a la bobina del contactor los bornes 11 y 14 quedarán conectados y los bornes 11 y 12 se desconectarán. Existen también interruptores con contactos conmutados, los cuales se denominan *conmutadores*.

Si la bobina del contactor está alimentada con corriente alterna la fuerza con que el electroimán atrae a los contactos es variable con el tiempo, habiendo momentos en los que no puede vencer a la fuerza del resorte, con lo que su funcionamiento es inadecuado (con fallos en los contactos, vibraciones, etc.). Para evitar esto, los contactores de corriente alterna poseen unas *espiras de sombra* (Figs. 7a y 7b), las cuales son unas espiras en cortocircuito que se montan sobre las superficies de contacto del núcleo magnético del contactor.

El contactor de la Fig. 3 es tripolar pues posee tres contactos n.a. *principales* (de trazo grueso) que pueden cortar intensidades altas y son los que abren y cierran el circuito gobernado por el contactor (*circuito principal o circuito de potencia o circuito de fuerza*). Los demás contactos son *auxiliares* (de trazo fino) (ver las Figs. 8 y 9b) y sólo pueden cortar intensidades moderadas. Los contactos auxiliares se utilizan en el *circuito de mando* (o *circuito de control*) del contactor; es decir, el circuito que regula si el contactor está excitado o en reposo.

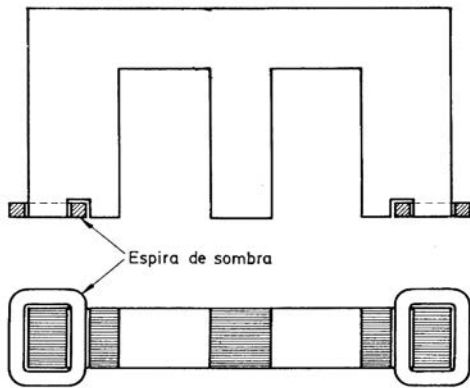


Fig. 7a: Espiras de sombra

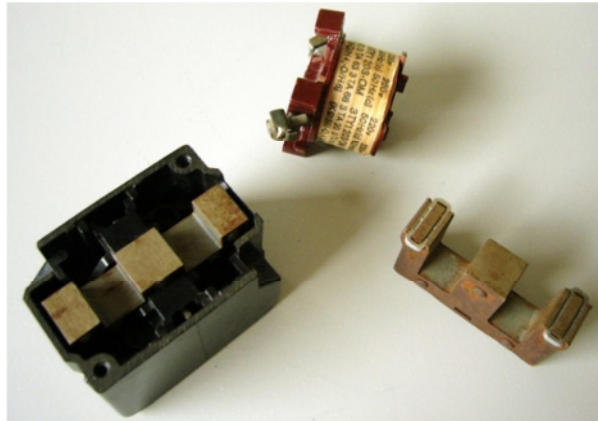
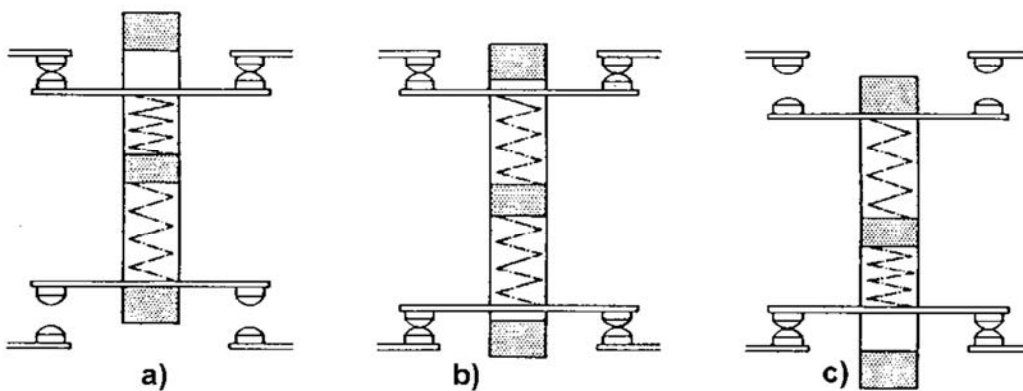
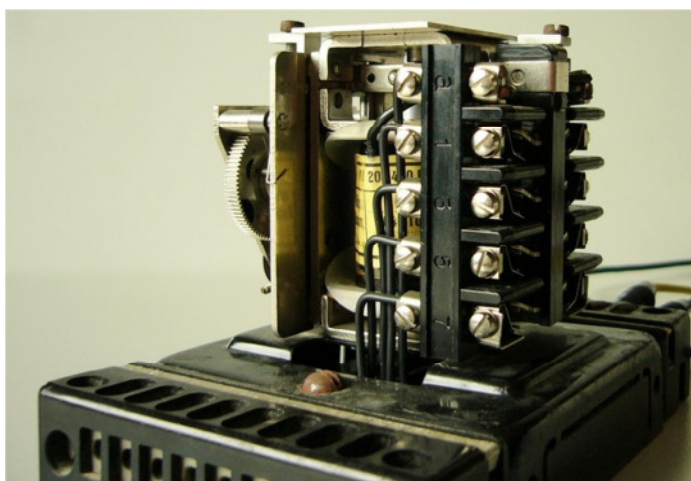


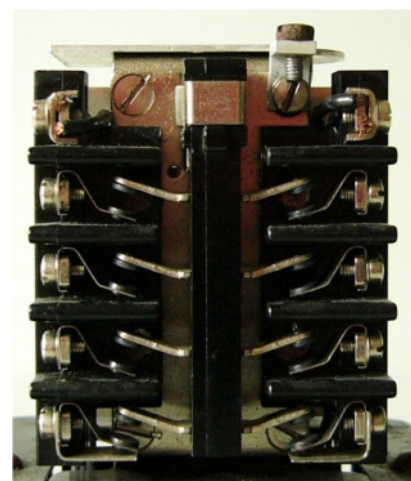
Fig. 7b: Despiece de un contactor de c.a. con espiras de sombra



*Fig. 8: Contactos auxiliares:
a) Posición de reposo. b) Posición intermedia. c) Posición de trabajo.*



a)



b)

Fig. 9: a) Relé de tiempo a la conexión mecánica; b) Detalle de sus cuatro contactos n.a.

Un **relé de mando** o **relé auxiliar** (Fig. 5) posee un electroimán que mueve unos contactos al igual que un contactor. La diferencia estriba en que los contactos de un relé sólo sirven para cortar intensidades pequeñas y se utilizan únicamente en el circuito de mando, pero no en el de potencia.

Un **relé de tiempo a la conexión o al cierre** (Figs. 9 y 10a) es un relé en el que transcurre un cierto tiempo desde que le llega la tensión a su bobina hasta que mueve sus contactos. Análogamente, un **relé de tiempo a la desconexión o a la apertura** (Fig.10b) es aquel en el que se produce un retraso entre el momento en que su bobina se queda sin tensión hasta que sus contactos se mueven. Existen también **relés temporizados a la conexión y a la desconexión** (Fig. 10c). En algunos modelos el/los tiempo/s de retraso del relé puede/n graduarse entre ciertos límites mediante un mando.

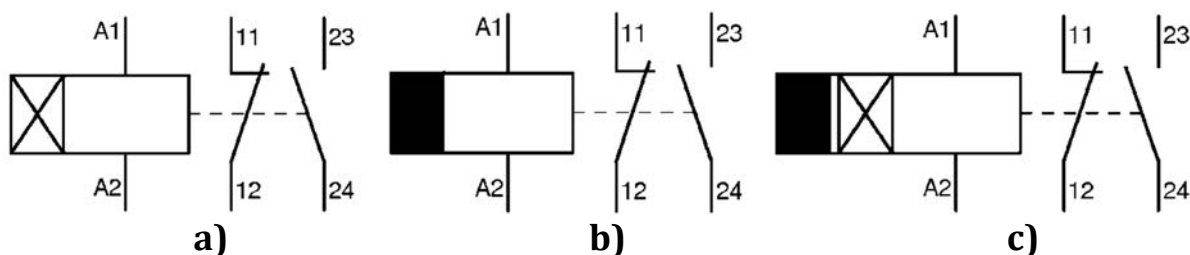


Fig. 10: Relés de tiempo:

a) A la conexión; b) a la desconexión; c) a la conexión y a la desconexión

Un **pulsador** (Figs. 1, 11 y 12) es un interruptor accionado manualmente con retorno automático. Esto significa que sus contactos cambian de estado mientras se mantiene pulsado y vuelven a su estado inicial (gracias a un resorte) cuando se dejan de pulsar. Un tipo especial de pulsador es la **seta** (ver la Fig. 1) que presenta una amplia superficie sobre la cual pulsar. Las setas se suelen diseñar para ser empleadas en situaciones de emergencia y dar la orden de desconexión de un circuito o activar un dispositivo de seguridad.

Un pulsador puede tener uno o más contactos, los cuáles pueden ser normalmente abiertos (n.a.), normalmente cerrados (n.c.) o conmutados.



Fig. 11: Pulsadores

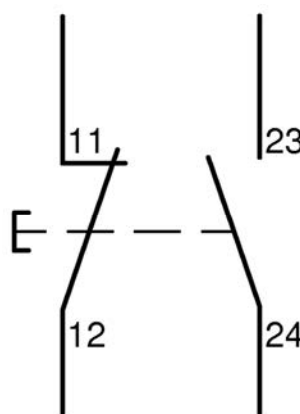


Fig. 12: Símbolo de un pulsador con dos contactos: uno n.c. y otro n.a.

Magnitudes relativas a los dispositivos de maniobra

La **corriente asignada de empleo o de servicio, I_e** , de un dispositivo de maniobra es su corriente de utilización establecida por el fabricante dependiendo de la aplicación (ver más abajo las “Categorías de empleo”).

La **tensión asignada de empleo o de servicio, U_e** , de un equipo es un valor de tensión que, combinada con una corriente asignada de servicio, determina el uso del equipo, y a la cual hacen referencia los ensayos correspondientes y la categoría de empleo.

El **poder de corte o de apertura** de un aparato de maniobra o de protección es la máxima corriente que es capaz de interrumpir sin sufrir deterioro para una tensión dada y en las condiciones prescritas de empleo y comportamiento, las cuáles se detallan en la norma correspondiente.

Los aparatos de maniobra (interruptores, contactores, etc.) a veces no están diseñados para que sean capaces de cortar cortocircuitos, ya que esta misión puede estar encomendada a los aparatos de protección.

En corriente alterna, el poder de corte se expresa por el valor eficaz simétrico de la componente alterna.

El **poder de cierre** de un aparato de maniobra o de protección es la máxima corriente que el aparato es capaz de establecer sin sufrir deterioro bajo una tensión dada y en las condiciones prescritas de funcionamiento, las cuáles se detallan en la norma correspondiente.

En el momento de abrir o cerrar los contactos de un dispositivo de maniobra se producen una serie de fenómenos debidos a que, aunque los contactos no se estén tocando, puede saltar un arco eléctrico entre ellos cuando se encuentran muy próximos y a través de este arco circula corriente. Así, por ejemplo, la apertura de un circuito no se produce cuando los contactos empiezan a separarse, pues se establece un arco entre ellos -que el dispositivo tendrá que extinguir- el cual permite que todavía siga circulando corriente. Además, en el momento de cerrar o de abrir un circuito se producen una serie de fenómenos transitorios que dependen del tipo de carga conectada al circuito. Estos transitorios pueden originar sobreintensidades o sobretensiones en el circuito que dificultan la maniobra. Por otra parte, siempre es más fácil cortar una corriente alterna (que, al ser variable en el tiempo, tiene valor nulo en algunos instantes y en esos momentos se puede completar fácilmente su desconexión) que corriente continua (que en ningún momento tiene valor nulo). Por lo tanto, un mismo aparato de maniobra podrá cerrar y cortar corrientes de distinto valor según el tipo de corriente y de carga del circuito. En resumen, las maniobras de cierre y de apertura de contactos están condicionadas de una parte por el diseño de estos contactos y de otra por las características del circuito y de la corriente.

Para tener en cuenta estas circunstancias se han definido una serie de **categorías de empleo** normalizadas, tanto en corriente continua, cuya denominación comienza por las letras DC, como en corriente alterna, cuya denominación comienza por las letras AC. La designación de las categorías de empleo termina con el sufijo A o B según que los empleos previstos demanden maniobras frecuentes o maniobras infrecuentes, respectivamente.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Estas categorías de empleo se definen en diferentes normas, dependiendo del tipo de dispositivo de maniobra a que se refieran, y todas ellas están enumeradas en la norma UNE [21]. Cada categoría de empleo se caracteriza por los valores de las corrientes y de las tensiones, expresados en múltiplos de corriente asignada de empleo y de la tensión asignada de empleo, así como para los factores de potencia o las constantes de tiempo del circuito, lo que repercute en las condiciones de establecimiento y de corte de la corriente que debe ser capaz de manejar el dispositivo.

Tabla IIa: Categorías de empleo para interruptores y seccionadores según UNE-EN 60947-3

Naturaleza de la corriente	Categoría de empleo		Aplicaciones características
	Categoría A	Categoría B	
Corriente alterna	AC-20A ^a	AC-20B ^a	– Cierre y apertura en vacío – Conexión de cargas resistivas, incluidas sobrecargas moderadas – Conexión de cargas mixtas resistivas e inductivas, incluidas sobrecargas moderadas – Conexión de cargas constituidas por motores u otras cargas fuertemente inductivas
	AC-21A	AC-21B	
	AC-22A	AC-22B	
	AC-23A	AC-23B	
Corriente continua	DC-20A ^a	DC-20B ^a	– Cierre y apertura en vacío – Conexión de cargas resistivas, incluidas sobrecargas moderadas – Conexión de cargas mixtas resistivas e inductivas, incluidas sobrecargas moderadas (por ejemplo: motores shunt) – Conexión de cargas fuertemente inductivas (por ejemplo: motores serie)
	DC-21A	DC-21B	
	DC-22A	DC-22B	
	DC-23A	DC-23B	

^a Estas categorías de empleo no se admiten en los Estados Unidos de América.

Tabla IIb: Condiciones de establecimiento y de corte correspondientes a las diversas categorías de empleo para interruptores y seccionadores según UNE-EN 60947-3

Categoría de empleo	Corriente asignada de empleo	Establecimiento ^a			Corte			Número de ciclos de maniobra ^c
		I/I_e	U/U_e	$\cos \phi$	I_c/I_e	U_r/U_e	$\cos \phi$	
AC-20A ^b –AC-20B ^b	Todos los valores	–	–	–	–	–	–	5
AC-21A –AC-21B	Todos los valores	1,5	1,05	0,95	1,5	1,05	0,95	
AC-22A –AC-22B	Todos los valores	3	1,05	0,65	3	1,05	0,65	
AC-23A –AC-23B	$0 < I_e \leq 100 \text{ A}$ $100 \text{ A} < I_e$	10 10	1,05 1,05	0,45 0,35	8 8	1,05 1,05	0,45 0,35	
Categoría de empleo	Corriente asignada de empleo	I/I_e	U/U_e	L/R ms	I_c/I_e	U_r/U_e	L/R ms	Número de ciclos de maniobra
DC-20A ^b –DC-20B ^b	Todos los valores	–	–	–	–	–	–	5
DC-21A –DC-21B	Todos los valores	1,5	1,05	1	1,5	1,05	1	
DC-22A –DC-22B	Todos los valores	4	1,05	2,5	4	1,05	2,5	
DC-23A –DC-23B	Todos los valores	4	1,05	15	4	1,05	15	

I = Corriente de establecimiento.
 I_e = Corriente de corte.
 I_e = Corriente asignada de empleo.
 U = Tensión aplicada.
 U_e = Tensión asignada de empleo.
 U_r = Tensión de restablecimiento a frecuencia industrial o en c.c.

^a En c.a., la corriente de establecimiento se expresa por el valor eficaz de la componente alterna de la corriente.

^b Estas categorías de empleo no se admiten en los Estados Unidos de América.

^c Se permite una maniobra de conmutación sin corriente entre cada maniobra de cierre y corte, siempre que no se altere el intervalo de tiempo entre las maniobras prescritas definidas en el apartado 8.3.3.3.1.

^d Para cubrir las categorías AC-21 y AC-22, se permite un incremento del número de maniobras de 3 a 5 para la categoría AC-23, previo acuerdo con el fabricante.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

A modo de ejemplo, en la tablas II se indican las categorías de empleo para seccionadores e interruptores, según se definen en la norma UNE-EN 60947-3 y en las tablas III se indican las categorías de empleo para contactores, según se definen en la norma UNE-EN 60947-4-1.

Así, de la Tabla IIb se deduce que un interruptor con un calibre 125A (su corriente asignada de empleo) y categoría AC23 debe ser capaz de establecer una corriente $10 I_e$ (1250 A) con un $\cos \varphi$ de 0,35 y de cortar una corriente $8 I_e$ (1000 A) con un $\cos \varphi$ de 0,35.

Tabla IIIa: Categorías de empleo para contactores según UNE-EN 60947-4-1

Clase de corriente	Categorías de empleo	Designación adicional de la categoría	Aplicaciones representativas
c.a.	AC-1	Uso general	Cargas no inductivas o ligeramente inductivas, hornos de resistencia
	AC-2		Motores de anillos rozantes: arranque, parada
	AC-3		Motores de jaula de ardilla: arranque, parada de los motores durante el funcionamiento ^a
	AC-4	Balasto Incandescente	Motores de jaula de ardilla: arranque, inversión, intermitencia
	AC-5a		Conmutación de mandos de lámpara eléctrica de descarga
	AC-5b		Conmutación de mandos de lámparas incandescentes
	AC-6a		Conmutación de transformadores
	AC-6b		Conmutación de bancos de condensadores
	AC-7a ^c		Cargas ligeramente inductivas en aparatos domésticos y aplicaciones similares
	AC-7b ^c		Cargas de motor para aplicaciones domésticas
	AC-8a		Control del motor de compresor hermético de refrigeración ^b con rearme manual de los disparadores de sobrecarga
AC-8b	Control de motor de compresor hermético de refrigeración ^b con rearma automático de los disparadores de sobrecarga		
c.c.	DC-1	Incandescente	Cargas no inductivas o ligeramente inductivas, hornos de resistencia
	DC-3		Motores en derivación: arranque, inversión, marcha intermitente
	DC-5		Frenado dinámico de motores de corriente continua
			Motores serie: arranque, inversión, marcha intermitente
	DC-6		Frenado dinámico de motores de corriente continua Conmutación de lámparas incandescentes
<p>a La categoría AC-3 puede utilizarse para marcha intermitente ocasional o inversión ocasional durante períodos de tiempo limitados tales como preparación de la máquina; durante esos períodos de tiempo limitados el número de operaciones no debe ser superior a cinco por minuto o más de 10 en un período de 10 min.</p> <p>b Un motor de compresor hermético de refrigeración es un conjunto compuesto por un compresor y un motor, ambos encerrados en una misma envolvente sin ningún eje exterior ni retenes de eje; el motor funciona dentro del refrigerante.</p> <p>c Para AC-7a y AC-7b véase la Norma IEC 61095.</p>			

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Tabla IIIb: Condiciones de establecimiento y de corte correspondientes a las diversas categorías de empleo para contactores según UNE-EN 60947-4-1

Categoría de empleo	Condiciones de cierre y de corte					
	I/I_e	U_r/U_e	$\text{Cos } \phi$	Tiempo de conexión ^b s	Tiempo de desconexión s	Número de ciclos de trabajo
AC-1	1,5	1,05	0,8	0,05	f	50
AC-2	4,0 ^b	1,05	0,65 ^h	0,05	f	50
AC-3 ⁱ	8,0	1,05	a	0,05	f	50
AC-4 ⁱ	10,0	1,05	a	0,05	f	50
AC-5a	3,0	1,05	0,45	0,05	f	50
AC-5b	1,5 ^c	1,05	c	0,05	60	50
AC-6a	10)					
AC-6b	e					
AC-8a ^k	6,0	1,05	a	0,05	f	50
AC-8b ^k	6,0	1,05	a	0,05	f	50
			— L/R ms			
DC-1	1,5	1,05	1,0	0,05	f	50 ^d
DC-3	4,0	1,05	2,5	0,05	f	50 ^d
DC-5	4,0	1,05	15,0	0,05	f	50 ^d
DC-6	1,5 ^c	1,05	c	0,05	60	50 ^d
Categoría de empleo	Condiciones de cierre ⁱ					
	I/I_e	U/U_e	$\text{Cos } \phi$	Tiempo de conexión ^b s	Tiempo de desconexión s	Número de ciclos de trabajo
AC-3	10	1,05 ^g	a	0,05	10	50
AC-4	12	1,05 ^g	a	0,05	10	50
<p><i>I</i> = corriente de cierre. La corriente de cierre se expresa en c.c. o en c.a. como valores eficaces de las componentes simétricas quedando entendido que para corriente alterna el valor de pico real durante la operación de cierre puede presentar un valor superior que el valor de pico simétrico</p> <p><i>I_c</i> = corriente de cierre y de corte expresada en c.c. o en c.a. como valores simétricos eficaces</p> <p><i>I_e</i> = corriente de servicio asignada</p> <p><i>U</i> = tensión aplicada</p> <p><i>U_r</i> = tensión de restablecimiento a la frecuencia industrial o a corriente continua</p> <p><i>U_e</i> = tensión de servicio asignada</p> <p>$\text{Cos } \phi$ = factor de potencia del circuito de ensayo</p> <p><i>L/R</i> = constante de tiempo del circuito de ensayo</p>						

PROTECCIÓN CONTRA SOBREINTENSIDADES

SOBREINTENSIDADES

Según la instrucción ITC-BT-22, todo circuito estará protegido contra los efectos de las sobrecargas (es decir, contra corrientes superiores a las previstas para dicho circuito) que se puedan producir en el mismo.

Las sobrecargas pueden ser debidas a varias causas que se pueden englobar en las sobrecargas y los cortocircuitos.

Sobrecargas

Se produce sobrecarga en un circuito cuando por él circula una corriente superior a su *intensidad nominal o asignada* (máximo valor eficaz de la intensidad admisible en el circuito) sin que exista un defecto de aislamiento.

De forma convencional se puede considerar como sobrecarga a una sobreintensidad de valor entre 1 y 10 veces la intensidad asignada de la instalación, aunque normalmente las sobrecargas suelen ser inferiores al doble de la corriente asignada.

Una sobrecarga produce un calentamiento anormal del circuito lo que eleva su temperatura. Por lo tanto, esta puede alcanzar valores peligrosos en los cuáles se empiezan a deteriorar los aislantes. Esto reduce la vida de estos aislantes e incluso puede acabar provocando su destrucción.

Ahora bien, el aumento de temperatura producido por una sobrecarga no es instantáneo. Es preciso que pase un tiempo desde que comienza la sobrecarga hasta que la temperatura del circuito sea peligrosa. Este tiempo depende del calor producido por la sobrecarga, el cual es proporcional al cuadrado de la corriente. De esto se deduce que un circuito puede soportar una sobrecarga durante cierto tiempo sin sufrir daños y, en consecuencia, si ésta cesa antes de que pase este tiempo no es preciso que actúe ninguna protección. Este tiempo hasta que la sobrecarga se vuelva peligrosa es inversamente proporcional al cuadrado del valor eficaz de la corriente que recorre el circuito y puede variar desde unos minutos hasta más de una hora.

Cortocircuitos

Se produce un cortocircuito cuando se establece accidentalmente una conexión de baja impedancia entre dos puntos de un circuito entre los cuáles existe una diferencia de potencial, lo que origina la circulación de una corriente muy elevada.

Los cortocircuitos suelen estar originados por fallos de aislamiento en el circuito o por avería o conexión incorrecta de los receptores conectados a dicho circuito.

Las corrientes de cortocircuito son más elevadas que las de sobrecarga y producen un aumento muy rápido de la temperatura en los conductores del circuito. En este caso enseguida la temperatura empieza a alcanzar valores peligrosos (en fracciones de segundo o en pocos segundos). Además de los efectos térmicos, los cortocircuitos producen *efectos electrodinámicos*. En efecto, al circular las elevadas corrientes de cortocircuito por los conductores, los cuáles suelen estar colocados próximos entre sí, aparecen inmediatamente entre ellos fuerzas mecánicas de atracción o de repulsión. Estas fuerzas son debidas al campo magnético que generan dichas corrientes y pueden llegar a tener un valor muy elevado, pudiendo deformar los conductores cuando éstos son rígidos (barras de conexión) y provocar su deterioro.

Por lo tanto, un cortocircuito es peligroso para una instalación prácticamente desde el mismo momento de su inicio, por lo que la protección contra cortocircuitos debe actuar lo más rápidamente posible.

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBREENTENSIDADES

Cortacircuitos fusibles

Un cortacircuitos fusible es una protección contra sobreenintensidades basada en la fusión de un conductor cuando la corriente que lo recorre es superior a su intensidad asignada.

Actualmente los fusibles se presentan en forma de cartuchos (Figs. 13, 14 y 16) que se colocan sobre una base soporte adecuada y que deben ser sustituidos tras su fusión. Suelen disponer de un elemento indicador de su estado (si están fundidos o no).

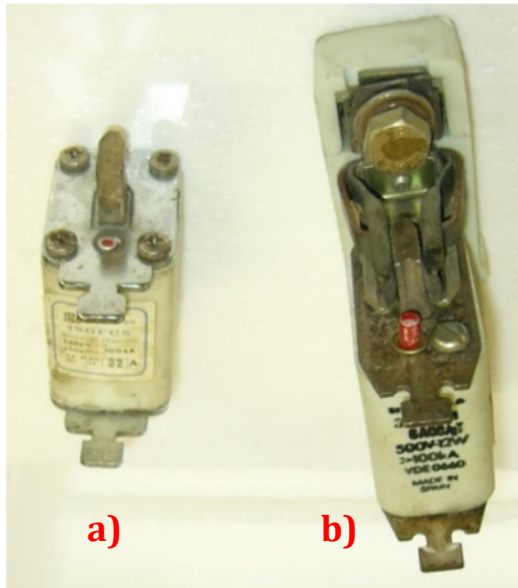


Fig. 13: Fusibles de cuchillas (NH).

- a) Cartucho fusible.
- b) Base portafusibles con el cartucho fusible fundido, lo cual queda señalado mediante un indicador de color.



Fig. 14: Portafusibles y tipos de fusibles

Según la norma UNE-EN 60617-7, el símbolo general para un fusible es el indicado en la Fig. 15.



Fig. 15: Símbolo general de un cortacircuitos fusible.



Fig. 16: Diversos tipos de cartucho fusible:

- a) *En el centro se muestra un cartucho cilíndrico roto con el hilo fusible. Su interior está relleno de arena, la cual ayuda a la extinción del arco que se forma cuando se produce su fusión.*
- b) *En los cartuchos laterales (del tipo D) se puede apreciar como en el centro de la base hay un botón de color que se caerá cuando el fusible se funda.*

Las magnitudes características de los fusibles están recogidas en la norma UNE-EN 60269-1. La magnitud más importante es la *corriente asignada (o nominal) de un cartucho fusible (I_n)*, que es el valor de la corriente que el cartucho fusible es capaz de soportar de manera continua sin fundirse en unas condiciones normalizadas. Por lo tanto, el fusible sólo actuará si se supera esta corriente. Sus valores normalizados son:

2, 4, 6, 8, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125,
160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 A

Tabla IV: Clases de curvas de fusión

CLASES DE CURVAS DE FUSIÓN		
1ª Letra	g	Cartucho fusible limitador de la corriente que es capaz de interrumpir todas las corrientes desde su intensidad asignada (I_n) hasta su poder de corte asignado. Cortan intensidades de sobrecarga y de cortocircuito
	a	Cartucho fusible limitador de la corriente que es capaz de interrumpir las corrientes comprendidas entre el valor mínimo indicado en sus características tiempo-corriente ($k_2 I_n$ en la Fig. 18) y su poder de corte asignado. Cortan solo intensidades de cortocircuito
2ª Letra	G	Cartuchos fusibles para uso general
	M	Cartuchos fusibles para protección de motores
	Tr	Cartuchos fusibles para protección de transformadores
	B	Cartuchos fusibles para protección de líneas de gran longitud
	R	Cartuchos fusibles para la protección de semiconductores
	D	Cartuchos fusibles con tiempo de actuación retardado

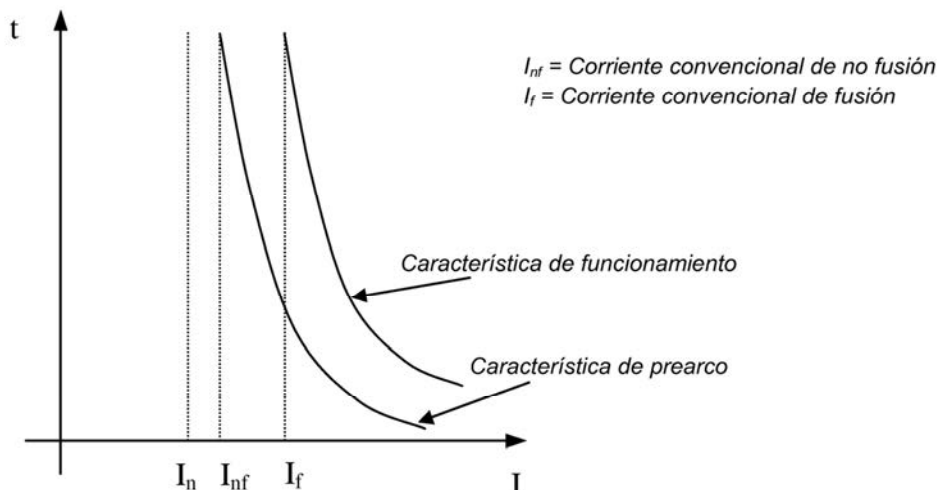


Fig. 17: Características tiempo-corriente de un cartucho fusible tipo "g" (Fuente [5]).

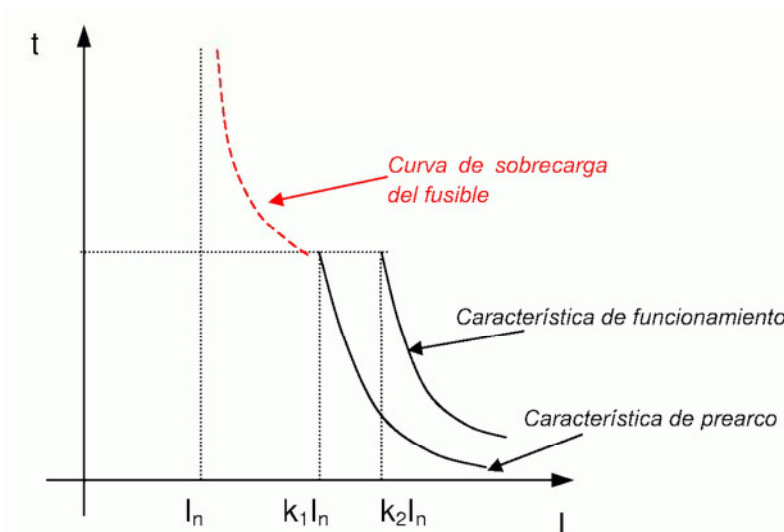


Fig. 18: Características tiempo-corriente de un cartucho fusible tipo "a" (Fuente [5]).

En la Guía [5] se señala que los fusibles se clasifican según su curva de fusión mediante dos letras (véase la Tabla IV). La primera letra indica la zona de corrientes previstas donde el poder de corte del fusible está garantizado. La segunda letra indica la categoría de empleo en función del tipo de receptor o circuito a proteger.

Las Figs. 17 y 18 representan las características tiempo-corriente de los cartuchos fusibles tipo "g" y de tipo "a", respectivamente. Nótese que un fusible tiene dos de estas curvas, a la izquierda de la *curva de prearco* el fusible no fundirá y a la derecha de la *curva de funcionamiento* el fusible estará fundido. La fusión del fusible se producirá entre estas dos curvas. Por lo tanto, el punto exacto en el que se produce la fusión del fusible no está totalmente definido por el fabricante (depende del estado previo del fusible y puede haber diferencias entre el comportamiento de cartuchos fusibles del mismo modelo), el cual sólo garantiza que se producirá entre las dos curvas anteriormente mencionadas.

En las curvas de las Figs. 17 y 18 se observa que los cartuchos fusibles tipo "g", son capaces de proteger contra sobrecargas y cortocircuitos y los del tipo "a" son capaces de proteger sólo contra cortocircuitos. Por lo tanto si se utilizan los de tipo "a" deberán ir acompañados por un elemento de protección contra sobrecargas que evite que los fusibles "a" sobrepasen su curva de sobrecarga.

Interruptores automáticos magnetotérmicos

De acuerdo con la norma UNE-EN 60947-2, un interruptor automático (IA) o *disyuntor* es un aparato mecánico de conexión que puede conectar, soportar e interrumpir corrientes cuando funciona en condiciones normales, así como soportar durante un tiempo específico y cortar las corrientes de cortocircuito.

Un interruptor automático consta básicamente de un interruptor de uno o varios polos con capacidad suficiente para soportar y cortar las corrientes normales y de cortocircuito del circuito que protege y de un disparador *magnetotérmico*.

El disparador magnetotérmico consta de un disparador *electrotérmico (de larga duración)* y de otro *electromagnético (instantáneo o de corta duración)*.

El disparador electrotérmico sirve como protección contra las sobrecargas e introduce intencionadamente un retardo en la actuación del interruptor, tanto menor cuanto mayor es la sobrecarga (protección de *tiempo inverso*). Se procura que el comportamiento del disparador electrotérmico se ajuste a una *imagen térmica* del elemento a proteger; es decir, que la variación del tiempo de actuación de este disparador con la corriente se ajuste lo más exactamente posible al tiempo en que el elemento a proteger tarda en alcanzar una temperatura peligrosa debida a una sobrecarga. Si una vez iniciada una sobrecarga esta cesa antes del tiempo de actuación del disparador electrotérmico, no se producirá el disparo del interruptor automático y se evita así una desconexión innecesaria del circuito.

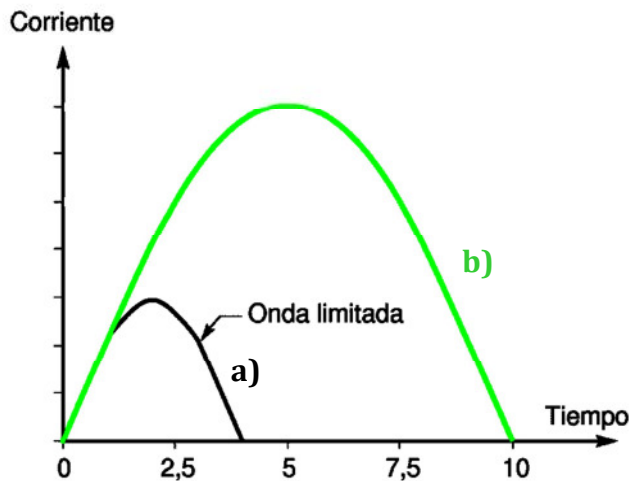
El disparador electrotérmico consiste en un bimetálico que es recorrido por la corriente a controlar. Esta corriente calienta el bimetálico, lo cual produce su deformación (pues un metal se dilata más que el otro). Si se produce una sobrecarga, el bimetálico, al cabo de un tiempo, se calienta lo suficiente como para que su deformación active el mecanismo de disparo (es decir, el mecanismo de apertura del interruptor automático). Actualmente también existen disparadores de tiempo inverso electrónicos.

El disparador electromagnético se calibra para una intensidad superior a la del electrotérmico y, generalmente, no introduce ningún retraso intencionado en su actuación. Este disparador sirve de protección contra los cortocircuitos. Con objeto de conseguir selectividad entre protecciones contra cortocircuitos en algunos casos se introduce un pequeño retardo (*retraso de corta duración*) en la actuación del disparador electromagnético. A veces este retraso intencionado sólo se utiliza para corrientes de cortocircuito no excesivamente grandes, mientras que para corrientes de cortocircuito más elevadas se suprime este retardo.

El disparador electromagnético consiste en un electroimán, recorrido por la corriente a controlar, al que se opone la tensión mecánica de un resorte. Cuando la corriente alcanza valores peligrosos la fuerza del electroimán supera a la del resorte y activa el mecanismo de disparo. Actualmente también existen disparadores instantáneos electrónicos.

Cuando un interruptor de corriente alterna abre sus contactos, al principio sigue circulando corriente a través del arco eléctrico que se forma entre dichos contactos. Al cabo de unos milisegundos a la corriente alterna (que varía sinusoidalmente con el tiempo) le corresponderá tener un valor nulo y en ese momento se apagará el arco y se completará la interrupción de la corriente. En este caso la interrupción de la

corriente se producirá en el paso por cero inmediatamente posterior al inicio de la apertura de los contactos. Sin embargo, existen interruptores *limitadores* que cortan la corriente muy rápidamente, sin esperar al paso por cero natural de la corriente alterna. Estos interruptores consiguen que en un cortocircuito la corriente no llegue a alcanzar el elevado valor que le correspondería (corriente prevista) si no actuara el interruptor (Véase la Fig. 19). Los fusibles también pueden tener este efecto limitador de la corriente de cortocircuito.



*Fig. 19: a) Corriente de cortocircuito recortada por un interruptor limitador
b) Corriente de cortocircuito prevista si no actuara la protección.
(Fuente [20])*



a



b)

*Fig. 20: Interruptores automáticos de B.T.
a) Modulares de 2 polos (izquierda) y de 3 polos (derecha)
b) De caja moldeada de 4 polos*

En baja tensión y para intensidades asignadas no superiores a 125 A se suelen utilizar interruptores automáticos modulares (Fig. 20a), los cuáles se colocan sobre carril DIN y tienen una anchura múltiplo de 9 mm. Estas protecciones se denominan *PIAs (Pequeños Interruptores Automáticos)*. Cuando uno de estos interruptores se utilizan para limitar la máxima potencia (limitando la máxima corriente) que puede consumir una instalación de acuerdo con el contrato establecido con la compañía eléctrica, se lo denomina *ICP (Interruptor de Control de Potencia)*.

También existen interruptores automáticos de caja moldeada (Fig. 20b) que se suelen utilizar para intensidades superiores a 125 A.

En la Fig. 21 se muestran dos símbolos utilizados para representar un interruptor automático tetrapolar.

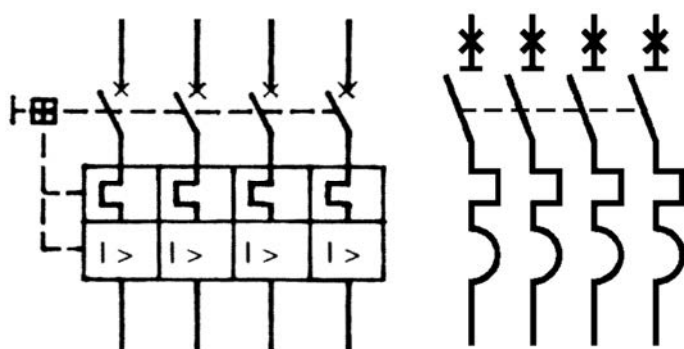


Fig. 21: Símbolos de un interruptor automático tetrapolar.

Las magnitudes características de los interruptores automáticos están recogidas en las normas UNE-EN 60898 (para IA en instalaciones domésticas) y UNE-EN 60947-2 (para IA en la industria). Las más importantes son:

- *Corriente asignada (o nominal) del aparato (I_n)* que es una corriente declarada por el fabricante como la corriente para la que el interruptor automático está diseñado para soportar en servicio ininterrumpido con una temperatura del aire ambiente especificada. Para los dispositivos de protección regulables realmente habría que distinguir entre la intensidad asignada I_n y la de ajuste de la protección electrotérmica I_r . En este texto no se atenderá a esta distinción y se considerará I_n como la intensidad de regulación seleccionada. La norma UNE-EN 60898 especifica estos valores normalizados: 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 y 125 A.
- *Corriente prevista*: Valor eficaz de la corriente que circularía por el circuito si no existiera la protección de sobrecorriente y, por lo tanto, sin tener en cuenta el posible efecto limitador de la corriente del IA (ver la Fig. 19).
- *Corriente de disparo instantáneo (I_m)*: Valor eficaz de la corriente a partir de la cual actúa la protección electromagnética.

Al igual que en los fusibles, un interruptor automático magnetotérmico tiene dos curvas límites tiempo-corriente (Fig. 22) y el fabricante sólo garantiza que su actuación se producirá entre estas dos curvas. Sin embargo, en algunos casos se analiza de forma simplificada el comportamiento de una magnetotérmico mediante una sola curva (Fig. 23).

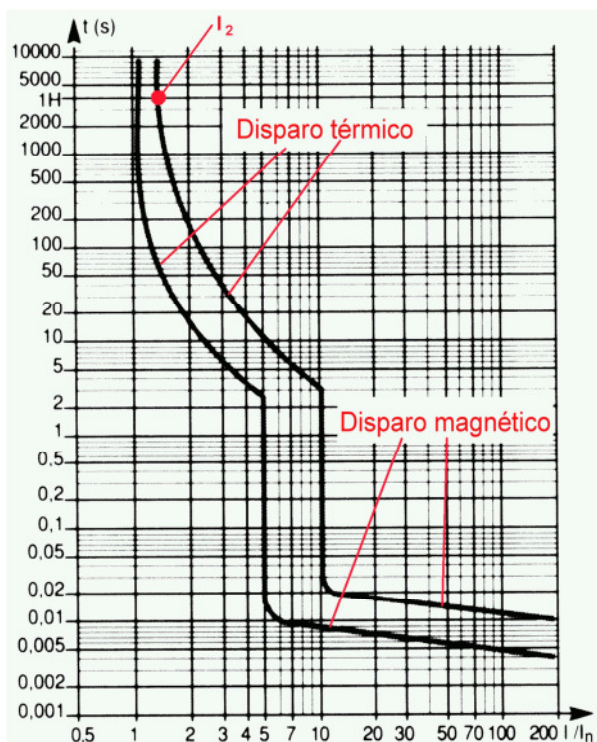
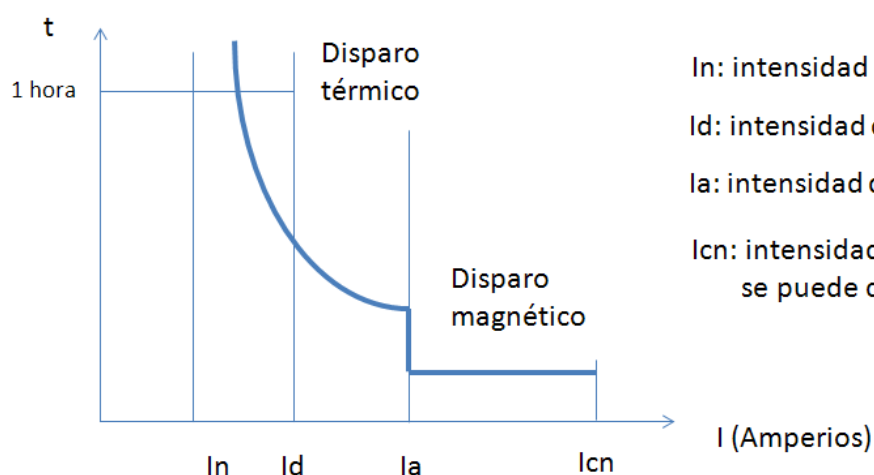


Fig. 22: Curvas límites de tiempo - corriente de un interruptor automático.



I_n : intensidad nominal
 I_d : intensidad de disparo
 I_a : intensidad de disparo magnético
 I_{cn} : intensidad máxima que se puede cortar

Fig. 23: Curva característica I-t

La actuación de la protección térmica de un interruptor automático se produce para corrientes superiores a la asignada I_n . La protección electromagnética actúa para corrientes superiores a I_m , la cual es varias veces superior a I_n . Se tienen diferentes tipos de curvas de disparo en función del cociente I_m/I_n . Así, en interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas la norma UNE 60898 define tres clases de disparo magnético B, C y D, como se indica en la Tabla V y en la Fig. 24.

Tabla V: Tipos de interruptores automáticos magnetotérmicos

Tipo de interruptor automático	Corriente I_m a partir de la cual actúa la protección instantánea
B	entre 3 y 5 I_n
C	entre 5 y 10 I_n
D	entre 10 y 20 I_n

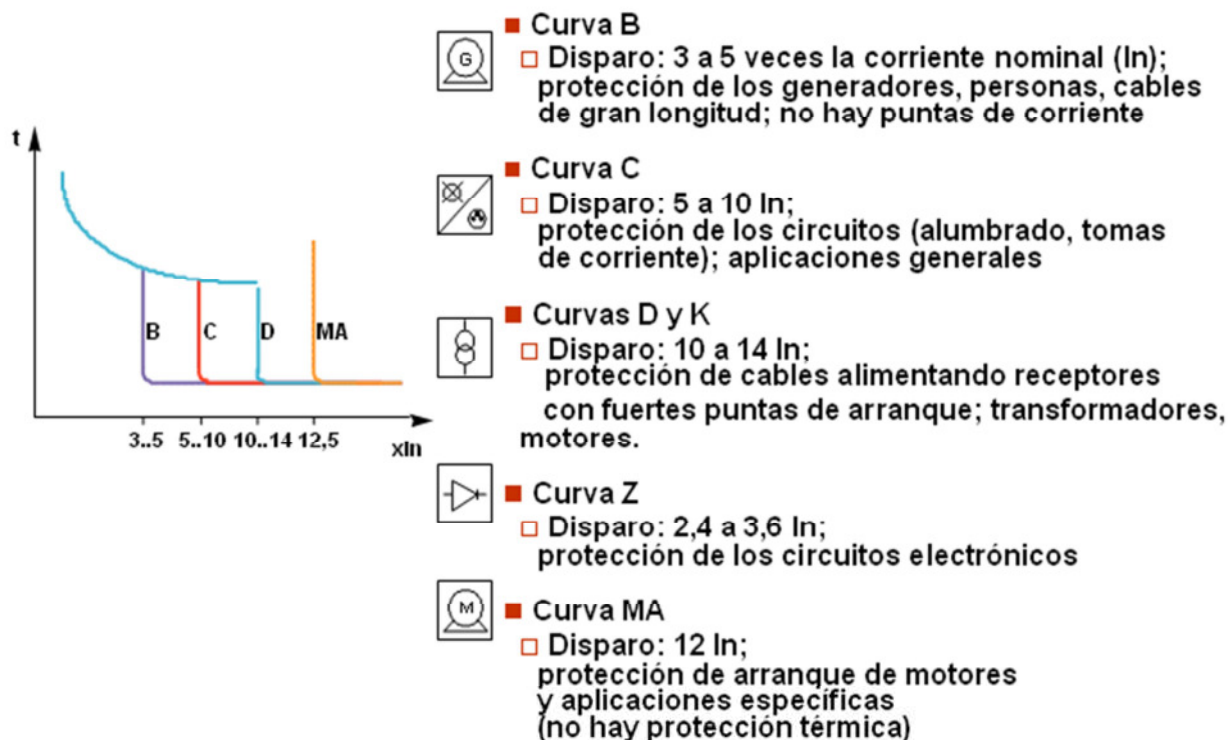


Fig. 24: Curvas de disparo

La curva B tiene su aplicación para la protección de circuitos en los que no se producen transitorios, mientras que la curva D se utiliza cuando se prevén transitorios importantes (por ejemplo arranque de motores). La curva C se utiliza para protección de circuitos con carga mixta y habitualmente en las instalaciones de usos domésticos o análogos.

Selectividad

En una instalación eléctrica los receptores están conectados a los generadores y transformadores a través de una serie de elementos de protección y de maniobra (Fig. 25). En caso de producirse una sobreintensidad en un punto de la instalación interesa que sólo actúe el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba² del punto de defecto. De esta manera sólo se desconectará la parte de la instalación afectada por el defecto y el resto podrá seguir funcionando normalmente. Adicionalmente también se busca que si el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba del defecto resulta incapaz de solucionarlo, se produzca la actuación del siguiente elemento de protección situado aguas arriba del que ha fallado. La coordinación de las protecciones de sobreintensidad para que funcionen de esta manera se denomina **selectividad**.

Así pues, la selectividad exige que se cumplan las dos primeras de las siguientes condiciones, aunque normalmente también se incorpora la tercera:

² Se dice que un interruptor se encuentra *aguas arriba* de un punto de una instalación cuando se encuentra situado más cerca de la fuente de alimentación (normalmente un transformador) de la instalación que el punto considerado. Análogamente, un interruptor se encuentra *aguas abajo* de un punto si se encuentra más alejado de la fuente de alimentación que el punto considerado.

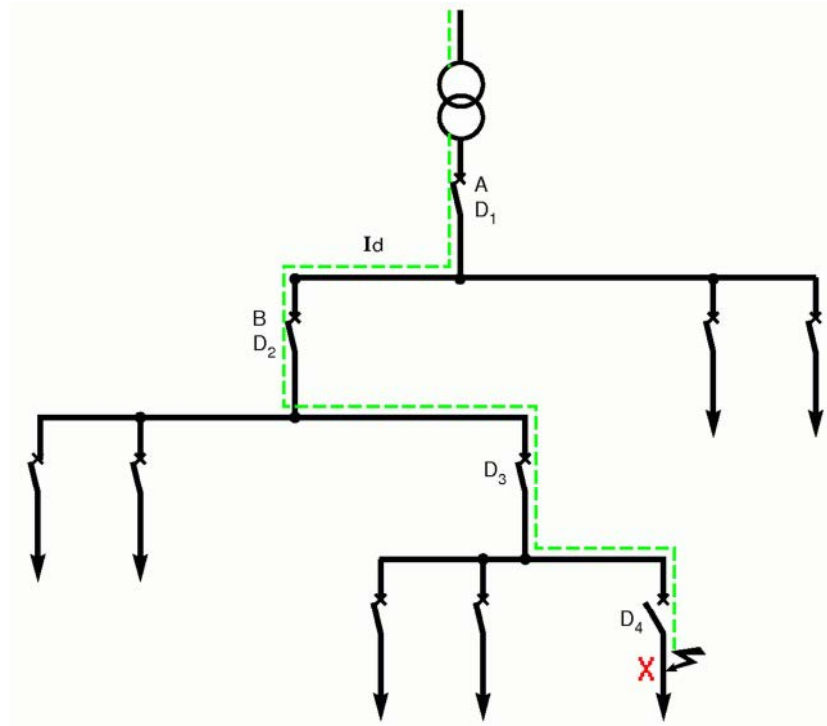


Fig. 25: Si existe selectividad el defecto en el punto X sólo producirá la apertura del dispositivo D₄. (Fuente [23]).

- a) Cuando se produce una sobreintensidad las protecciones deben interrumpir solamente el circuito con sobreintensidad.
- b) Las puntas de intensidad usuales en el servicio, como las debidas a los arranques de motores, no deberán provocar la actuación de las protecciones.
- c) En el caso de producirse una sobreintensidad y de fallo de un dispositivo de protección deberá actuar la protección inmediatamente anterior. De esta manera, la protección aguas arriba actúa como respaldo de la protección aguas abajo.

Por ejemplo, en la Fig. 25 un defecto en el punto X provoca una sobreintensidad I_d que circula por las protecciones D₁, D₂, D₃ y D₄. Este defecto deberá solucionarse mediante la apertura sólo del dispositivo D₄, así el resto de la instalación seguirá funcionando normalmente. Sólo si D₄ resulta incapaz de cortar el defecto en un tiempo adecuado será cuando la protección D₃ deberá actuar.

En la Fig. 26 se muestran dos interruptores automáticos (D₁ y D₂) entre los que no existe selectividad (Fig. 26a) y entre los que sí hay selectividad (Fig. 26b) frente a un defecto aguas abajo de D₂.

Selectividad total: una instalación se la considera totalmente selectiva si para cualquier valor de la corriente de defecto sólo abre y permanece abierto el dispositivo de protección más próximo aguas arriba al punto de defecto.

Selectividad parcial: una instalación tiene selectividad parcial si sólo existe selectividad hasta cierto valor de la corriente por defecto. Por encima de este valor de la corriente de defecto no se cumple la condición de que sólo abra y permanezca abierto el dispositivo más próximo aguas arriba al punto de defecto.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

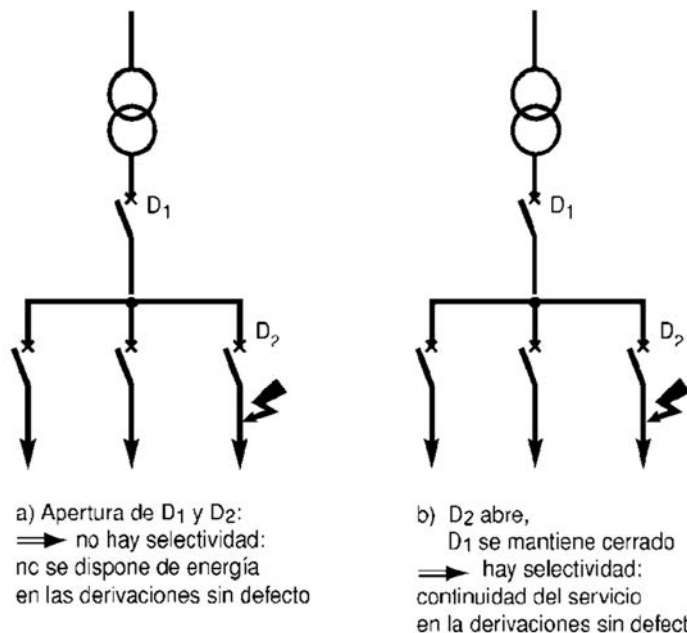


Fig. 26: Selectividad de dos interruptores automáticos frente a un defecto. (Fuente [23]).

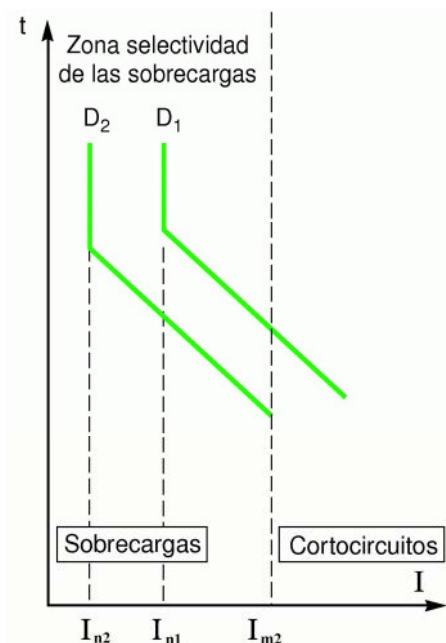


Fig. 27: Selectividad a las sobrecargas (Fuente [20])

La selectividad a las sobrecargas entre dos protecciones se consigue si las curvas de tiempo inverso de ambas protecciones no se cortan, como sucede en el caso mostrado en la Fig. 27. En esta figura, y también en la Fig. 28, se muestran de forma esquemática la curva derecha (de las dos curvas que posee cada una de estas protecciones, según se indicó en la Fig. 14) de la protección situada aguas abajo (D2) y la curva izquierda de la protección situada aguas arriba (D1).

Para conseguir la selectividad para cortocircuitos entre dos interruptores automáticos existen varias técnicas, como por ejemplo, la *selectividad amperimétrica*.

Mediante esta técnica la selectividad se consigue separando los umbrales de los disparadores electromagnéticos de los IA. Se usa sobre todo con interruptores automáticos rápidos, sin retardo intencionado en el disparador electromagnético. Esta es la manera más sencilla de conseguir selectividad para cortocircuitos.

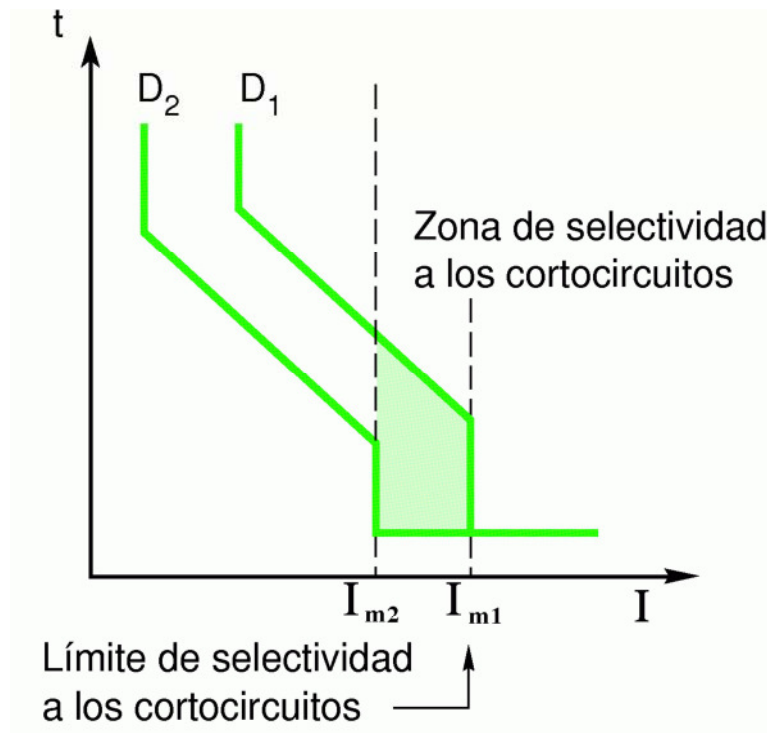


Fig. 28: Selectividad amperimétrica (Fuente [20])

Normalmente este sistema conduce a una selectividad parcial (Fig. 28), ya que para corrientes de cortocircuito superiores a la corriente de disparo instantáneo I_{m1} de la protección situada aguas arriba deja de existir selectividad. Por lo tanto, esta técnica es más eficaz cuanto mayor es la separación entre las corrientes de disparo instantáneo I_m de ambos IA y cuanto más distintas son las corrientes de defecto en distintos puntos de la red. De hecho, si la corriente de cortocircuito en bornes del IA aguas abajo (D_2) fuera inferior al umbral I_{m1} de disparo instantáneo del IA aguas arriba (D_1), se obtendría una selectividad total entre ambos IA.

PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS. TENSIÓN DE CONTACTO

Los contactos directos e indirectos también se denominan *choques eléctricos*.

Se produce un *contacto directo* cuando una persona entra en contacto con un conductor activo (fase o neutro) o con un elemento conductor que normalmente está con tensión eléctrica (Fig. 29a).

Se produce un *contacto indirecto* cuando una persona entra en contacto con piezas metálicas que han quedado accidentalmente (debido a un fallo del aislamiento) con tensión eléctrica (Fig. 29b).

La **tensión de contacto U_c** es la tensión a la que puede ser sometida una persona cuando se produce un choque eléctrico. Es decir, es el valor eficaz de la tensión que aparece entre la mano y el pie de una persona que toque un conductor o una masa que accidentalmente ha sido puesta en tensión (Fig. 29).

Los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano están descritos en la norma UNE 20572 y dependen de:

a) Contacto directo

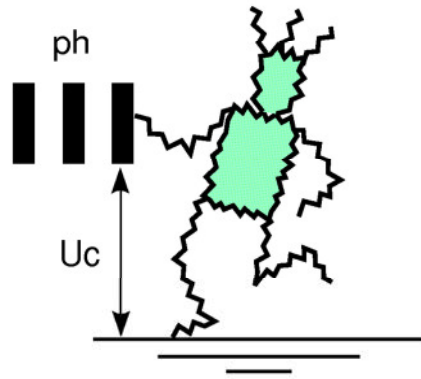
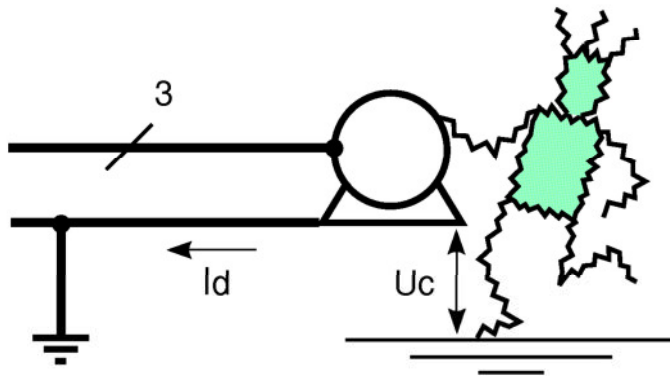


Fig. 29: Contactos directos e indirectos (Fuente [29])

b) Contacto indirecto



- * La zona del cuerpo donde se produce el contacto.
- * La superficie de contacto.
- * Las condiciones del contacto: presión, humedad, temperatura,...
- * Las condiciones fisiológicas del individuo.
- * La amplitud, frecuencia y forma de onda de la corriente.
- * La duración del contacto.

La norma UNE 20572A analiza los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica alterna con frecuencias comprendidas entre 15 y 100 Hz. De esta norma se deduce que se puede aceptar que corrientes de defecto inferiores a 10 mA no son peligrosas.

Por otra parte, la norma UNE 20572 también señala la impedancia que presenta el cuerpo humano a la corriente eléctrica en diferentes circunstancias. Esto permite calcular, aplicando la ley de Ohm, la tensión de contacto que corresponde a una corriente de defecto de 10 mA y, en consecuencia, establecer la tensión límite de seguridad correspondiente a cada situación.

En resumen, una instalación será segura para las personas si la tensión de contacto con cualquier masa metálica es inferior a la **tensión límite de seguridad U_L** . La ITC-BT-24 [6] establece estos valores para U_L :

- 50 V en condiciones normales
- 24 V en condiciones especiales (locales conductores, húmedos o mojados, instalaciones de alumbrado público,...)
- 12 V en locales sumergidos

ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA (ITC-BT-08)

Esquemas de conexión a tierra. Definiciones

Para la determinación de las características de las medidas de protección contra choques eléctricos en caso de defecto (contactos indirectos) y contra sobrintensidades, así como de las especificaciones de la aparamenta encargada de tales funciones, será preciso tener en cuenta el esquema de distribución empleado, los cuáles están descritos en la ITC - BT - 08 [6] y en la Guía [5]. Los siguientes párrafos están extraídos de la Guía [5].

Los esquemas de distribución se establecen en función de las conexiones a tierra de la red de distribución o de la alimentación, por un lado, y de las masas de la instalación receptora, por otro. Los *esquemas de conexión a tierra (ECT)* se llaman también *regímenes de neutro*.

La denominación se realiza con un código de letras con el significado siguiente:

Primera letra: Se refiere a la situación de la alimentación con respecto a tierra:

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: Se refiere a la situación de las *masas* (que son las cubiertas, los cierres, las carcasas y otros elementos metálicos de la instalación susceptibles de entrar en contacto con el cuerpo humano y que no deben tener tensión eléctrica) de la instalación receptora con respecto a tierra:

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, este punto es normalmente el punto neutro).

La conexión de las masas a tierra o al neutro, según sea el caso, se realiza mediante los *conductores de protección*.

Otras letras (eventuales): Se refieren a la situación relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

S = Las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados.

C = Las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor CPN).

Esquema TN

Los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Se distinguen tres tipos de esquemas TN según la disposición relativa de los conductores neutro y de protección:

- **Esquema TN-S:** En el que el conductor neutro (CN) y el de protección (CP) son distintos en todo el esquema (Fig. 30).

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

- **Esquema TN-C:** En el que las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor (CPN) en todo el esquema (Fig. 31).
- **Esquema TN-C-S:** En el que las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor sólo en una parte del esquema (Fig. 32). El esquema TN-S se situará aguas abajo del esquema TN-C y no a la inversa.

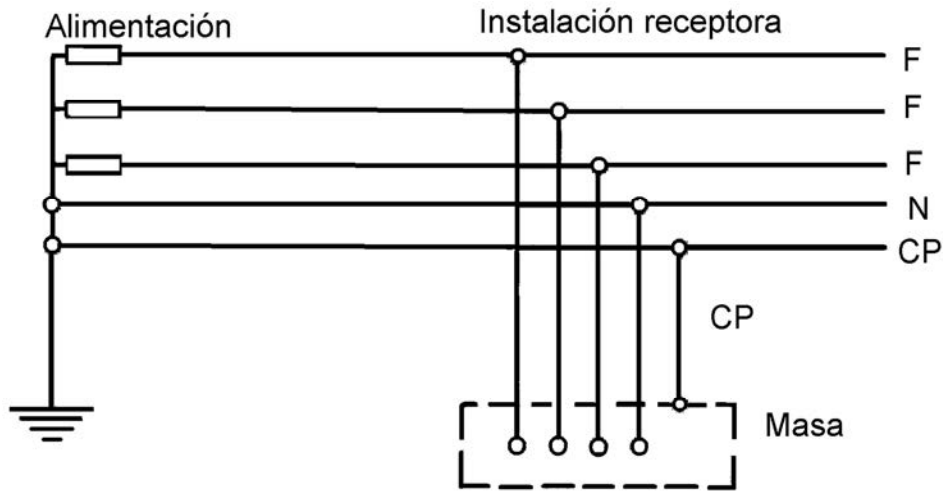


Fig. 30: Esquema de distribución tipo TN-S. (Fuente [5])

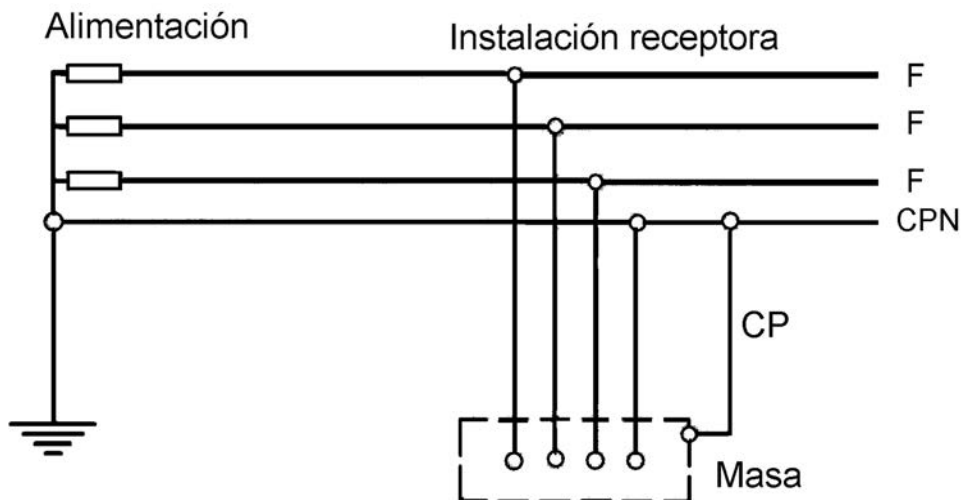


Fig. 31: Esquema de distribución tipo TN-C. (Fuente [5])

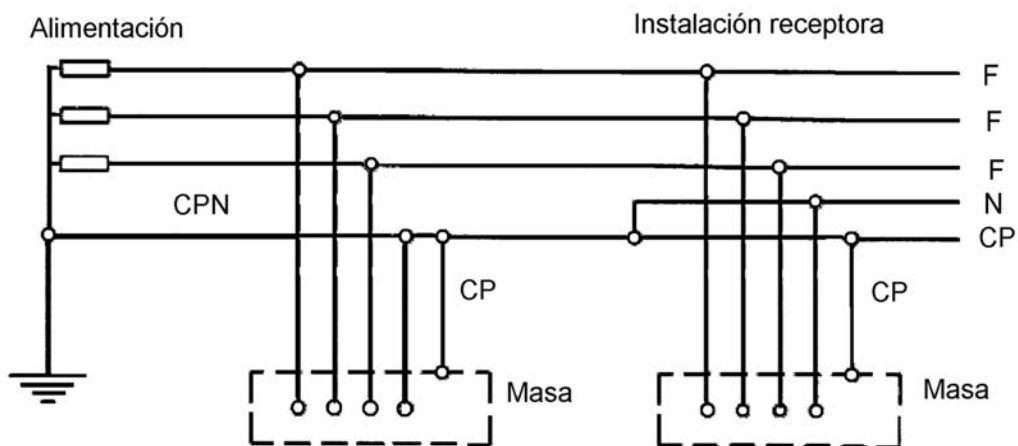


Fig. 32: Esquema de distribución tipo TN-C-S. (Fuente [5])

En los esquemas TN cualquier intensidad de defecto franco fase-masa es una intensidad de cortocircuito. Esto se debe a que el *bucle de defecto* (camino recorrido por la corriente de defecto) está constituido exclusivamente por elementos conductores metálicos, ya que la corriente de defecto no circula por tierra (Fig. 33). Para desconectar rápida y automáticamente el circuito en el caso de un defecto se usan protecciones de sobrecorriente y en el esquema TN-S también protecciones diferenciales (las cuáles se describen más adelante).

Para que en este régimen de neutro esté asegurada la protección contra contactos hay que garantizar que la resistencia a tierra del neutro sea siempre muy baja (inferior a 2Ω) y que el tendido del neutro se realice conforme a lo indicado en la ITC-BT-08.

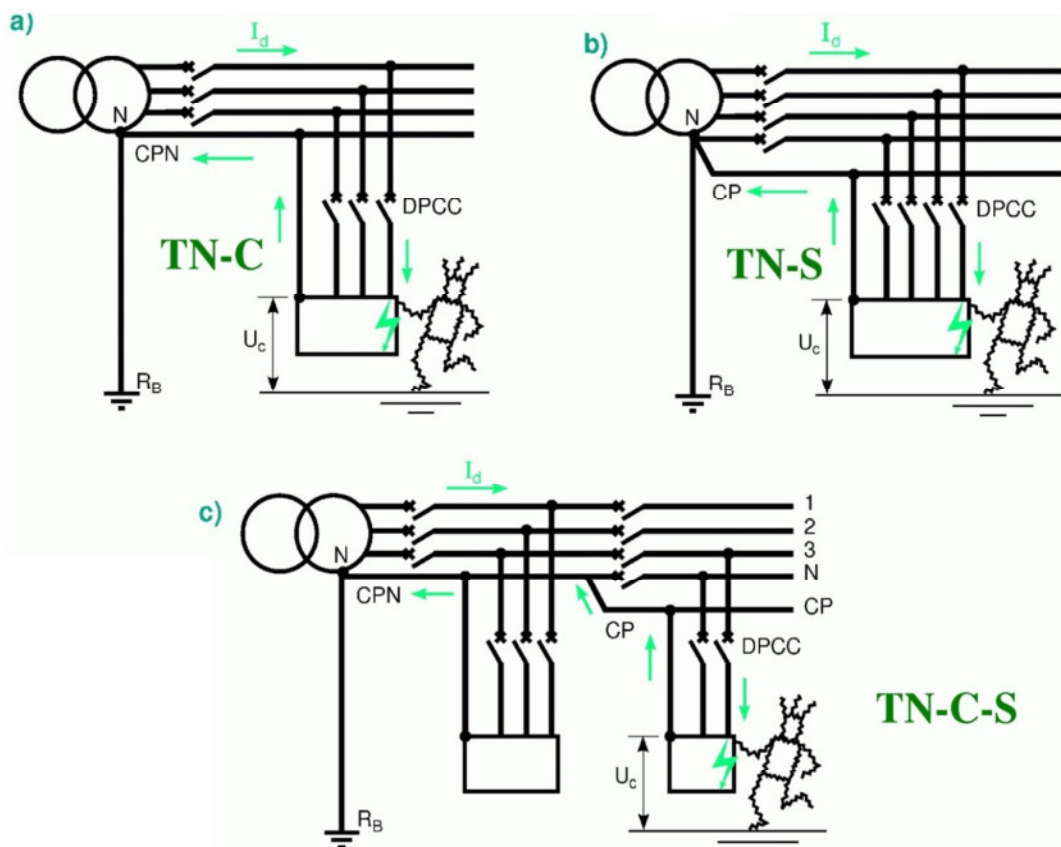


Fig. 33: Bucle de defecto en los esquemas TN. (Fuente [29])

Esquema TT

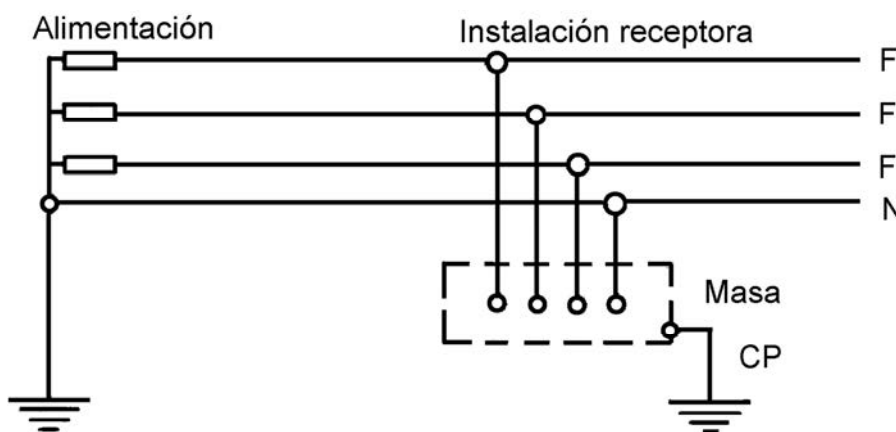


Fig. 34: Esquema de distribución tipo TT. (Fuente [5])

El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación (Fig. 34).

En este esquema las intensidades de defecto fase-masa o fase-tierra tienen parte de su recorrido a través de la tierra y sus valores son inferiores a los de cortocircuito (por consiguiente las instalaciones con el esquema TT no se pueden proteger de defectos a tierra mediante protecciones de sobreintensidad), pero pueden ser suficientes para provocar la aparición de tensiones peligrosas.

Así, en la Fig. 35 se muestra que la corriente de defecto circula por tierra a través de las tomas a tierra del neutro del transformador y del conductor de protección. Por consiguiente, esta corriente de defecto se encuentra con las resistencias R_A y R_B de estas dos puestas a tierra y, por ello, toma un valor inferior al de cortocircuito. Sin embargo, esta corriente de defecto al circular por la resistencia R_A da lugar a una tensión de contacto U_c peligrosa.

Para desconectar rápida y automáticamente el circuito en el caso de un defecto a tierra en el esquema TT se usan protecciones diferenciales (DDR en la Fig. 35) las cuáles se describen más adelante.

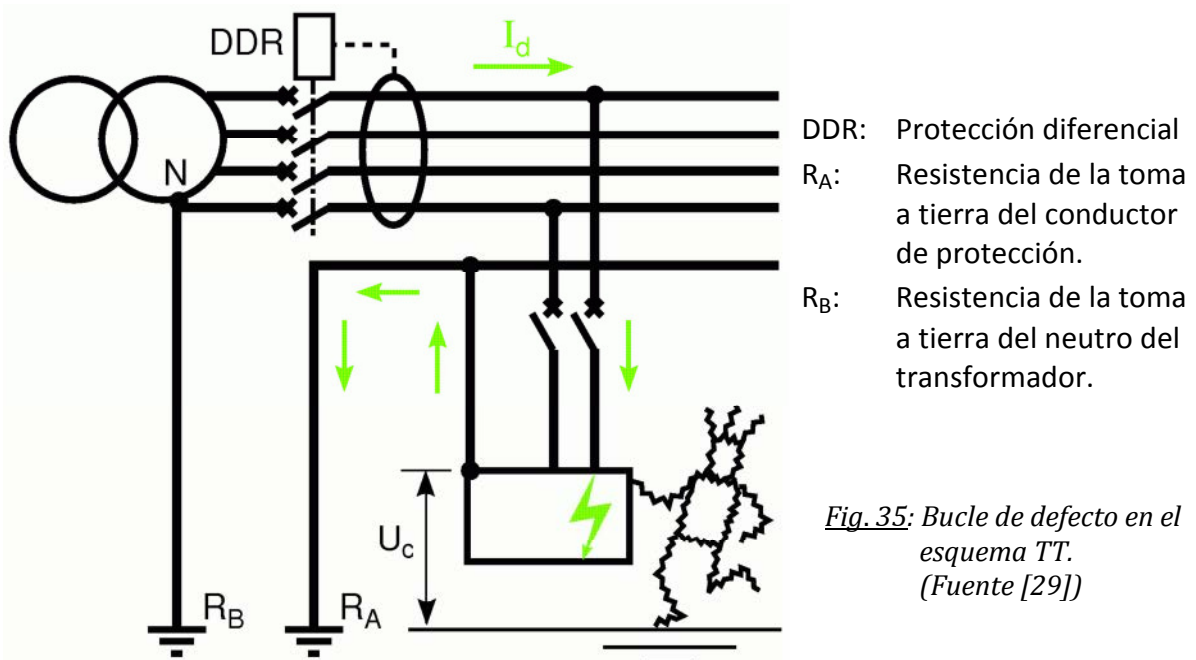


Fig. 35: Bucle de defecto en el esquema TT. (Fuente [29])

Esquema IT

El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra (Fig. 36).

En este esquema la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra, tiene un valor lo suficientemente reducido como para no provocar la aparición de tensiones de contacto peligrosas. Si se produce un defecto franco a tierra de una de las fases, aunque la tensión de contacto no es peligrosa, la tensión de las demás fases con respecto a tierra será igual a la tensión compuesta, lo cual hay que tener en cuenta al elegir los aislamientos y la aparamenta.

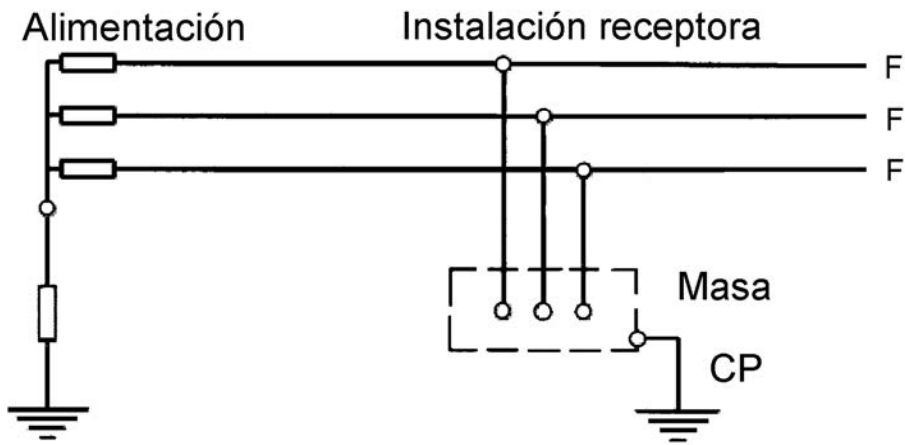


Fig. 36: Esquema de distribución tipo IT. (Fuente [5])

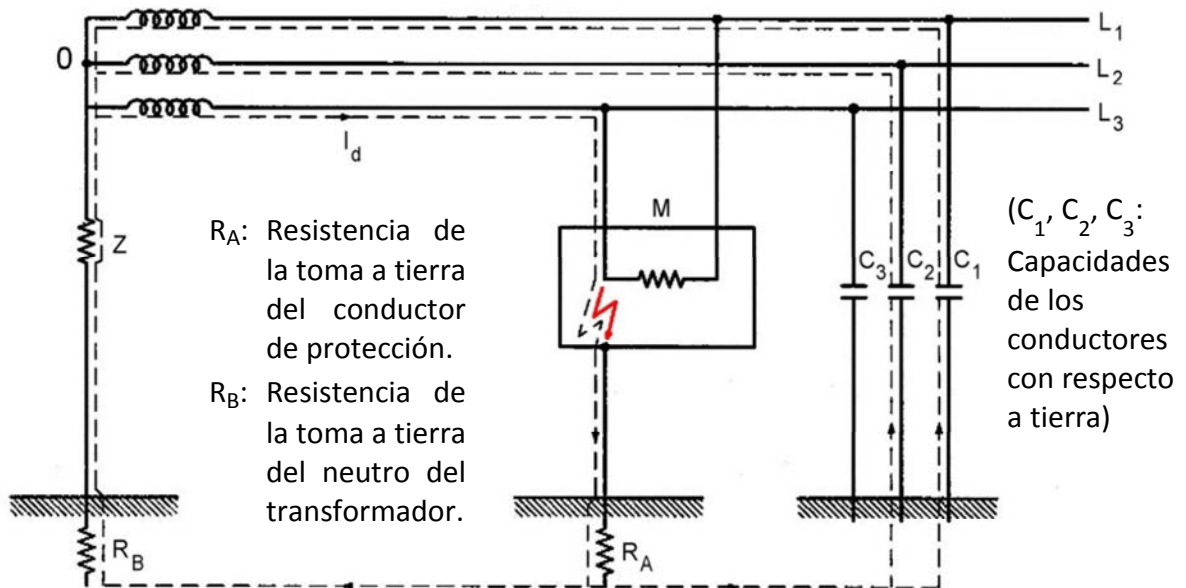


Fig. 37: Bucle para el primer defecto en el esquema IT unido a tierra por la impedancia Z . (Fuente [5])

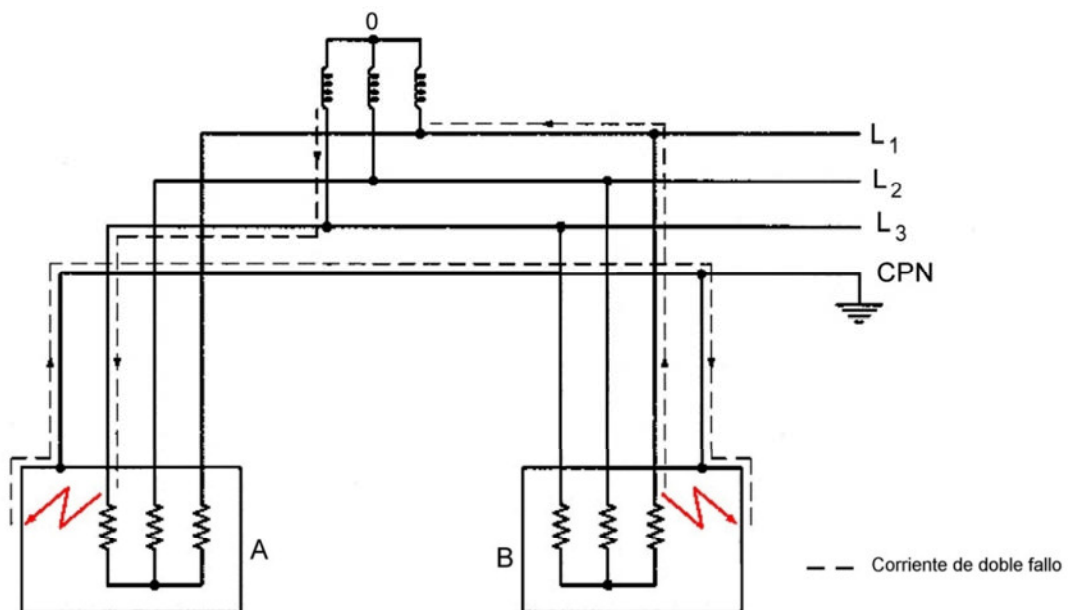


Fig. 38: Bucle para el segundo defecto en el esquema IT. (Fuente [5])

La limitación del valor de la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase-tierra se obtiene bien por la ausencia de conexión a tierra en la alimentación, o bien por la inserción de una impedancia suficiente entre un punto de la alimentación (generalmente el neutro) y tierra (Fig. 37).

Con este esquema se puede seguir funcionando normalmente tras producirse un primer defecto. Eso sí, habrá que intentar solucionarlo lo más rápidamente posible, antes de que se produzca un segundo defecto (Fig. 38) que ya sería peligroso y obligaría a las protecciones a desconectar el circuito.

Esta característica hace interesante este tipo de esquema en aquellas instalaciones en las que se quiera garantizar una alta disponibilidad de la energía eléctrica. Así, la ITC - BT - 38 exige este tipo de régimen de neutro para los quirófanos.

En este tipo de instalaciones hay que controlar permanentemente el nivel de aislamiento de la red con respecto a tierra.

Aplicación de los tres tipos de esquemas

La elección de uno de los tres tipos de esquemas debe hacerse en función de las características técnicas y económicas de cada instalación. Sin embargo, hay que tener en cuenta los siguientes principios.

- a) Las redes de distribución pública de baja tensión tienen un punto puesto directamente a tierra por prescripción reglamentaria. Este punto es el punto neutro de la red. El esquema de distribución para instalaciones receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión es el esquema TT. Esto hace que este tipo de esquema sea el más utilizado.
- b) En instalaciones alimentadas en baja tensión, a partir de un centro de transformación de abonado, se podrá elegir cualquiera de los tres esquemas citados.
- c) No obstante lo dicho en a) puede establecerse un esquema IT en parte o partes de una instalación alimentada directamente de una red de distribución pública mediante el uso de transformadores adecuados.

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA CHOQUES ELÉCTRICOS

Interruptores diferenciales (DR)

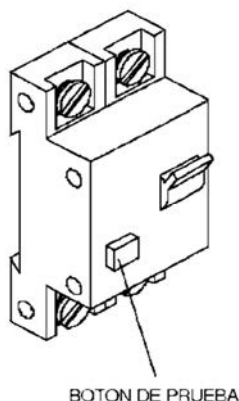


Fig. 39: Interruptor diferencial (Dibujo del profesor Fernando Bustillo Ojeda)

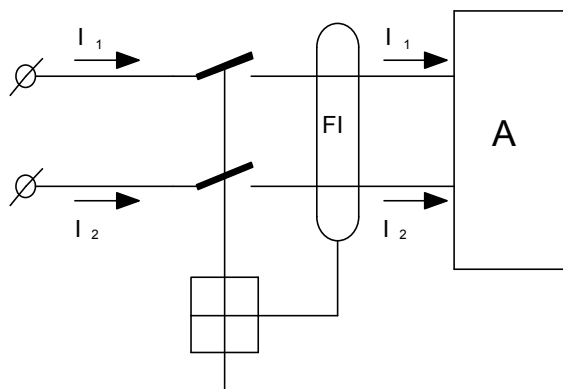


Fig. 40: Conexión de la protección diferencial

Las protecciones diferenciales o *dispositivos de corriente residual (DR)* protegen a los circuitos eléctricos de las corrientes de defecto a tierra.

Consideremos el circuito de corriente alterna monofásica de la Fig. 40, donde A representa una carga cualquiera: un motor, una impedancia, etc. y FI representa a la protección diferencial. La línea entre el interruptor y el diferencial indica que el diferencial puede abrir el interruptor. Si el circuito no tiene corrientes de defecto a tierra (ni corriente de fuga (ver más abajo)), en un instante dado la intensidad que entra al circuito (i_1) es igual a la intensidad que sale ($-i_2$). Por lo tanto, la suma de intensidades que entran al diferencial es cero ($i_1 = -i_2$; $i_1 + i_2 = 0$) y la protección diferencial no manda abrir el interruptor.

Si suponemos ahora que una persona accidentalmente toca uno de los conductores que alimentan la carga A (ver la Fig. 41), se producirá una corriente de defecto a tierra i_d a través de ella. La persona actúa en éste caso como una impedancia conectada a la tensión que hay entre el conductor considerado y la tierra. De la Fig. 41 se deduce que:

$$i_1 + i_2 = i_d$$

Si i_d es mayor a la *corriente diferencial de funcionamiento asignada (o sensibilidad)*, $I_{\Delta n}$, de la protección diferencial, ésta actuará abriendo el interruptor y protegiendo así a la persona que se estaba electrocutando.

Realmente lo que activa al diferencial es la *corriente diferencial residual* $I_{\Delta r}$, que es el valor eficaz de la suma vectorial de las corrientes de todos los conductores activos. I_{Δ} generalmente es superior a I_d debido a la *corriente de fuga* I_f que, en ausencia de defecto, puede circular a tierra a través de algunos elementos del circuito o de las capacidades que presentan sus aislantes con respecto a tierra. En las Figs. 40, 41 y 42 se ha considerado que la corriente de fuga es despreciable.

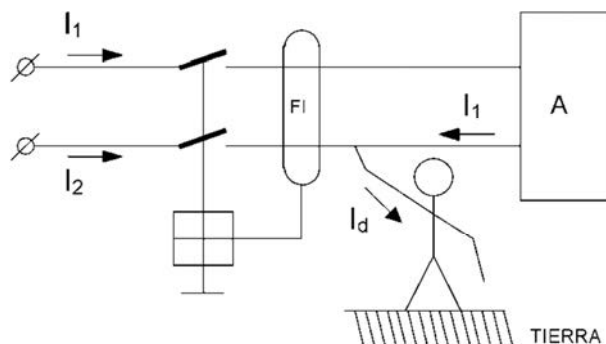


Fig. 41: Actuación de una protección diferencial cuando hay una corriente de defecto

La protección diferencial protege también de electrocución cuando el contacto de una persona con una fase se produce de forma indirecta. En efecto, supóngase un aparato eléctrico de carcasa metálica (por ejemplo, una lavadora) en el cual ha fallado el aislamiento de una fase con el resultado de que un conductor a tensión ha quedado tocando la carcasa. En este caso una persona que toque la carcasa del aparato (lo que en condiciones normales no debería representar ningún peligro) podría electrocutarse. Si la carcasa del aparato está conectada a tierra, bien directamente (lo que es recomendable) o bien por estar en contacto con el suelo, puede empezar a circular una corriente de defecto sin necesidad de que nadie la toque. Si esta corriente de defecto supera a $I_{\Delta n}$ la protección actuará, previniendo así el contacto de personas con elementos puestos a tensión accidentalmente, aún antes de que este contacto se produzca. De esta manera también se reduce el riesgo de incendio debido al efecto térmico de la corriente de defecto.

El mismo principio que se ha explicado para circuitos monofásicos se puede aplicar a circuitos trifásicos (con o sin neutro). En la Fig. 42 se representa una protección diferencial de un circuito trifásico de 4 hilos (con neutro). Si las intensidades que entran a la protección diferencial suman cero ($i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$) ésta no actúa, pero si no es así esta protección abrirá el interruptor, cortando el suministro de energía eléctrica a la carga A.

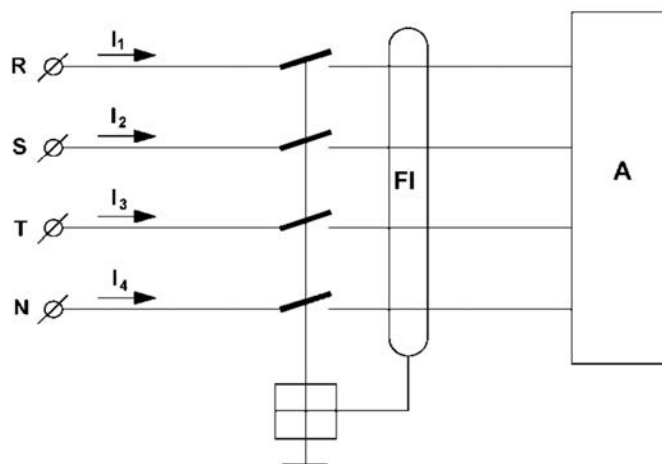


Fig. 42: Protección diferencial de un circuito trifásico

Los interruptores diferenciales se clasifican por su sensibilidad de esta manera:

- $I_{\Delta n} = 10 \text{ mA}$: de muy alta sensibilidad
- $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$: de alta sensibilidad
- $I_{\Delta n} = 100 \text{ ó } 300 \text{ mA}$: de media sensibilidad
- $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA ó } 1 \text{ A}$: de baja sensibilidad




Las características de los interruptores diferenciales (DR) vienen definidas en las normas UNE-EN 61008, 61009 y 60947-2.

Otra de las magnitudes importantes de un interruptor diferencial es la *corriente asignada* que es el valor de la corriente, atribuido por el fabricante, que el interruptor diferencial puede soportar circulando permanentemente por sus contactos. Los valores preferentes de la corriente asignada son:

10 - 13 - 16 - 20 - 25 - 32 - 40 - 63 - 80 - 100 - 125 A

Es evidente que será preciso proteger al interruptor diferencial de corrientes superiores a la asignada colocando aguas arriba de él una protección contra sobreintensidades.

Cuando la corriente en los conductores activos de una red no es perfectamente sinusoidal puede suceder que los interruptores diferenciales no actúen de forma satisfactoria; disparan intempestivamente o no son capaces de actuar con corrientes diferenciales superiores a la asignada. Esto ha llevado a clasificar los interruptores diferenciales en función de su capacidad para funcionar correctamente con corrientes deformadas:

- *Clase AC*: sólo para corrientes alternas sinusoidales. Llevan la siguiente marca .
- *Clase A*: para corrientes alternas sinusoidales y para corrientes continuas pulsantes. Llevan la siguiente marca .
- *Clase B*: para los mismos tipos de corriente que la clase A y, además, para corriente continua pura. Todavía no están recogidos en las normas. Llevan la siguiente marca .

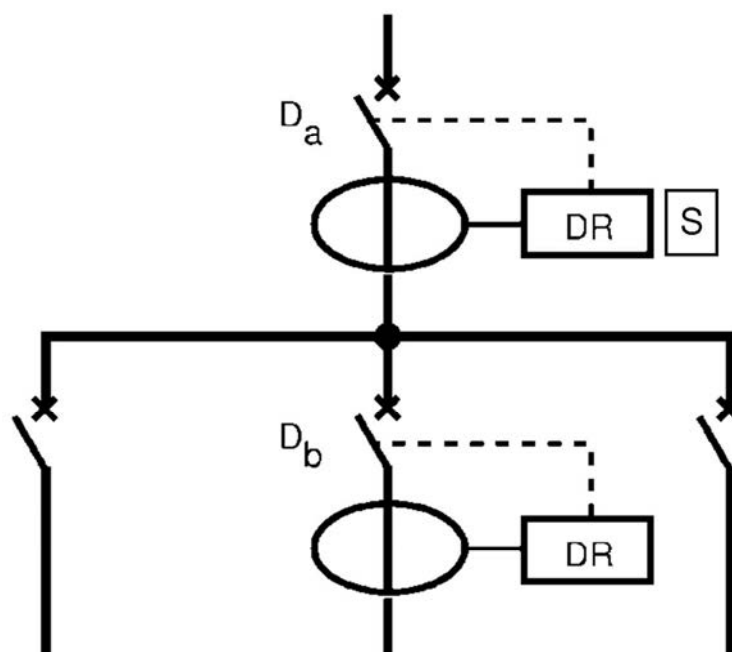



Fig. 43: Selectividad entre protecciones diferenciales. (Fuente [27]).

Cuando en una instalación se colocan varios diferenciales en serie (Fig. 43) es interesante conseguir *selectividad* entre ellos. Al igual que con los interruptores automáticos, se consigue selectividad cuando, en caso de defecto, sólo actúa la protección situada más próxima aguas arriba del punto de defecto.

Como los diferenciales normales no tienen introducido adrede un retraso en su actuación; para conseguir selectividad es preciso utilizar -conjuntamente con ellos- *diferenciales selectivos*, cuya actuación está ligeramente retrasada. Los diferenciales selectivos tienen esta marca .

Así, si se colocan dos diferenciales en serie (Fig. 43) existirá selectividad entre ellos si el colocado aguas arriba, D_a , es del tipo selectivo y tiene una corriente diferencial de funcionamiento asignada, $I_{\Delta n}$, superior a la del situado aguas abajo, D_b , el cual no será del tipo selectivo.

Controlador permanente de aislamiento (CPA)



Fig. 44: Controlador permanente de aislamiento

Los controladores permanentes de aislamiento (CPA) se utilizan para detectar los defectos de aislamiento en redes con el esquema de conexión a tierra IT. La norma UNE - EN 61557-8 especifica los requisitos aplicables a estos aparatos.

El CPA se coloca en el origen de la instalación a proteger y se conecta habitualmente entre el neutro de la instalación y tierra.

El CPA dispone de un generador que aplica una tensión de corriente continua o de corriente alterna de muy baja frecuencia entre la red a vigilar y tierra. Esta tensión provoca la circulación de una pequeña corriente de fuga, cuyo valor depende de la resistencia de aislamiento con respecto a tierra de la instalación. El CPA dispone de filtros para separar la señal de baja frecuencia de la correspondiente a la frecuencia asignada de la red, para luego medir la corriente de baja frecuencia. De esta manera determina la resistencia de aislamiento. Normalmente el CPA incluye una pantalla donde visualiza de manera continua la resistencia de aislamiento de la red (Fig. 44).

El CPA se calibra para que dé una señal de alarma cuando el nivel de aislamiento disminuye peligrosamente. Puede haber dos niveles de alarma, el primero cuando la resistencia de aislamiento empieza a ser reducida y conviene revisar la instalación (este nivel suele tomarse igual al 80% de la resistencia de aislamiento normal de la instalación) y el segundo, mucho más bajo, cuando el nivel de aislamiento empieza a reducirse a un nivel peligroso (usualmente para una corriente de fuga inferior o igual a 500 mA).

Los CPA más modernos son capaces de indicar en qué derivación del circuito se ha producido el defecto de aislamiento y también guardan un registro de sus medidas para que se pueda analizar la evolución del defecto.

PROTECCIÓN CONTRA LOS CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

La protección contra los contactos directos e indirectos por corte automático de la alimentación se realiza usualmente mediante protecciones diferenciales, aunque en las instalaciones con el esquema TN se emplean también interruptores automáticos o fusibles.

La protección contra los contactos directos e indirectos no consiste sólo en interrumpir la alimentación eléctrica cuando la tensión de contacto o la corriente de defecto alcanzan valores peligrosos, sino que consiste también en prevenir que llegue a producirse una situación de peligro. Para ello se emplean medidas como:

- Utilización de una tensión muy baja de seguridad.
- Aislamiento de las partes activas.
- Empleo de barreras o envolventes que protegen las partes activas.
- Colocación de obstáculos o alejamiento de las partes activas que reducen la posibilidad de un contacto directo.
- Utilización de envolventes aislantes o metálicas recubiertas de un aislante.
- Alimentación de la instalación mediante transformadores de aislamiento.

Los sistemas de protección contra contactos directos e indirectos están descritos en la instrucción ITC-BT-24 del REBT [6], la cual se basa en la norma UNE 20460-4-41. Esta instrucción está descrita y comentada en el capítulo correspondiente de la Guía Técnica de Aplicación del REBT [5].

PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

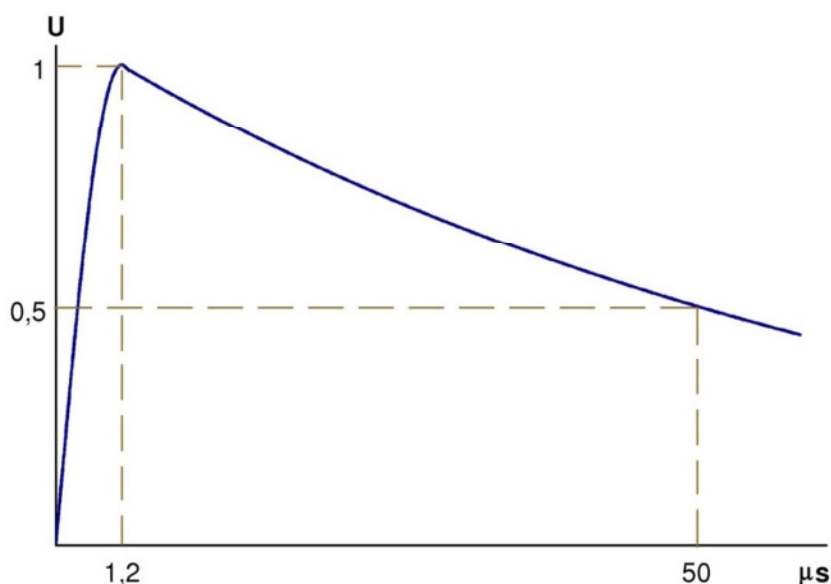


Fig. 45: Impulso de tensión normalizado de un rayo

Estas protecciones protegen a las instalaciones contra las sobretensiones transitorias originadas por rayos o por maniobras o defectos en las redes; las cuales tienen una duración muy breve, del orden de los microsegundos (μs) y su forma de onda es la representada en la Fig. 45.

Un **limitador de sobretensión** es un dispositivo de protección contra sobretensiones y se basa en un varistor (resistencia variable en función de la tensión a la que está sometida) conectado entre cada fase y tierra. Cuando se produce una sobretensión el varistor reduce su resistencia y desvía la sobretensión a tierra. Posteriormente vuelve a su estado normal de funcionamiento, presentando una resistencia muy elevada. Si el varistor se desconecta de la red porque ha sido sometido a una sobrecarga superior a la que puede soportar, existe un indicador para señalar que el limitador debe ser reemplazado.

En algunos modelos de limitadores, los varistores están situados dentro de cartuchos desenchufables (Fig. 46) que se pueden sustituir fácilmente en caso necesario.

Los limitadores de sobretensión se deben ajustar a la norma UNE-EN 61643-11.

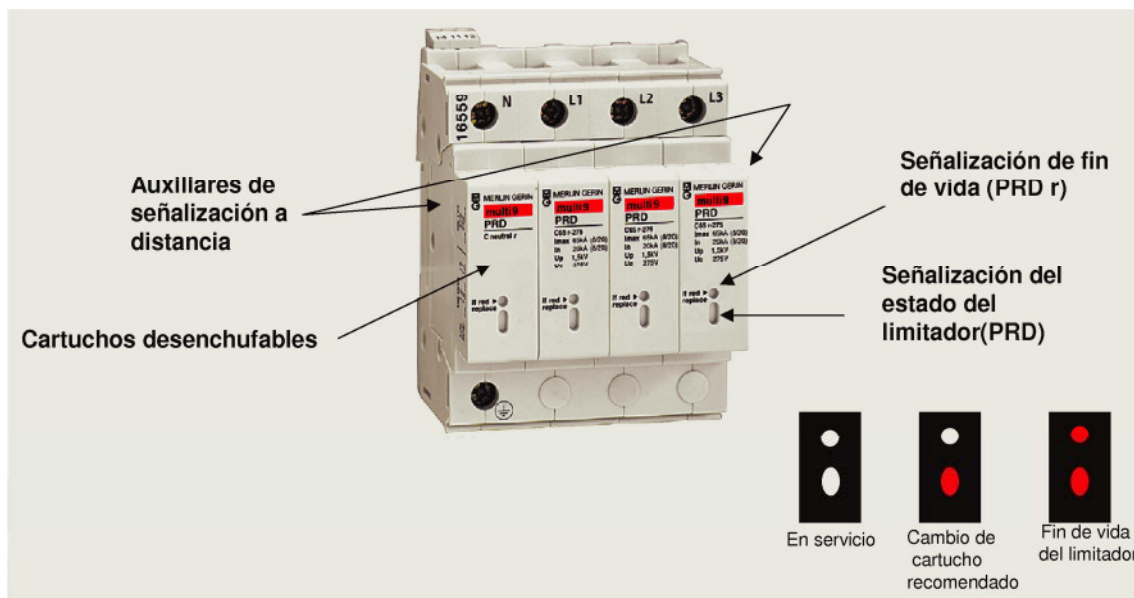


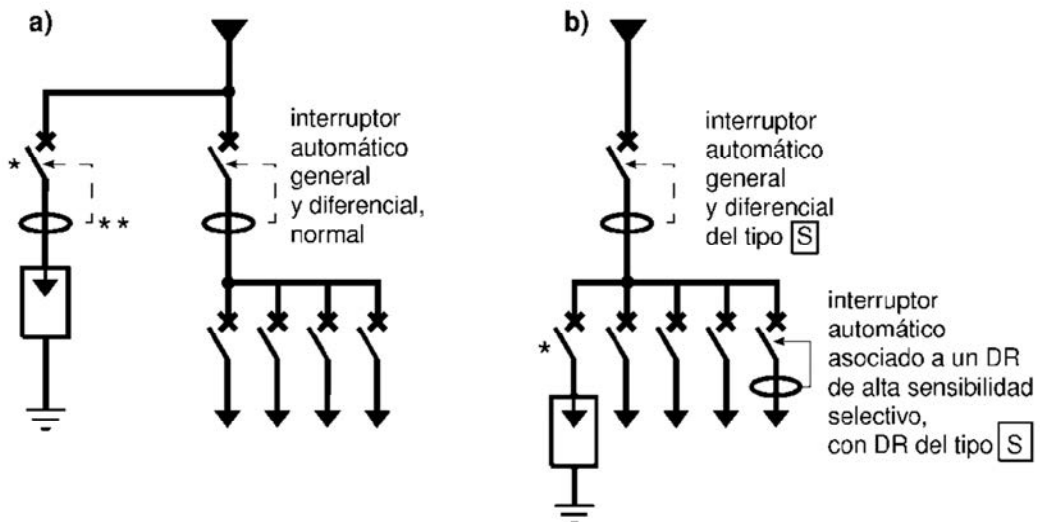
Fig. 46: Limitador de sobretensión con cartuchos desenchufables (Fuente: Catálogo de Merlin-Gerin - Schneider Electric)



Fig. 47: Limitadores de sobretensión (Fuente: Catálogo ABB)

Sólo es obligatorio el colocar limitadores de sobretensión en instalaciones con alto riesgo de sobretensiones o para proteger algunos aparatos especialmente sensibles a estas. En la ITC-BT-23 [6] se recogen una serie de reglas para proteger a las instalaciones de B.T. contra las sobretensiones.

Cuando el limitador de sobretensión actúa se produce una circulación de corriente a tierra que podría hacer disparar a las protecciones diferenciales. Por esta razón, en el esquema TT la Guía [5] recomienda que los limitadores se conecten antes del interruptor diferencial (Fig. 48a) o, en caso contrario, utilizar diferenciales temporizados (selectivos) (Fig. 48b).



* = dispositivo de desconexión del limitador al final de su vida: en cortocircuito.

** = dispositivo de protección diferencial para la protección de personas, unido, aquí, al de desconexión general.

(DR = Interruptor diferencial)

Fig. 48: Instalación del limitador de sobretensión para una instalación con el esquema TT:

a) Antes del interruptor diferencial

b) Después del interruptor diferencial siendo éste selectivo (temporizado)

(Fuente [31])

AUTOMATISMOS ³

Introducción

La automatización de una máquina o proceso productivo simple tiene como consecuencia la liberación física y mental de dicha labor. Se llama *automatismo* al dispositivo físico que se encarga de dicha función controlando su funcionamiento.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

La *Parte Operativa* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. La constituyen los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Por lo tanto, la parte operativa incluye los accionadores de las máquinas (motores, cilindros, compresores, etc.) y los captadores (fotodiodos, finales de carrera, etc.).

La *Parte de Mando* gobierna a la parte operativa siguiendo un programa predefinido. Se distingue entre mandos de lógica cableada y mandos de memoria.

En el *mando de lógica cableada* el programa queda determinado a través de la unión, mediante un cableado, entre los diferentes elementos, tales como: contactos, pulsadores, bobinas de relés y de contactores, temporizadores, etc.

³ Parte de este apartado ha sido redactado por el profesor de la Universidad de Cantabria D. Fernando Bustillo Ojeda.

El *mando de memoria* se realiza mediante un programa informático introducido en un *Controlador Lógico Programable (PLC)*, llamado también *Autómata Programable*, que es un equipo con microprocesador que permite controlar en tiempo real procesos secuenciales industriales. Es decir, un PLC es un ordenador industrial que, mediante el programa adecuado, permite gobernar una instalación.

En los sistemas con PLC la construcción del autómata y el correspondiente cableado es independiente del programa deseado, por lo que pueden utilizarse aparatos estándar. El cableado consiste básicamente en conectar los contactos emisores (de pulsadores, sensores,...) a los bornes de entrada del autómata y las bobinas de accionamiento (de los contactores) a los bornes de salida del autómata. El programa según el cual debe trabajar el mando se guarda en la memoria del autómata. En este programa queda fijada la secuencia en que deben ser consultados por el autómata los contactos emisores, la forma en que deben realizarse las operaciones lógicas y la conexión o desconexión de las bobinas de accionamiento. En el caso de que se precisase realizar una variación del programa no hay que cambiar el cableado del autómata sino solamente el contenido de la memoria del programa.

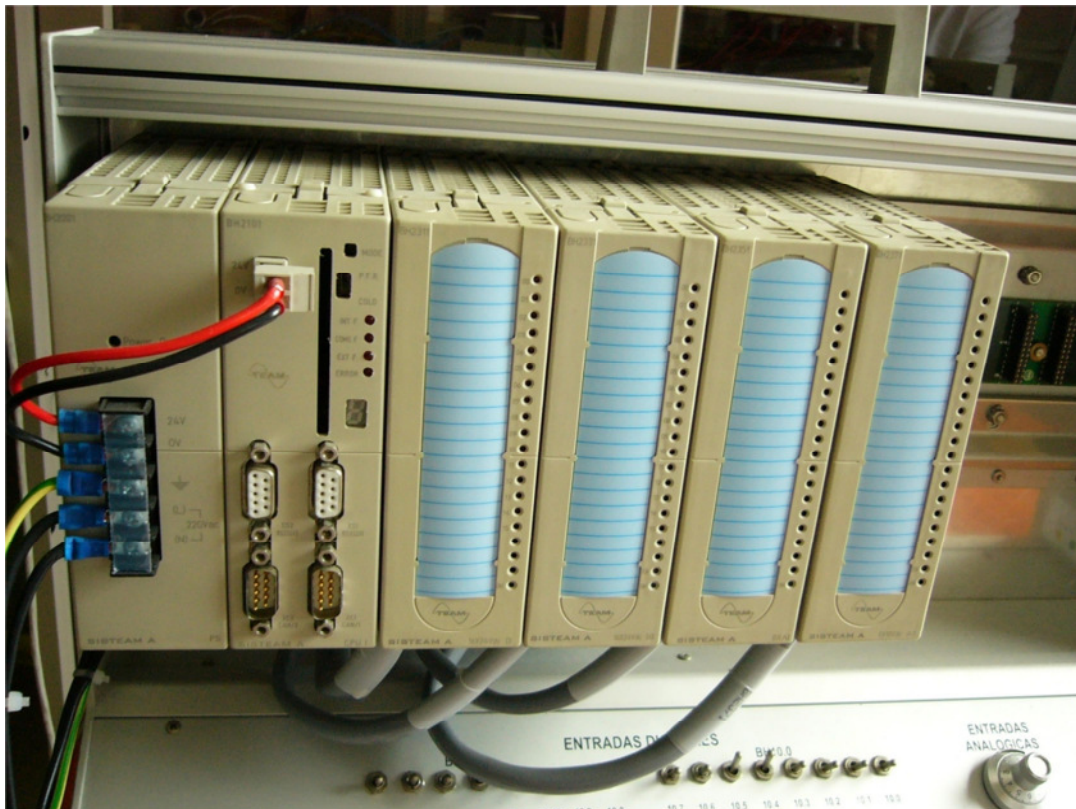
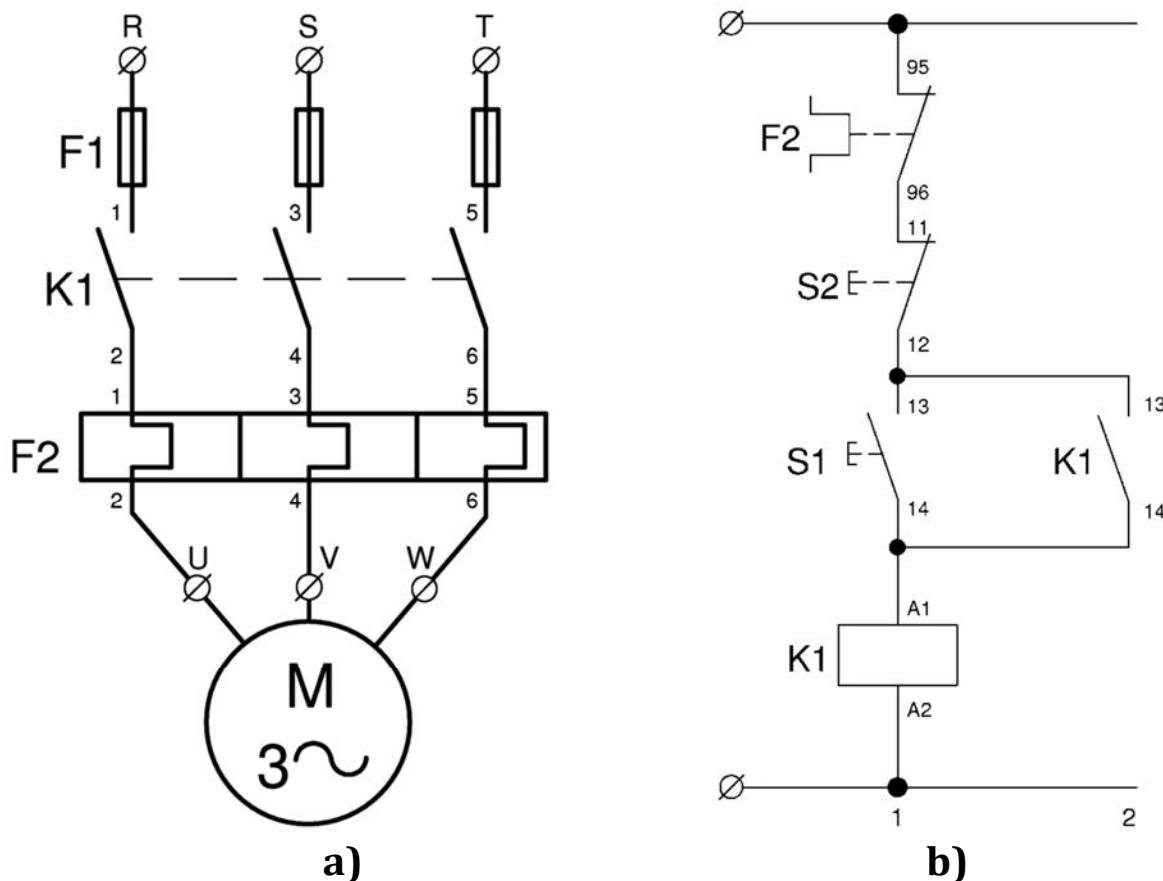


Fig. 49: PLC rack modular

Sin embargo, para automatismos sencillos, como maniobras de arranque, frenado o inversión de giro de un solo motor, aún se sigue empleando la lógica cableada. Por ejemplo, cuando se maniobra un motor mediante un contactor guardamotor.

Contactor guardamotor

Un contactor guardamotor sirve para conectar y desconectar un motor eléctrico. Consta de un contactor y de una protección térmica y se conecta según se representa en las Figs. 50 a y b.



*Figs. 50: Contactor guardamotor:
a) Circuito de fuerza
b) Circuito de mando*

En estas figuras se han dibujado todos los elementos en su posición de reposo, es decir, los contactos tendrán la posición de la figura cuando el contactor no está excitado y cuando la protección térmica no detecte sobrecargas.

Se debe distinguir el *circuito de fuerza*, (Fig. 50a) que es el circuito que alimenta a la carga, en este caso el motor, y el *circuito de mando* (Fig. 50b) que es el que controla la bobina del contactor. El circuito de fuerza se dibuja de trazo más grueso que el de mando.

En el circuito de fuerza (Fig. 50a) se aprecia que el contactor K1 actúa como interruptor del motor eléctrico y es el que se usará para arrancar o desconectar el motor. La protección del motor contra cortocircuitos se realiza mediante los fusibles F1, mientras que la protección contra las sobrecargas está encomendada a la protección térmica F2.

Supongamos que el contactor K1 está activado y, por lo tanto, están cerrados sus contactos principales (1-2, 3-4 y 5-6 en la Fig. 50a) y el motor gira. Si se produce una sobrecarga en, al menos, una de las fases del motor, al cabo de cierto tiempo actuará la protección térmica F2. Al actuar la protección térmica su contacto n.c. 95-96 (Fig. 50b) se abrirá, dejando desconectada la bobina del contactor. Esto provocará que el contactor abra sus contactos principales y el motor se quede sin tensión y, por lo tanto, protegido de la sobrecarga. Es decir, la protección térmica actúa sobre el contactor usando éste como el interruptor que se abre para proteger al motor.

El pulsador S1 es el de puesta en marcha del motor. Como se aprecia en la Fig. 50b, al pulsar S1 se cierra su contacto n.a. 13-14, con lo que (si el pulsador S2 y la protección F2 están en sus posiciones de reposo) la bobina del contactor K1 recibe tensión y cierra sus contactos principales n.a. (1-2, 3-4 y 5-6), poniendo en marcha al motor. Ahora bien, en principio parecería que sería necesario mantener S1 pulsado continuamente para evitar que la bobina de K1 deje de recibir tensión y el motor se detenga. Para que una vez pulsado S1 el motor siga girando, aunque se deje de oprimir dicho pulsador, en el circuito de mando (Fig. 50b) se ha colocado un contacto n.a (13-14) del contactor K1 en paralelo con el contacto n.a del pulsador S1. Así, al pulsar S1 y dar tensión a la bobina de K1, no sólo se cierran sus contactos principales (1-2, 3-4 y 5-6), sino también su contacto auxiliar n.a 13-14. Este contacto auxiliar n.a. mantiene con tensión a la bobina del contactor K1 aunque se deje de pulsar S1. Un contactor o un relé que, como el de las Figs. 50, una vez excitado se mantiene alimentado a través de uno de sus propios contactos se dice que está *realimentado*, *autoalimentado* o *automantenido*.

Para parar el motor se utiliza el pulsador S2. Al pulsar S2 se abre su contacto n.c. 11-12, lo cual hace que la bobina del contactor K1 se quede sin tensión. Esto, a su vez, provoca que los contactos de K1 (1-2, 3-4, 5-6 y 13-14) vuelvan a la posición de reposo y el motor quede desconectado de la red.

Nótese que los contactos principales (1-2, 3-4 y 5-6) del contactor K1 (dibujados en la Fig. 50a), su bobina (conectada entre los bornes A1 y A2 en la Fig. 50b) y su contacto auxiliar n.a (13-14 en la Fig. 50b) están dibujados separados en las Figs. 50, aunque físicamente son elementos que pertenecen al mismo aparato (el contactor K1). Análogamente, también se han dibujado separados los elementos de la protección térmica F2. Al representar los circuitos así queda más claramente indicada su forma de actuación.

La intensidad de arranque del motor es mayor que la intensidad a la cual está calibrada la protección térmica F2. Si esta protección actuara instantáneamente el motor no podría ponerse en marcha, pues cada vez que se intentase arrancarlo actuaría la protección.

Para que pudiera arrancar un motor protegido por una protección de sobreintensidad que actuara instantáneamente, sería preciso calibrar dicha protección a un valor superior a la intensidad de arranque. Sin embargo, en este caso, el motor no estaría protegido contra sobreintensidades moderadas (sobrecargas) que podrían dañarlo si duraran un tiempo suficientemente largo.

Se aprecia, pues, la conveniencia de usar una protección térmica para proteger a un motor. Este tipo de protección presenta las siguientes ventajas:

- a) Permite poner en marcha al motor aunque su protección esté calibrada a un valor inferior a la intensidad de arranque, ya que ésta dura muy poco tiempo y la protección térmica no llega a actuar.
- b) Permite que se produzcan sobreintensidades moderadas que no duren mucho tiempo sin desconectar el motor, ya que éste las soporta sin peligro y así se evitan paradas intempestivas.
- c) Protege el motor de sobreintensidades peligrosas, bien por ser moderadas pero durar bastante tiempo, o bien o por alcanzar un valor elevado, aunque sea por poco tiempo.

Para corrientes muy elevadas (cortocircuitos), la protección térmica sería demasiado lenta. Por esta razón se colocan los fusibles F1, los cuáles están calibrados para una intensidad superior a la de arranque del motor. Para sobrecargas comprendidas entre las corrientes a las que están calibrados la protección térmica F2 y los fusibles F1, actúa la protección térmica con cierto retraso (inversamente proporcional al valor eficaz de la corriente). Para intensidades superiores a la cual están calibrados los fusibles F1, son éstos los que protegen al motor de una forma prácticamente instantánea.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

ESQUEMA GENERAL DE LA RED ELÉCTRICA

La ITC-BT-12 ([5], [6]) describe la constitución de la instalación eléctrica de un edificio o local.

Estas instalaciones serán de una *tensión asignada* de 400/230 V. Esto quiere decir que, en las que sean trifásicas, la tensión entre fases tendrá un valor eficaz de 400 V mientras que las tensiones fase-neutro serán de 230 V. Las instalaciones monofásicas estarán conectadas entre una fase y neutro y, por lo tanto, tendrán una tensión asignada de 230 V.

Se denominan *conductores activos* a los conductores de fase más el conductor neutro. En general, la sección del conductor neutro deberá ser igual a la de los conductores de fase. Sólo en casos especiales de instalaciones trifásicas, debidamente justificados, se podrá reducir la sección del neutro.

El *conductor de protección* se utiliza para conectar a tierra y entre sí todas las masas metálicas de la instalación como medida de seguridad contra los contactos directos e indirectos.

El *conductor de mando* sirve para unir los contadores y el interruptor de control de potencia en las instalaciones con tarifa con discriminación horaria.

Los conductores de la instalación deben ser fácilmente identificables, especialmente por lo que respecta al conductor neutro y al conductor de protección. Esta identificación se realizará por los colores que presenten sus aislamientos, tal como se indica en la Fig. 51. El conductor de mando es de color rojo.

Al diseñar una instalación se procurará repartir de la forma más equilibrada posible las cargas entre las tres fases de la red.

A modo de ejemplo, el esquema de la Fig. 52, extraído de la ITC-BT-12, muestra cómo debe realizarse la instalación eléctrica de un edificio con varios usuarios y con los contadores colocados en un solo lugar.

La ***acometida*** (señalada con la referencia "2" en la Fig. 52) es la parte de la instalación entre la red de distribución pública y la caja o cajas generales de protección del edificio. La acometida es propiedad de la empresa suministradora de energía eléctrica.






conductor	coloración		
neutro (o previsión de que un conductor de fase pase posteriormente a neutro)	azul 		
protección	verde-amarillo 		
fase	marrón 	negro 	gris 

Fig. 51: Código de colores para los conductores de una instalación (Fuente: GUIA-BT-19 [5])

La **instalación de enlace** es la que une la caja general de protección o cajas generales de protección, incluidas éstas, con las instalaciones interiores o receptoras del usuario.

Por lo tanto, las instalaciones de enlace comienzan en el final de la acometida y terminan en los dispositivos generales de mando y de protección (Fig. 52). Las partes que constituyen las instalaciones de enlace son:

- Caja General de Protección (CGP) (3)
- Línea General de alimentación (LGA) (4)
- Elementos para la Ubicación de Contadores (CC) (7)
- Derivación Individual (DI) (8)
- Caja para el Interruptor de Control de Potencia (ICP) (11)
- Dispositivos Generales de Mando y Protección (DGMP) (12)

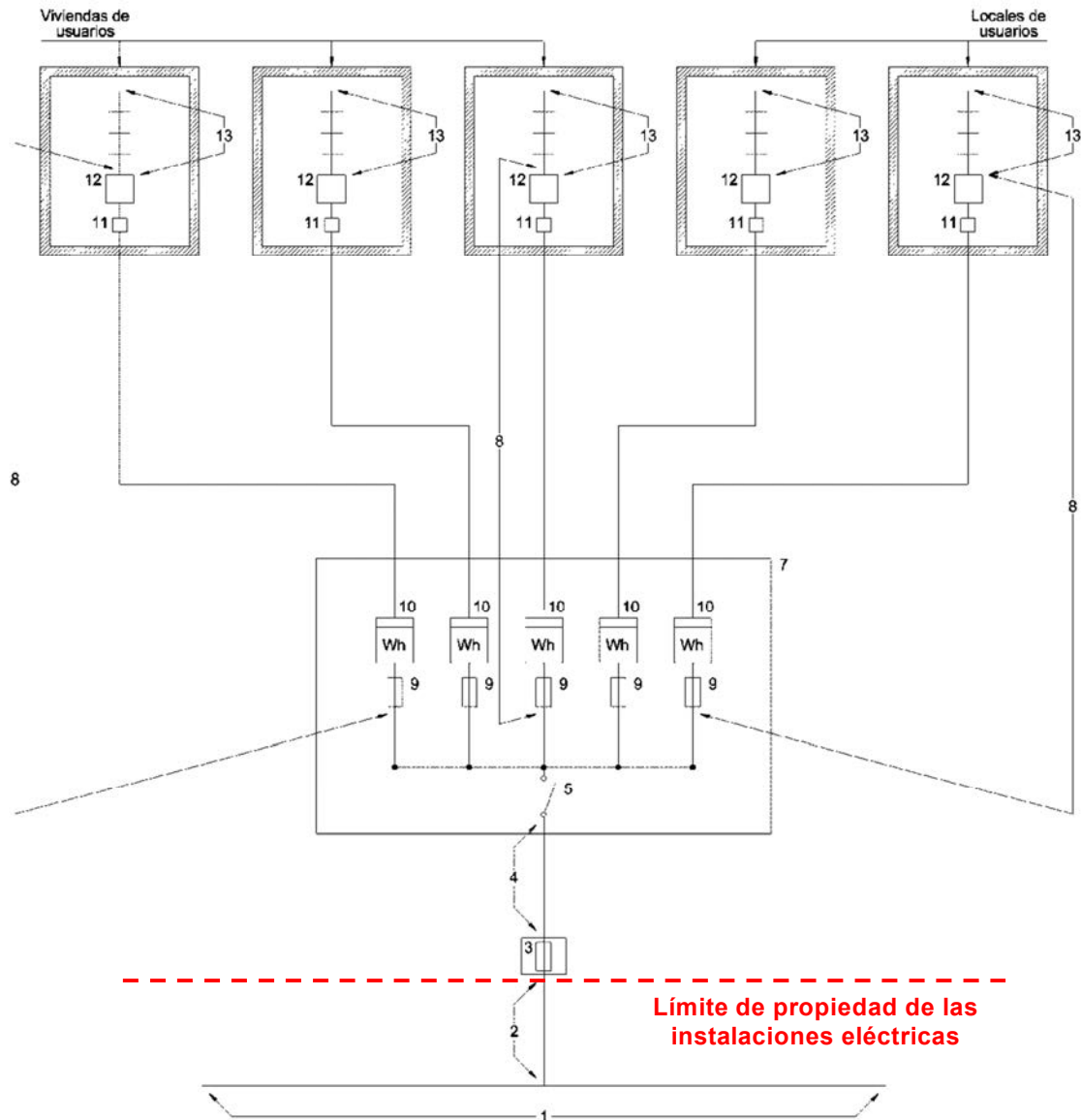
Las **Cajas Generales de Protección (CGP)** (en la Fig. 52 hay una sola CGP y está señalada con la referencia "3") son las cajas que alojan los elementos de protección de las líneas generales de alimentación. Estos elementos de protección son normalmente fusibles y con estas cajas empieza la parte de la instalación eléctrica propiedad de los usuarios.

Las **Líneas Generales de Alimentación (LGA)** (en la Fig. 52 hay una sola LGA que está señalada con la referencia "4") son líneas trifásicas, cada una de las cuáles enlaza una Caja General de Protección con una o varias centralizaciones de contadores. Habrá una sola LGA por cada CGP. De una misma LGA puede haber derivaciones para distintas centralizaciones de contadores.

Una **Derivación individual** es la parte de la instalación que, partiendo de una línea general de alimentación suministra energía eléctrica a una instalación de usuario. Puede ser mono o trifásica según el tipo de instalación de usuario que alimente.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

La derivación individual se inicia en el embarrado general y comprende, por un lado, los fusibles de seguridad y el conjunto de medida (ambos situados en la concentración de contadores) y, por otro, el Interruptor de Control de Potencia y los dispositivos generales de mando y protección (situados en el interior de la vivienda o local de cada usuario), así como la línea que existe entre ellos. En la Fig. 52 las derivaciones individuales tienen la referencia "8" e incluyen los elementos con las referencias 9, 10, 6, 11 y 12.



Leyenda

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 Red de distribución | 8 Derivación individual |
| 2 Acometida | 9 Fusible de seguridad |
| 3 Caja general de protección | 10 Contador |
| 4 Línea general de alimentación | 11 Caja para interruptor de control de potencia |
| 5 Interruptor general de maniobra | 12 Dispositivos generales de mando y protección |
| 6 Caja de derivación | 13 Instalación interior |
| 7 Emplazamiento de contadores | |

*Fig. 52: Esquema para varios usuarios con contadores en forma centralizada en un solo lugar
(Fuente: ITC-BT-12 [6])*

Cada derivación individual será totalmente independiente de las derivaciones correspondientes a otros usuarios.

En la Fig. 52 sólo hay una ubicación para los **contadores**. En otras instalaciones puede haber varias ubicaciones para los contadores.

Las **instalaciones interiores** de cada local empiezan en el Cuadro General de mando y Protección correspondiente y estarán divididas en varios circuitos cuyas características se deberán ajustar al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

El **Interrupor de Control de Potencia (ICP)** (Fig. 53) es un interruptor magnetotérmico que sirve para limitar la potencia que puede consumir el abonado a la potencia contratada con la compañía suministradora y lleva un precinto para evitar su manipulación. Está señalado con la referencia "11" en la Fig. 52.

El **Cuadro General de Mando y Protección** (Fig. 53), señalado con la referencia "12" en la Fig. 52, incluye los dispositivos generales e individuales de mando y protección de cada local.

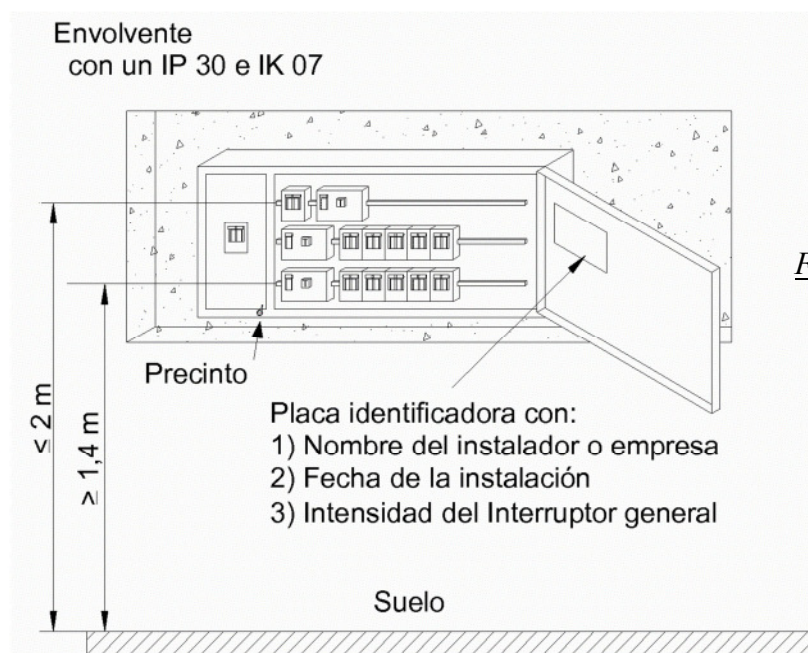


Fig. 53: Interrupor de control de potencia y cuadro general de mando y protección. (Fuente [5]).

PUESTA A TIERRA (ITC-BT-18)

Se denomina puesta a tierra a la conexión metálica de uno o varios puntos de una instalación a uno o varios electrodos enterrados. El objeto de esta puesta tierra puede ser el proporcionar una referencia de potencial para ciertos aparatos (*puesta a tierra funcional*) y, sobre todo, el facilitar la circulación a tierra de corrientes de defecto y las descargas atmosféricas, para evitar que existan diferencias de potencial peligrosas entre elementos accesibles de la instalación (*puesta a tierra de protección*).

Los conductores de protección y los neutros de los transformadores de los centros de transformación necesitan ser conectados a tierra mediante un sistema que presente la menor resistencia posible.

La puesta a tierra de un edificio consta de los siguientes elementos:

- Tomas de tierra (es la parte enterrada de la instalación de puesta a tierra):
 - Electrodos
 - Conductores de tierra o líneas de enlace con tierra
 - Puntos o bornes de puesta a tierra
- Conductores de protección (es la parte no enterrada de la instalación de puesta a tierra):
 - Línea principal de tierra
 - Derivaciones de la línea principal de tierra
 - Conductores de protección de las instalaciones interiores

Electrodos

Un electrodo de puesta a tierra es un elemento conductor enterrado en el terreno y en perfecto contacto con él.

Los electrodos más utilizados son:

- Picas
- Placas
- Conductores enterrados horizontalmente
- Anillos o mallas

Las **picas** son electrodos cilíndricos terminados en punta -tienen forma de jabalina- de 2 metros de longitud que se introducen verticalmente en el terreno. Suelen fabricarse de cobre o de acero recubierto de cobre (Fig. 54).

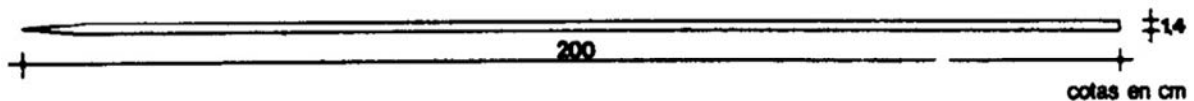


Fig. 54: Pica de puesta a tierra (Fuente: NT-IEP [10])

Las **placas** son electrodos de forma rectangular o cuadrada de pequeño espesor que se colocan en el terreno en posición vertical. Pueden ser de cobre, acero recubierto de cobre o acero galvanizado y no se utilizan mucho debido al costo de mano de obra que supone su instalación.

Un **conductor enterrado horizontalmente** es un electrodo que consiste en un cable, un alambre, una pletina, un fleje,... desnudo enterrado horizontalmente.

Un **anillo o malla** está constituido por la combinación de varios electrodos (picas, placas, conductores) unidos entre sí formando un anillo cerrado o una malla. La Fig. 55 muestra el anillo de puesta a tierra que rodea a un edificio de viviendas y al que se conectarán electrodos verticalmente hincados en el terreno en el caso de que se necesitare reducir la resistencia de tierra.

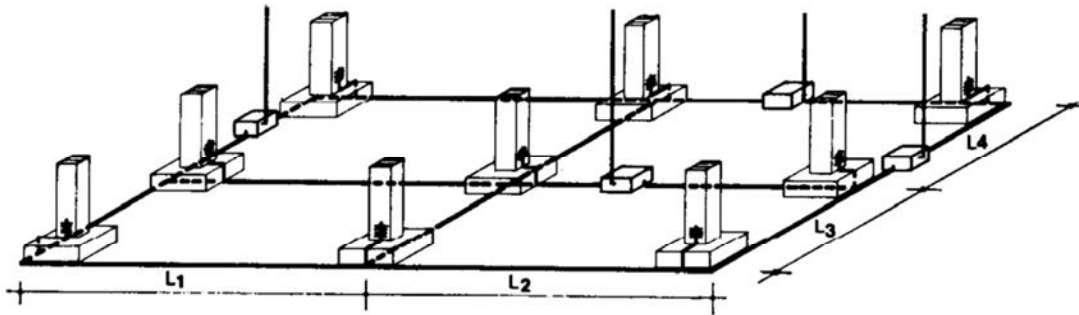


Fig. 55: Anillo de puesta a tierra (Fuente: NT-IEP [10])

Conductores de tierra y puntos de puesta a tierra

Los **conductores de tierra**, también denominados **líneas de enlace con tierra**, se tratan de conductores de cobre, aislados o desnudos, que unen los electrodos, o conjunto de electrodos con los puntos de puesta a tierra.

En toda instalación de puesta a tierra debe preverse un **punto o borne principal de tierra**, al cual deben unirse los conductores siguientes:

- Los conductores de tierra
- Los conductores de protección
- Los conductores de unión equipotencial principal
- Los conductores de puesta a tierra funcional, si son necesarios

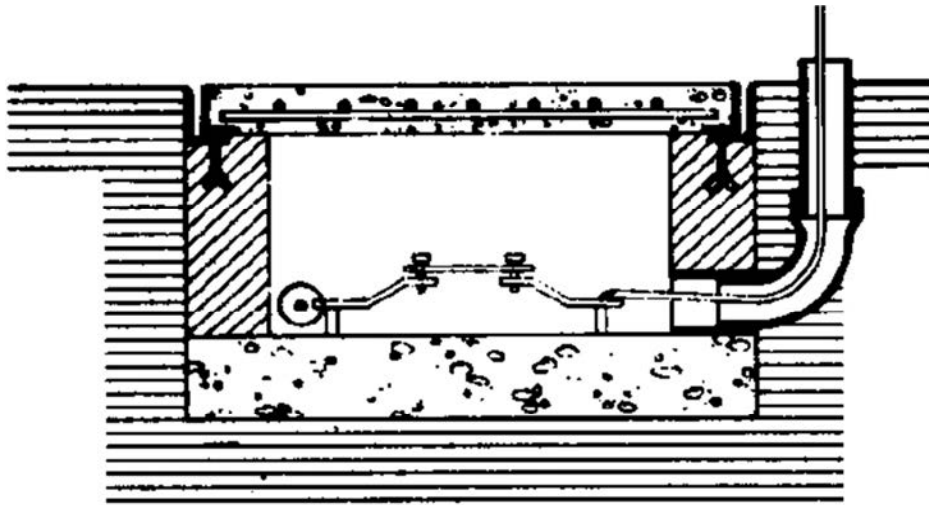


Fig. 56: Punto de puesta a tierra dentro de una arqueta (Fuente: NT-IEP [10])

Conductores de protección

La parte no enterrada de la instalación de puesta a tierra sigue la misma estructura y utiliza las mismas canalizaciones que los conductores activos.

De esta manera, las **líneas principales** y sus **derivaciones** se establecerán en las mismas canalizaciones que las de las líneas generales de alimentación y las derivaciones individuales.

Por otra parte, los **conductores de protección de las instalaciones interiores** se instalarán acompañando a los conductores activos en todos los circuitos de la instalación hasta los puntos de utilización.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] LAGUNAS MARQUÉS, A... "Instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios de viviendas". Editorial Thomson-Paraninfo. Madrid 2004.
- [2] TOLEDANO GASCA, J. C.; SANZ SERRANO, J. L. "Instalaciones eléctricas de enlace y centros de transformación". Editorial Thomson-Paraninfo. Madrid 2003.
- [3] PÉREZ CÁMARA, J. «Instalaciones de enlace en edificios». Creaciones Copyright, S.L. 2004.
- [4] RAMÍREZ VÁZQUEZ, J. "Enciclopedia CEAC de la electricidad: Instalaciones de baja tensión. Cálculo de líneas eléctricas". Ediciones CEAC, S.A. Barcelona. 1982.
- [5] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. "Guía Técnica de Aplicación del Reglamento Electrotécnico para B. T.". www.ffii.nova.es/puntoinfomcyt/guia_rbt.asp.
- [6] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. "Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias". B.O.E. nº 224, 18 septiembre 2002.
- [7] MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA. "Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación". Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre de 1982.
- [8] MINISTERIO DE LA VIVIENDA. "Normas Tecnológicas de la Edificación NTE-IEB: Baja Tensión". B.O.E. 20 y 27 abril y 4 y 5 de mayo de 1974.
- [9] MINISTERIO DE LA VIVIENDA. "Normas Tecnológicas de la Edificación NTE-IET: Centros de transformación". B.O.E. 23 de diciembre de 1983.
- [10] MINISTERIO DE LA VIVIENDA. "Normas Tecnológicas de la Edificación NTE-IEP: Puestas a tierra". B.O.E. 24 de marzo de 1973.
- [11] MINISTERIO DE LA VIVIENDA. "Normas Tecnológicas de la Edificación NTE-IER: Red exterior". B.O.E. 19 de junio de 1984.
- [12] GARCÍA TRASANCOS, J. "Instalaciones eléctricas en media y baja tensión". Editorial Thomson-Paraninfo. Madrid 2003.
- [13] MORENO ALONSO, N.; CANO GONZÁLEZ, R. "Instalaciones eléctricas de baja tensión". EDITORIAL Thomson-Paraninfo. Madrid 2004.
- [14] SANZ SERRANO, J. L.; TOLEDANO GASCA, J. C. "Técnicas y procesos en las instalaciones eléctricas en media y baja tensión". Editorial Thomson-Paraninfo. Madrid 2005.
- [15] CALVO SÁEZ, J. A. "Seguridad en las instalaciones eléctricas de obra". Asociación para la prevención de accidentes. S. Sebastián. 2005.
- [16] COLLOMBET, M.; LACROIX, B. "Los interruptores automáticos BT frente a las corrientes armónicas, transitorias y cíclicas". Cuaderno Técnico nº 182 de Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>.
- [17] GARCÍA TRASANCOS, J. "Instalaciones eléctricas en media y baja tensión". Thomson-Paraninfo. Madrid. 2004.
- [18] HERNÁNDEZ, J. L. "Aparamenta". <http://endrino.cnice.mecd.es/~jhem0027/aparamenta/aparamenta.htm>.
- [19] KLÖCNER-MOELLER "Informaciones técnicas: Equipos, sistemas y aparamenta eléctrica y electrónica para automatismos y distribución de energía". 1986.

- [20] NEREAU, J.-P. "Selectividad con los interruptores automáticos de potencia BT". Cuaderno Técnico nº 201 de Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>.
- [21] AENOR. Norma UNE-EN 60947-1. 2008 y 2011. "Aparamenta de baja tensión. Parte 1: Reglas generales".
- [22] ROLDÁN VITORIA, J. "Seguridad en las instalaciones eléctricas". Thomson-Paraninfo. Madrid. 2003.
- [23] SERPINET, M.; MOREL, R. "La selectividad energética BT". Cuaderno Técnico nº 167 de Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>.
- [24] MERLIN GERIN "Guía de diseño de instalaciones eléctricas (según normas internacionales CEI)". Schneider Electric de España. 2005.
- [25] MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO. Norma Básica de la Edificación NBE-CPI/96: Condiciones de protección contra incendios de los edificios". B.O.E. del 29 de octubre de 1996.
- [26] MERLIN GERIN "Manual teórico-práctico Schneider. Instalaciones en Baja Tensión". Schneider Electric de España. 2004.
- [27] CALVAS, R. "Los dispositivos diferenciales de corriente residual en B.T.". Cuaderno Técnico nº 114 de Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>.
- [28] JULLIEN, F.; HERITIER, I. "El esquema IT (neutro aislado) de los esquemas de conexión a tierra BT". Cuaderno Técnico nº 114 de Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>.
- [29] LACROIX, B.; CALVAS, R. "Los esquemas de conexión a tierra en B.T. (regímenes de neutro)". Cuaderno Técnico nº 172 de Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>.
- [30] MERLIN GERIN "Guía de protección diferencial Baja Tensión". Schneider Electric. 1999.
- [31] SÉRAUDIE, C. "Sobretensiones y limitadores de sobretensiones en BT -coordinación del aislamiento en BT-". Cuaderno Técnico nº 179 de Schneider Electric. <http://www.schneiderelectric.es>.
- [32] Ministerio de la Vivienda. "Código Técnico de la Edificación". B.O.E. Real Decreto 314/2006.
- [33] BARRERO, F.; GONZÁLEZ, E.; MILANÉS, M. I. y ROMERO, E. "Fundamentos de instalaciones eléctricas". Ibergarceta Publicaciones, S.L. Madrid. 2012.
- [34] Schneider Electric. "Interruptores en carga en baja tensión".

ANEXO A:
DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE UN EDIFICIO

A.1. INTRODUCCIÓN

Para dimensionar una instalación en un edificio lo primero es establecer las cargas que deben ser alimentadas por ésta.

La potencia total del conjunto de todos los aparatos y máquinas que están conectados a una instalación es la Potencia Instalada.

Muchas veces no se conoce con precisión qué cargas van a estar conectadas a una instalación por lo que la potencia instalada habrá que estimarla de forma aproximada en función de parámetros como: la superficie de los locales, tipo de local, etc.

Pero la instalación no se dimensiona para que soporte la potencia instalada sino la Potencia de Cálculo o Potencia Total Prevista, la cual se obtiene de aquella aplicándola unos factores de corrección. Los más importantes son:

- Factor de simultaneidad:

Es un factor inferior a la unidad que tiene en cuenta que no todas las cargas están funcionando simultáneamente.

- Factor de utilización:

Es un factor inferior a la unidad que tiene en cuenta que una carga no siempre funciona con su potencia máxima.

- Factor de mayoración:

Es un factor superior a la unidad que se aplica a cierto tipo de cargas para tener en cuenta el consumo de sus equipos auxiliares o que en ciertos momentos puede consumir una potencia mayor que la asignada, etc.

A.2. PREVISIÓN DE CARGAS EN EDIFICIOS (ITC-BT-10)

A.2.1. Sistemas de distribución para edificios

La ITC-BT-10 establece la siguiente clasificación de los lugares de consumo:

- Edificios destinados principalmente a viviendas
- Edificios comerciales o de oficinas
- Edificios destinados a una industria específica
- Edificios destinados a una concentración de industrias

A.2.2. Cálculo de cargas en un edificio destinado preferentemente a viviendas

La previsión de carga de un edificio destinado preferentemente a viviendas se obtiene mediante esta suma:

$$P_T = P_V + P_{SG} + P_{LC} + P_G$$

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Tabla A.I: Coeficiente según el número de viviendas (ITC-BT-10)

Nº Viviendas (n)	Coeficiente
1	1
2	2
3	3
4	3,8
5	4,6
6	5,4
7	6,2
8	7
9	7,8
10	8,5
11	9,2
12	9,9
13	10,6
14	11,3
15	11,9
16	12,5
17	13,1
18	13,7
19	14,3
20	14,8
21	15,3
n>21	$15,3 + (n-21).0,5$

donde:

- P_T Potencia Total Prevista
- P_V Potencia Prevista para las Viviendas
- P_{SG} Potencia Prevista para los Servicios Generales
- P_{LC} Potencia Prevista para los Locales Comerciales y Oficinas
- P_G Potencia Prevista para los Garajes

Tabla A.II: Escalones de potencia en suministros monofásicos

Electrificación	Potencia (W)	Calibre del IGA (A)
Básica	5 750	25
	7 360	32
Elevada	9 200	40
	11 500	50
	14 490	63

La **carga correspondiente a un conjunto de viviendas P_v** se obtiene de esta manera:

- 1- Se determina la potencia máxima de cada vivienda de acuerdo con su grado de electrificación según la ITC-BT-25 (véase la Tabla A.II).
- 2- Se calcula la media de estas potencias máximas de todas las viviendas.
- 3- Se multiplica este valor medio por el coeficiente indicado en la tabla A.I en función del número de viviendas. Este coeficiente incluye el factor de simultaneidad de las viviendas.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

En el caso de edificios cuya instalación esté prevista para la aplicación de la tarifa nocturna, el factor de simultaneidad será 1. Es decir, el coeficiente a aplicar no será el de la tabla A.I, sino que será igual al número de viviendas.

A estos efectos la ITC-BT-25 señala que el grado de electrificación de una vivienda será *electrificación elevada* cuando se cumpla, al menos, una de las siguientes condiciones:

- superficie útil de la vivienda superior a 160 m².
- si está prevista la instalación de aire acondicionado.
- si está prevista la instalación de calefacción eléctrica.
- si está prevista la instalación de sistemas de automatización.
- si está prevista la instalación de una secadora.
- si el número de puntos de utilización de alumbrado es superior a 30.
- si el número de puntos de utilización de tomas de corriente de uso general es superior a 20.
- si el número de puntos de utilización de tomas de corriente de los cuartos de baño y auxiliares de cocina es superior a 6.

Ejemplo 1:

Edificio de dos plantas de pisos, con cuatro viviendas por planta de 100 m² cada una y una planta ático con dos viviendas de 200 m² cada una. Las viviendas de la primera planta tienen su instalación eléctrica prevista para aplicarles la tarifa nocturna.

Las viviendas de 100 m² no disponen de previsión de aire acondicionado, ni previsión de sistema de calefacción eléctrica y no está prevista la instalación de receptores especiales. Por lo tanto, según la ITC-BT-25, se toma el grado de electrificación básica, con una la previsión de carga de 5750 W por vivienda (Tabla A.II) ya que no se conoce la previsión exacta de demanda eléctrica.

Para las dos viviendas del ático, aunque no tienen previsión de aire acondicionado, ni previsión de sistema de calefacción eléctrica, al ser la superficie superior a 160 m², según la ITC-BT-25, se toma el grado de electrificación elevada, con una la previsión de carga de 9200 W por vivienda (Tabla A.II) ya que no se conoce la previsión exacta de demanda eléctrica.

La media de las potencias máximas de todas las viviendas, excepto las cuatro con tarifa nocturna, vale:

$$\frac{4 \cdot 5750 + 2 \cdot 9200}{4 + 2} = 6900 \text{ W}$$

Para estas 6 viviendas, la tabla A.I da un coeficiente de 5,4. Luego, la previsión de cargas del conjunto de estas viviendas es:

$$P_{V1} = 5,4 \cdot 6900 = 37260 \text{ W} = 37,26 \text{ kW}$$

Por otra parte, a las 4 viviendas con tarifa nocturna se les aplica un factor de simultaneidad igual a 1. Luego, el conjunto de estas 4 viviendas tiene una previsión de carga de

$$P_{V2} = 4 \cdot 5750 = 23000 \text{ W} = 23 \text{ kW}$$

La previsión de carga de todas las viviendas vale

$$P_V = P_{V1} + P_{V2} = 37,26 + 23 = 60,26 \text{ kW}$$

La **carga correspondiente a los servicios generales P_{SG}** será la suma de la potencia prevista en ascensores, aparatos elevadores, centrales de calor y frío, grupos de presión, alumbrado de portal, caja de escalera y espacios comunes y en todo el servicio eléctrico general del edificio sin aplicar ningún factor de reducción por simultaneidad (factor de simultaneidad = 1).

La carga correspondiente a **ascensores y montacargas**, si no se conoce la potencia del ascensor a instalar, se puede determinar mediante las tablas de la Norma Tecnológica de la Edificación ITE-ITA (Tabla A.III).

Para el **alumbrado** de portal y otros espacios comunes se puede estimar una potencia de 15 W/m² si las lámparas son incandescentes y de 8 W/m² si son fluorescentes. Para el alumbrado de la caja de escalera se puede estimar una potencia de 7 W/m² para incandescencia y de 4 W/m² para alumbrado con fluorescencia.

La **carga correspondiente a los locales comerciales y oficinas P_{LC}** se calculará considerando un mínimo de 100 W por metro cuadrado y planta, con un mínimo por local de 3450 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

Tabla A.III: Previsión de potencia para aparatos elevadores

Tipo de aparato elevador	Carga (kg)	Nº de personas	Velocidad (m/s)	Potencia (kW)
ITA-1	400	5	0,63	4,5
ITA-2	400	5	1,00	7,5
ITA-3	630	8	1,00	11,5
ITA-4	630	8	1,60	18,5
ITA-5	1000	13	1,60	29,5
ITA-6	1000	13	2,50	46,0
ITA-7	1600	21	2,50	73,5
ITA-8	1600	21	2,50	103,0

Ejemplo 2:

Edificio con dos locales comerciales y dos oficinas, en el que se desconoce la previsión real de carga de los locales:

	Superficie (m ²)	Previsión real de carga (W)	Previsión con 100 W/m ²	Previsión carga (W)
local 1	25	desconocida	2500	3450
local 2	50	desconocida	5000	5000
oficina 1	200	35000	20000	35000
oficina 2	125	10000	12500	12500
Carga total (coeficiente 1)				55950

La última columna (Previsión de carga) se obtiene tomando para cada carga el mayor de los valores de las columnas 3ª (Previsión real) y 4ª (Previsión con 100 W/m²), teniendo en cuenta, además, un mínimo de 3450 W.

La **carga correspondiente a los garajes P_G** se calculará considerando un mínimo de 10 W por metro cuadrado y planta para garajes de ventilación natural y de 20 W para los de ventilación forzada, con un mínimo de 3450W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

Cuando en aplicación del CTE-DB-HS3 [32] sea necesario un sistema de ventilación forzada para la evacuación de humos de incendio, se estudiará de forma específica la previsión de cargas de los garajes.

A.2.3. Cálculo de cargas en edificios comerciales, de oficinas o destinados a una o varias empresas

En general, la demanda de potencia determinará la carga a prever en estos casos que no podrá ser nunca inferior a los siguientes valores:

- **Edificios comerciales o de oficinas**

Se calculará considerando un mínimo de 100 W por metro cuadrado y planta, con un mínimo por local de 3450 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1 (al igual que en edificios destinados preferentemente a viviendas).

- **Edificios destinados a concentración de industrias**

Se calculará considerando un mínimo de 125 W por metro cuadrado y planta, con un mínimo por local de 10350 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1.

A.2.4. Factor de potencia ($\cos \phi$)

Cuando no se conoce el factor de potencia de una instalación se pueden utilizar los siguientes valores orientativos:

Para la Línea General de Alimentación (LGA):

- Edificio destinado a un sólo local comercial: factor de potencia = 0,8
- Edificio destinado a varios locales comerciales: factor de potencia = 0,85
- Edificio destinado a viviendas y locales comerciales: factor de potencia = 0,9
- Edificio destinado sólo a viviendas: factor de potencia = 0,9

Para las Derivaciones individuales (DI):

- Monofásicas: factor de potencia = 1
- Trifásicas: factor de potencia = 0,8

Ejemplo 3:

Se trata de un edificio de viviendas con dos plantas de pisos, con cuatro viviendas por planta de 100 m² cada una y una planta ático con dos viviendas de 200 m² cada una (similar al ejemplo 1 del apartado A.2.2). Las viviendas de la primera planta tienen su instalación eléctrica prevista para aplicarles la tarifa nocturna. El edificio está dotado de un ascensor de 400 kg de carga de tipo ITA-1, tiene una superficie de portal de 50 m² y la caja de escalera tiene 150 m² y ambos están iluminados con lámparas incandescentes. Este edificio posee las siguientes oficinas y locales comerciales (similares a las del ejemplo 2 del apartado A.2.2):

Un local comercial de 25 m² del que se desconoce su carga real.

Un local comercial de 50 m² del que se desconoce su carga real.

Una oficina de 200 m² que tiene una carga de 35 kW.

Una oficina de 125 m² que tiene una carga de 10 kW.

También existe un garaje de 140 m² con ventilación natural.

De acuerdo con el ejemplo 1, se tiene esta previsión de cargas para las viviendas:

$$P_V = 60,26 \text{ kW}$$

De acuerdo con el ejemplo 2, se tiene esta previsión de cargas para los locales comerciales y las oficinas:

$$P_{LC} = 55,95 \text{ kW}$$

Según la Tabla A.III, se tomará para el ascensor una carga de 4,5 kW.

Dado que el portal está alumbrado con lámparas incandescentes, según el apartado A.2.2, se adoptará una carga de 15 W/m². Por lo tanto, el portal demanda

$$50 \times 15 = 750 \text{ W} = 0,75 \text{ kW}$$

Análogamente, el apartado A.2.2 indica que cuando la caja de escalera se ilumina con lámparas incandescentes se adopta una carga de 7 W/m². Esto da una potencia de

$$150 \times 7 = 1050 \text{ W} = 1,05 \text{ kW}$$

En consecuencia, los servicios generales demandan una potencia total de

$$P_{SG} = 4,5 + 0,75 + 1,05 = 6,30 \text{ kW}$$

Según el apartado A.2.2, para un garaje con ventilación natural se adoptará una carga de 10 W/m², lo que da lugar a una potencia de:

$$140 \times 10 = 1400 \text{ W} = 1,40 \text{ kW}$$

Como la potencia mínima para un garaje es de 3450 W, se tomará $P_G = 3,45 \text{ kW}$.

La Potencia Total Prevista vale, pues:

$$P_T = P_V + P_{SG} + P_{LC} + P_G = 60,26 + 6,30 + 55,95 + 3,45 = 125,96 \text{ kW}$$

Como la Potencia Total Prevista es inferior a 150 kW, según las NTE-IEB [8], se utilizará un único Cuadro General de Protección (CGP) y una única Línea General de alimentación (LGA).

Dado que el factor de potencia de esta instalación no se conoce, se adoptará un valor orientativo de 0,9 (apartado A.2.4). Por lo tanto, la corriente en el CGP y en la Línea General de Alimentación (LGA), que son trifásicos, vale

$$I_{LGA} = \frac{P_{LGA}}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \phi_{LGA}} = \frac{125960}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 202 \text{ A}$$

Las derivaciones individuales a las viviendas del ático deben alimentar una potencia de 9200 W (véase el ejemplo 1). Según el apartado A.2.4 se adoptará un valor igual a 1 para el factor de potencia. Luego, su corriente vale

$$I_{DI} = \frac{P_{DI}}{V \cdot \cos \phi_{DI}} = \frac{9200}{230 \cdot 1} = 40 \text{ A}$$