UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Avda. Fernando Ballesteros,2
37700 BÉJAR
Fax 923 40 81 27
Telf. 923 40 80 80

ÁREA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

INSTALACIONES ELÉCTRICAS ESPECIALES

ASIGNATURA OPTATIVA DE 4º CURSO DEL GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TEMA 2
Instalaciones eléctricas generales

APUNTES Y MATERIALES PARA SEGUIR LA ASIGNATURA

CURSO 2021-22

Norberto Redondo Melchor
Profesor Ayudante
Ingeniero Industrial
Doctor por la Universidad de Salamanca

ÍNDICE

2. INSTALACIONES ELÉCTRICAS GENERALES 24

1 Nociones de redes de distribución en baja tensión. Acometidas eléctricas 24

2 Cajas generales de protección. Línea general de alimentación. Equipos de medida. Derivaciones individuales 27

3 Protección contra contactos directos e indirectos. Cálculo y diseño de cuadros de protecciones 29

3.1 Protección por corte automático de la alimentación 30

3.1.1 Cortocircuitos y sobrecargas 30

3.1.2 Derivaciones a tierra 32

3.2 Diseño de protecciones eléctricas 39

4 Nociones de cálculo de potencias y previsión de cargas 24

4.1 Previsión de cargas 24

4.2 La instrucción técnica ITC-BT 10 26

5 Nociones de cálculo de conductores. Diseño de circuitos 45

5.1 Selección de conductores 45

5.2 Diseño de circuitos por verificación de secciones 46

6 Receptores 47

© NRM 2012-2022

2. INSTALACIONES ELÉCTRICAS GENERALES

1 NOCIONES DE CÁLCULO DE POTENCIAS Y PREVISIÓN DE CARGAS

1.1 Previsión de cargas

La previsión de cargas consiste en estimar la potencia que la red de distribución de energía eléctrica será capaz de proporcionar en cada punto en condiciones de seguridad para las personas y los materiales.

También se denomina previsión de cargas a la lista de los receptores conocidos, con su potencia nominal, incluyendo los circuitos que se dejan previstos para alimentar otros receptores no conocidos.

A la hora de hacer una previsión de cargas adecuada para una instalación nueva o para la reforma de una existente, deben tenerse en consideración conceptos como:

- Las características de los conductores, que deben ser adecuadas para la carga a soportar.
- Las protecciones de los circuitos, que deben permitir el suministro de potencia a esas cargas sin poner en peligro ni las personas ni las instalaciones.
- La máxima capacidad de absorber energía de la red que tiene toda la instalación en su conjunto, que deberá ser comunicada a las autoridades competentes para la oportuna 'legalización' de lo ejecutado.
- La solicitud que debe hacerse a la compañía distribuidora para lograr todo el suministro pretendido.
- Los parámetros del contrato con la compañía comercializadora del suministro, que fijarán una buena parte del precio final de la energía eléctrica.
- Las necesidades mínimas e irrenunciables de potencia de la instalación receptora.

Se definen así los siguientes conceptos o potencias a tener en cuenta:

P_i	Potencia instalada	Es la potencia nominal de cada receptor, o la suma de las potencias nominales de los receptores agrupados en un circuito. Determina el calibre mínimo de los conductores (cálculo de su sección) y condiciona su tipo y modo de instalación.
P_{sim}	Potencia simultánea	Es la máxima que debe suministrar un circuito, limitada por su protección magnetotérmica o fusible de cabecera. A partir de esta potencia se eligen seleccionan

		los calibres de dichas protecciones.
P_{ad}	Potencia admisible	La potencia admisible se refiere a toda la instalación, y se denomina en el RBT como potencia admisible por la instalación. Viene limitada por el elemento singular más restrictivo de la cabecera de la red interior, normalmente el interruptor automático magnetotérmico general, aunque podrían ser los fusibles o, en ocasiones, la sección de la línea general de alimentación o de la derivación individual.
P_{ac}	Potencia de acometida	Potencia solicitada a la compañía distribuidora para la asignación del complemento por el uso de la red (peajes) y que fija las tasas por acometida, enganche y verificación para nuevos suministros o modificación de los existentes.
P_c	Potencia contratada	Potencia asignada al contrato de suministro con la comercializadora, que determina directa o indirectamente el pago por potencia en cada factura eléctrica.
P_{ss}	Potencia mínima	Potencia mínima necesaria e irrenunciable de la instalación, porque alimenta cargas cuyo funcionamiento es esencial. También puede denominársela como potencia del suministro de socorro, que puede obtenerse a través de una fuente distinta, como una nueva acometida o un grupo electrógeno autónomo.

Se cumplirá en general que

$$P_i \geq P_{sim} \geq P_{ad} \geq P_{ac} \geq P_c \geq P_{ss}$$

OBSERVACIONES:

Generalmente se considerará que la potencia nominal de la instalación es P_{ad}.

La potencia instalada se averigua por simple inspección de la placa de características de cada receptor, o bien por un método similar.

La potencia simultánea es un parámetro difícil de determinar en muchas ocasiones. El único método válido para estimarla es reflexionar con prudencia y sensatez qué suministros deben ser necesariamente alimentados a la vez por la instalación, es decir, cuáles resultarán necesariamente simultáneos y cuáles pueden no serlo. Cuanto más grande es una instalación, más próxima a 0.60 debería resultar la relación P_{ad} / P_i, también conocida por coeficiente de simultaneidad. Este coeficiente alcanza como mucho el valor 1.00 en aquel circuito que deba permitir la alimentación simultánea del 100% de la potencia instalada.

EJEMPLO:

Imaginemos una lista de receptores conocidos y circuitos de alimentación de

receptores desconocidos, que representa una potencia instalada de 100 kW.

Imaginemos que el coeficiente de simultaneidad resultante es de 0.71, obtenido tras las oportunas reflexiones y plenamente justificable con criterios de sentido común.

La instalación no puede funcionar con menos de 30 kW en ningún caso.

Tenemos entonces que:

P_i	Potencia instalada	100 kW
P_{sim}	Potencia simultánea	P_i x cs = 100 x 0.71 = 71 kW
P_{ad}	Potencia admisible	Interruptor general de 100 A (calibre comercial $P_{ad} = \sqrt{3}\, U_n\, I_{max} = \sqrt{3}\, 400(\mathrm{V})\, 100(\mathrm{A}) = 69.3\,\mathrm{kW}$
		El factor de simultaneidad resultante es realmente de 0.693, que es un valor próximo al deseado y que se da por bueno.
		Los datos disponibles permiten deducir que
P_{ss}	Potencia mínima	30 kW
		A la compañía distribuidora habrá que solicitarle, entonces,
P_{ac}	Pot. de acometida	Al menos 30 kW, y hasta un límite de 69.3 kW para hacer valer la desigualdad $P_{ad} \geq P_{ac} \geq P_c \geq P_{ss}$.
		La potencia a contratar a la comercializadora será, pues, menor incluso de los 69.3 kW. En general es conveniente decantarse por una cifra baja, y luego ir subiendo a medida que se comprueba cómo funciona realmente la instalación y cuál es la potencia media que absorbe.
P_c	Pot. a contratar	60 kW inicialmente

1.2 La instrucción técnica ITC-BT 10

La ITC BT 10 orienta mínimamente sobre cómo proceder para estimar la potencia pero no aclara cuál de todas las potencias definidas más arriba. Una interpretación del lado de la seguridad conduce a pensar que, en general, se trata de la potencia admisible P_{ad}.

Tratándose de viviendas los criterios son más claros. En edificios comerciales, oficinas e industrias, se proporcionan dos criterios:

- El principal, que consiste en que la demanda de potencia determine la carga a prever (art. 4).
- Subsidiariamente, pero actuando como mínimo, un criterio basado en la superficie de los edificios, que se aplica como baremo para estimar la capaci-

dad de los conductores de las acometidas e instalaciones de enlace (art. 5).

De manera que en instalaciones especiales el criterio fundamental es estimar la demanda de potencia como se ha visto en la sección anterior, pero la línea general de alimentación o la derivación individual, más todos sus complementos (equipo de medida y caja general de protección), deberán ser capaces de soportar una carga equivalente a 100 W/m^2 y planta en edificios comerciales y oficinas, y 125 W/m^2 y planta en edificios industriales.

2 NOCIONES DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN. ACOMETIDAS ELÉCTRICAS

La red de distribución pública de energía eléctrica en baja tensión es propiedad de una empresa distribuidora autorizada, que ostenta el monopolio territorial de su zona y, por lo tanto, es la única competente para efectuar las conexiones con los equipos de protección y medida de los abonados.

En consecuencia, las redes de distribución de las citadas compañías se ejecutan, modifican y mantienen con arreglo a su normativa particular. Ello no las exime de cumplir también los objetivos del Reglamento para Baja Tensión, pero este cumplimiento generalmente se logra ya mediante la aplicación de la normativa particular.

La acometida es la parte de la instalación pública de distribución en baja tensión que, perteneciendo a la empresa distribuidora, conecta directamente con la caja general de protección (CGP) de la instalación de los abonados.

Puede tener forma de una línea general con entrada y salida en la CGP, en cuyo interior se efectúa la derivación hacia la instalación interior.

Puede ser aérea o subterránea.

Las acometidas viene definidas en la normativa particular de las empresas distribuidoras. Puede consultarse la norma Iberdrola MT 2.03.20 ed 07, marzo 2004, cuyo extracto figura en el tema 1 de estos apuntes.

3 CAJAS GENERALES DE PROTECCIÓN. LÍNEA GENERAL DE ALIMENTACIÓN. EQUIPOS DE MEDIDA. DERIVACIONES INDIVIDUALES

Estos elementos definen las *instalaciones de enlace* que hay que consultar en las ITCs del Reglamento números 12 y siguientes.

Sin embargo, existen varias Guías Técnicas de aplicación sobre instalaciones de enlace, las Guía-BT-12 a Guía-BT-16, a partir de las cuales deben estudiarse estos elementos generales de cualquier instalación.

Guía-BT-12	Instalaciones de enlace. Esquemas
Guía -BT-13	Instalaciones de enlace. Cajas generales de protección
Guía -BT-14	Instalaciones de enlace. Línea general de alimentación
Guía -BT-15	Instalaciones de enlace. Derivaciones individuales
Guía -BT-16	Instalaciones de enlace. Contadores: Ubicación y sistemas de instalación

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA	**GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: INSTALACIONES DE ENLACE** ESQUEMAS	GUIA - BT-12 Edición: sep 03 Revisión: 1

1. INSTALACIONES DE ENLACE

1.1 Definición

Se denominan instalaciones de enlace, aquellas que unen la caja general de protección o cajas generales de protección, incluidas éstas, con las instalaciones interiores o receptoras del usuario.

Comenzarán, por tanto, en el final de la acometida y terminarán en los dispositivos generales de mando y protección.

Estas instalaciones se situarán y discurrirán siempre por lugares de uso común y quedarán de propiedad del usuario, que se responsabilizará de su conservación y mantenimiento.

La acometida (ver ITC 11) no forma parte de las instalaciones de enlace, y es responsabilidad de la empresa suministradora..

1.2 Partes que constituyen las instalaciones de enlace

- Caja General de Protección (CGP)
- Línea General de Alimentación (LGA)
- Elementos para la Ubicación de Contadores (CC)
- Derivación Individual (DI)

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA	**GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: INSTALACIONES DE ENLACE** CAJAS GENERALES DE PROTECCIÓN	GUIA - BT-13 Edición: sep 03 Revisión: 1

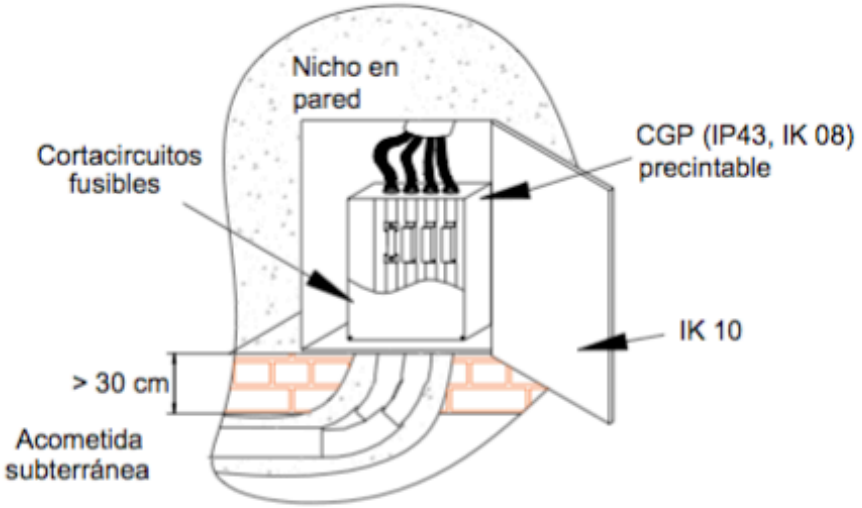


Figura A:. Ejemplo de caja general de protección (CGP) con acometida subterránea.

Producto		*Norma de aplicación*
CGP (Conjunto de aparamenta)		*UNE-EN 60439-1*
	Caja (para conjunto de aparamenta) de Clase II	*UNE-EN 60439-1*
	Cartuchos fusibles y bases abiertas	*UNE-EN 60269 (serie)*
	Bases cerradas (BUC) con contactos fusibles de cuchilla	*UNE-EN 60269 (serie)* *UNE-EN 60947-3*
Tubos	*Rígido, hasta 2,5 m de altura, 4421*	*UNE-EN 50086-2-1*
	Rígido 4321	
	Enterrado (Acometida subterránea)	*UNE-EN 50086-2-4*

Nota 1: Los diferentes componentes que conforman una CGP (caja y fusibles) deberán cumplir con su correspondiente norma de producto. Cuando se comercializan montados, todos estos elementos, constituyen el conjunto de aparamenta y deberán cumplir con las prescripciones de la norma (UNE-EN 60439-1).
Nota 2: El grado de protección IP43, el grado de protección contra los impactos mecánicos externos IK08 y el grado de inflamabilidad se verificarán de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 50298. El grado de inflamabilidad será:
- *(960 ± 10) ºC para las partes que soportan partes activas*
- *(650 ± 10) ºC para todas las demás partes*

4 PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

La protección eléctrica se confía a muchos elementos y de distinta naturaleza:

- Materiales aislantes
- Redes de materiales conductores equipotenciales
- Alejamiento, barreras físicas, distancia
- Conexión a tierra de partes activas de la instalación (neutro)
- Fusibles
- Interruptores automáticos magnetotérmicos
- Interruptores automáticos diferenciales

Lo habitual es situar los interruptores automáticos en armarios o cuadros eléctricos que pueden estar empotrados o en montaje superficial, normalmente con puerta y a veces cerradura.

Se deben instalar siguiendo las prescripciones de la ITC BT-17 o técnicas de seguridad equivalente.

En la sección siguiente veremos el fundamento de la protección que ofrecen frente a contactos directos (una persona toca una parte activa) como indirectos (el toque se produce con una masa metálica normalmente no activa), y también frente a cortocircuitos, sobrecargas y derivaciones a tierra.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA	**GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN: INSTALACIONES DE ENLACE** DISPOSITIVOS GENERALES E INDIVIDUALES DE MANDO Y PROTECCIÓN. INTERRUPTOR DE CONTROL DE POTENCIA	GUIA - BT-17 Edición: sep 03 Revisión: 1

1. DISPOSITIVOS GENERALES E INDIVIDUALES DE MANDO Y PROTECCIÓN. INTERRUPTOR DE CONTROL DE POTENCIA

1.1 Situación

Los dispositivos generales de mando y protección, se situarán lo más cerca posible del punto de entrada de la derivación individual en el local o vivienda del usuario. En viviendas y en locales comerciales e industriales en los que proceda, se colocará una caja para el interruptor de control de potencia, inmediatamente antes de los demás dispositivos, en compartimento independiente y precintable. Dicha caja se podrá colocar en el mismo cuadro donde se coloquen los dispositivos generales de mando y protección.

En viviendas, deberá preverse la situación de los dispositivos generales de mando y protección junto a la puerta de entrada y no podrá colocarse en dormitorios, baños, aseos, etc. En los locales destinados a actividades industriales o comerciales, deberán situarse lo más próximo posible a una puerta de entrada de éstos.

Los dispositivos individuales de mando y protección de cada uno de los circuitos, que son el origen de la instalación interior, podrán instalarse en cuadros separados y en otros lugares.

En locales de uso común o de pública concurrencia, deberán tomarse las precauciones necesarias para que los dispositivos de mando y protección no sean accesibles al público en general.

La altura a la cual se situarán los dispositivos generales e individuales de mando y protección de los circuitos, medida desde el nivel del suelo, estará comprendida entre 1,4 y 2 m, para viviendas. En locales comerciales, la altura mínima será de 1 m desde el nivel del suelo.

1.2 Composición y características de los cuadros.

Los dispositivos generales e individuales de mando y protección, cuya posición de servicio será vertical, se ubicarán en el interior de uno o varios cuadros de distribución de donde partirán los circuitos interiores.

Aplicando el principio de seguridad equivalente, es posible, en instalaciones industriales, que los dispositivos de mando y protección (según la serie UNE-EN 60947) se dispongan en posición horizontal, siempre que dicha posición de montaje esté prevista en las instrucciones de montaje del fabricante del dispositivo de mando y protección, aplicando en su caso, los coeficientes reductores de intensidad que se indiquen en dichas instrucciones.

4.1 Protección por corte automático de la alimentación

Uno de los sistemas para proteger a las personas frente a contactos directos y frente a contactos indirectos es el corte automático de la alimentación.

4.1.1 Cortocircuitos y sobrecargas

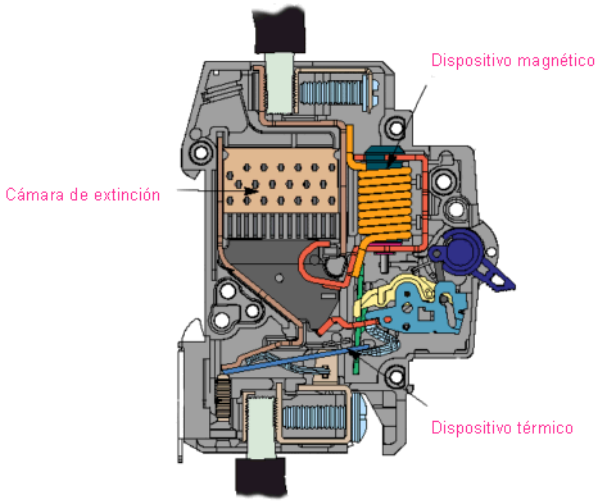
Tanto un contacto directo como uno indirecto pueden causar una sobreintensidad similar a la de cualquier sobrecarga e incluso a la de un cortocircuito.

Para el corte automático de la alimentación en esos casos se emplean interruptores automáticos de tipo magnetotérmico, del número de polos, calibre, capacidad de corte y curva de disparo adecuados. En montaje en carril DIN ocupan desde 1 a 4 módulos de ancho.

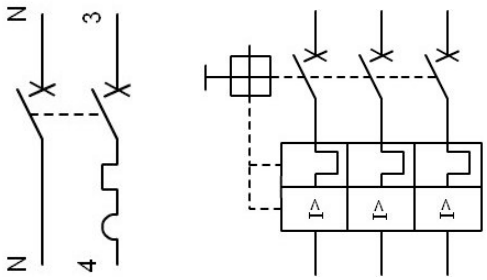
El nombre indica que en su comportamiento, que queda puesto de manifiesto por sus curvas de disparo, hay siempre dos componentes: el magnético y el térmico.

El componente magnético es esencialmente un dispositivo inductivo, como un transformador, que ofrece una potencia eléctrica proporcional a la intensidad del hilo supervisado. Esta potencia es suficiente para hacer saltar el resorte que traba los contactos del interruptor integrado y que los hace abrir de golpe.

El componente térmico es similar a un bimetal que, por calentamiento debido a la intensidad del hilo supervisado, acaba liberando el mismo resorte de antes, abriendo también de golpe el circuito.



Detalles de funcionamiento y composición interna de un interruptor automático magnetotérmico. Extraído de http://www.tuveras.com/aparamenta/magnetotermico.htm



La representación normalizada lleva una indicación del disparo térmico (onda cuadrada) y magnético (onda semicircular).

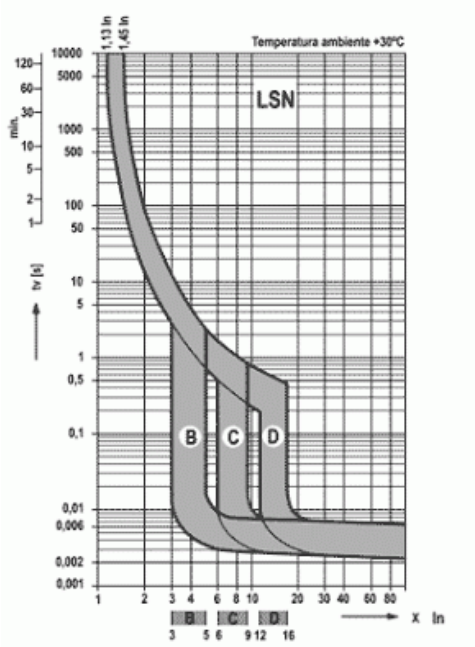
Caben otras representaciones, como la unifilar, donde además se incluyen las características de cada aparato.

El tiempo de respuesta de los interruptores se determina a partir de gráficas en escala bilogarítmica que están normalizadas en EN 60898 y se reconocen por letras.

Curva C: curva de referencia para la protección general de todo tipo de receptores en instalaciones domésticas, terciarias e industriales.

Curva D: suele utilizarse para protección de motores por implicar tiempos de respuesta más largos a pequeñas intensidades (como las del arranque).

Curva B: para la protección de equipos delicados.



La identificación de los magnetotérmicos requiere indicar:

- Número de polos: para expresar cuántos hilos son supervisados por el interruptor. Las posibilidades van de uno a cuatro, con las siguientes variantes: I+N, II, III, III+N, IV.
- Intensidad nominal: aunque hay muchos calibres disponibles, sólo aquellos con elevado grado de utilización (demanda) tienen un precio realmente interesante.

  Calibres disponibles: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 A.

  En gama industrial: 80, 100, 125, 160, 250, 400, 630, 800 A.

  Para altas potencias: 1000, 1250, 1600, 2500 A.
- Curva de disparo: normalmente la C, y a veces la curva D.
- Intensidad de corte: los niveles normalizados son 4.5, 6, 10, 15, 30 kA.

  En altas potencias hay valores de 36, 50, 70, 150 kA.

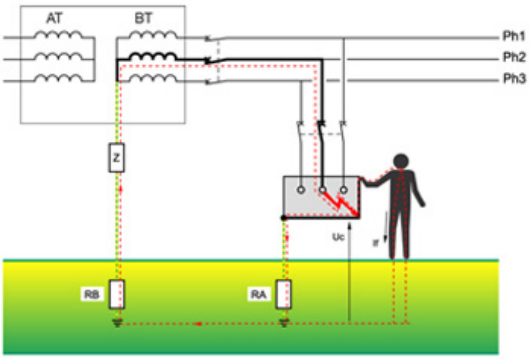
Sobre el número de polos a supervisar, consúltese la tabla 1 de la ITC-BT 22:

Tabla 1.

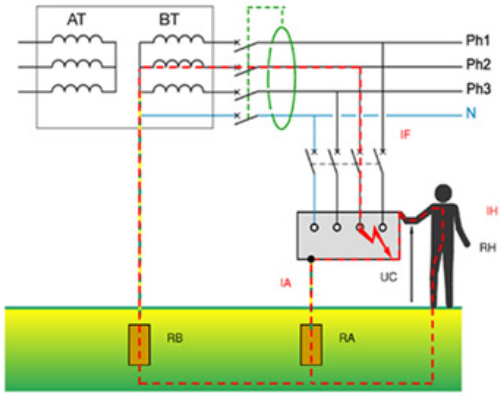
Circuitos	3 F + N								3 F			F + N		2 F	
	$S_N \geq S_F$				$S_N < S_F$										
Esquemas	F	F	F	N	F	F	F	N	F	F	F	F	N	F	F
TN – C	P	P	P	-	P	P	P	- (1)	P	P	P	P	-	P	P
TN – S	P	P	P	-	P	P	P	P (3)(5)	P	P	P	P	-	P	P
TT	P	P	P	-	P	P	P	P (3)(5)	P	P	P (2)(4)	P	-	P	P (2)
IT	P	P	P	P (3)(6)	P	P	P	P (3)(6)	P	P	P	P	P (6)(3)	P	P (2)

4.1.2 Derivaciones a tierra

Es muy frecuente que los contactos directos e indirectos ocasionen derivaciones de corriente a tierra. Empecemos considerando las puestas a tierra de la instalación:



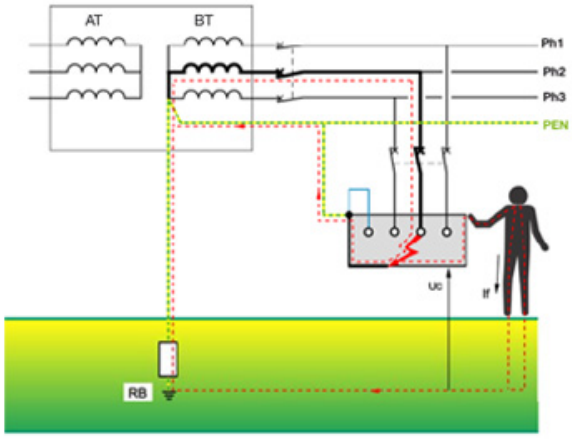
Régimen IT



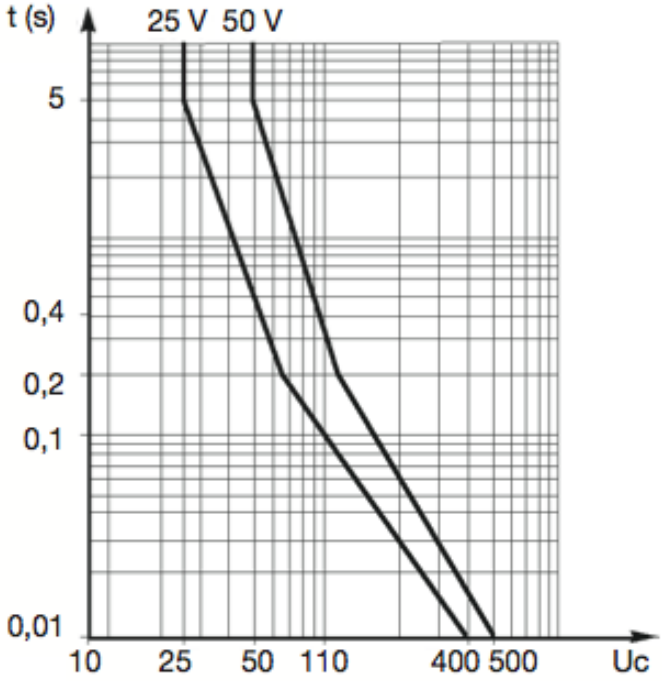
Régimen TT

Según el régimen de puesta a tierra de la instalación a proteger las intensidades de esos defectos a tierra pueden ser grandes, pequeñas o muy pequeñas, pero siempre igualmente peligrosas.

En el reglamento de baja tensión se prefiere fijar umbrales de tensión admisibles por el cuerpo humano en lugar de intensidades, de donde se obtienen las curvas como la de la gráfica de aquí abajo.



Régimen TN-C



En ella, las tensiones aplicadas al cuerpo en caso de defecto se limitan en función del entorno de la instalación según dos curvas, una para zonas secas (50 V) y otra para zonas húmedas (25 V).

En una instalación segura la intensidad de defecto no dará lugar a tensiones superiores a las de la gráfica en la resistencia del defecto, que como mínimo incluye la resistencia de puesta a tierra de la instalación. Esa resistencia debe limitarse a valores lo más pequeños posible, para que ocurra que

$$25(\mathrm{V}) << R_t(\Omega)\, I_d(\mathrm{A})$$

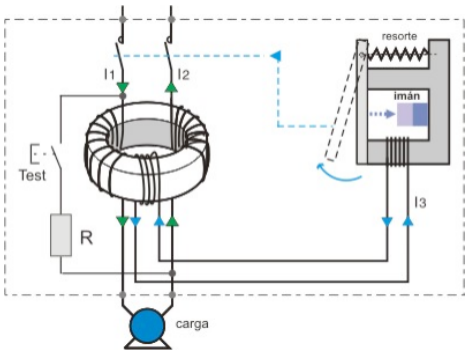
Se considera que una corriente de defecto de más de 500 mA es ya inaceptable, lo que exige que las resistencias de puesta a tierra no superen los 50 Ω en ningún caso. Sin embargo, es usual limitar a valores de 30 mA las intensidades admisibles en receptores domésticos y a 300 mA en receptores de tipo industrial.

La protección contra derivaciones a tierra por corte automático de la alimentación se confía a los interruptores diferenciales. Deben elegirse en función del número de polos y la sensibilidad del disparo. Hay equipos modulares para carril DIN de 2 ó 4 módulos. Cumplen la UNE EN 61008-2.

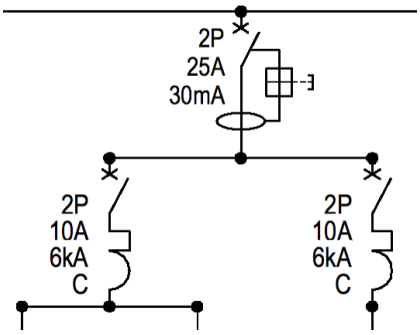
Además hay *bloques diferenciales*, que son un complemento a añadir a un interruptor magnetotérmico normal para añadirle la función de relé diferencial.

También existen modelos que combinan ambos aparatos en un único dispositivo, conforme a la norma UNE EN 61009-1.

El funcionamiento se basa en la primera ley de Kirchhoff: la suma de las intensidades que entran en el nudo situado después del toroidal debe ser cero. Si no lo son es que hay alguna intensidad más que no entra al nudo por el toroidal, y se tratará de una corriente de defecto que es peligrosa y habrá que interrumpir. El relé hace actuar al contacto encargado de ello.



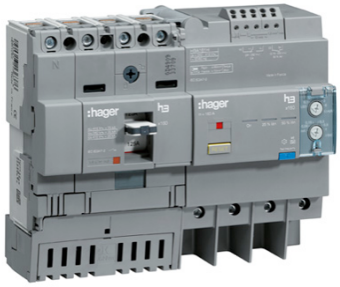
La representación normalizada indica en el esquema unifilar que el relé dispone del toroidal sensible a la suma de intensidades. Además se indica con un aspa la posibilidad de interrumpir corrientes hasta el valor nominal del aparato, si el dispositivo lo permite.



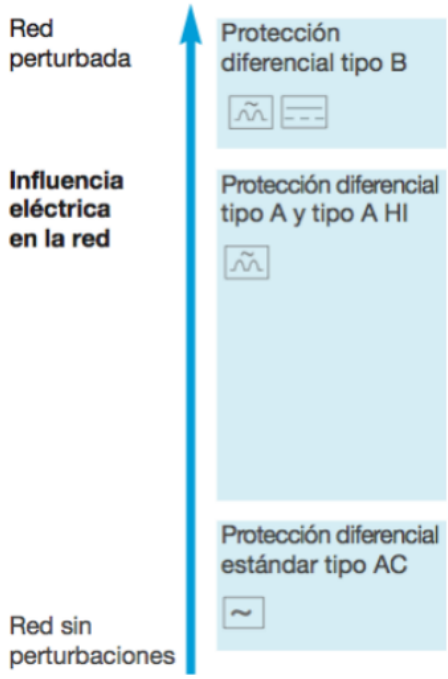
Generalmente se añade un pulsador para señalar no solo la posibilidad de accionamiento manual, sino también la presencia del botón de prueba 'test' que todos deben llevar.

En la ilustración de la izquierda aparece una combinación de interruptor automático diferencial con dos interruptores automáticos magnetotérmicos aguas abajo de él.

El tiempo de respuesta es instantáneo, cuestión de unos pocos milisegundos, siempre cierto cuando la intensidad de defecto supere el umbral de sensibilidad nominal del aparato, y posible en valores próximos a dicho umbral. A mitad del umbral no debe haber disparo. En algunos modelos se pueden ajustar la sensibilidad y el tiempo de disparo utilizando una pequeña herramienta.



La elevada sensibilidad de los diferenciales puede causar disparos intempestivos cuando la corriente de defecto está causada por dispositivos electrónicos funcionando normalmente. Este fenómeno suele darse en instalaciones con varios equipos alimentados desde un mismo interruptor, o bien en instalaciones donde hay muchos aunque estén en diferentes sitios. El tipo de diferencial se elige así:



Tipo AC: interruptores diferenciales de tipo habitual, no especialmente inmunizados.

Tipo A: interruptores con mejor comportamiento frente a corrientes que saturan el núcleo magnético del toroidal (normalmente corrientes continuas), y que consiguen alimentar con más seguridad el mecanismo de disparo.

Tipo B: sensibles a corrientes de defecto habituales, o con elevada componente continua aunque sea pulsante, o con frecuencias distintas de la nominal de la red, o para combinaciones de todas ellas. Suelen utilizarse para proteger circuitos de inversores o variadores electrónicos de velocidad.

Tipo	In (A)	IΔn (A)	Valores normalizados del tiempo (s) de funcionamiento y de no respuesta para una corriente residual con IΔn igual a:				
			IΔ	2IΔn	5IΔn	500A	
General	Cualquier valor	Cualquier valor	0,3	0,1	0,04	0,04	tiempo de funcionamiento máximo
Selectivo	⩾25	> 0,030	0,5	0,2	0,15	0,15	tiempo de funcionamiento máximo
			0,1	0,06	0,05	0,04	tiempo de no respuesta

Según UNE EN 61008 y 61009

La identificación de un interruptor automático diferencial requiere indicar:

- Número de polos: para expresar cuántos hilos son supervisados por el interruptor porque pasan por el transformador toroidal. Las posibilidades son 2P o 4P.

- Intensidad nominal: aunque hay varios calibres disponibles, sólo aquellos con elevado grado de utilización (demanda) tienen un precio realmente interesante.

  Calibres disponibles: 25, 40, 63 A.

  En gama industrial: 80, 100, 125 A.

  Para altas potencias: emplear bloque diferencial.

- Sensibilidad: Valores disponibles: 10, 30, 300, 300, 500 mA.

  Otros valores: en relés ajustables.

- Tipo: si es necesario, indicar el tipo AC, A o B.

Dado que un interruptor diferencial no es una protección frente a cortocircuitos, su poder de corte y de cierre no resultan relevantes. Pero por lo mismo no debe olvidarse combinar adecuadamente uno o varios magnetotérmicos en el circuito protegido por el diferencial, para que asuman la debida protección frente a esos fenómenos.

4.1.3 Protección contra sobretensiones

La instrucción ITC BT-23 trata de la protección de las instalaciones eléctricas interiores contra las sobretensiones transitorias que se transmiten por las redes de distribución y que se originan por descargas atmosféricas sobre redes aéreas, apertura de circuitos fuertemente inductivos y malas conexiones accidentales.

Para reducir las sobretensiones se adopta una estrategia de protección en cascada en varios niveles de protección según UNE-EN 61643-11. En cada nivel (ver tabla) se trata de derivar a tierra la corriente de la intensidad necesaria para disminuir la tensión aguas abajo de la protección a niveles asumibles, y que los equipos de protección no queden destruidos a la primera actuación.

Nivel de protección (*)	Intensidad de descarga a tierra	Ubicación aconsejada
Tipo 1 (basta)	hasta 50 kA	Acometidas en baja tensión y cajas generales de protección
Tipo 2 (media)	hasta 20 kA	Armarios de protecciones en entorno industrial
	hasta 5 kA	Armarios de protecciones en sector terciario
Tipo 3 (fina)	hasta 1 kA	Tomas de corriente y aparatos delicados

(*) Para limitar la corriente aguas abajo a 1,5 kV o menos.

La energía proveniente de la perturbación será disipada hacia tierra en la cascada de protecciones instalada, repartiéndose entre todos los descargadores de manera que ninguno quede destruido y la instalación no sufra daños.

En redes TT o IT, los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores, incluyendo el neutro, y la tierra de la instalación. En redes TN-S, los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores de fase y el conductor de protección. En redes TN-C, los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores de fase y el neutro.

En general son aparatos modulares y pueden llevar contactos indicadores de su actuación como el de la Fig. 1.

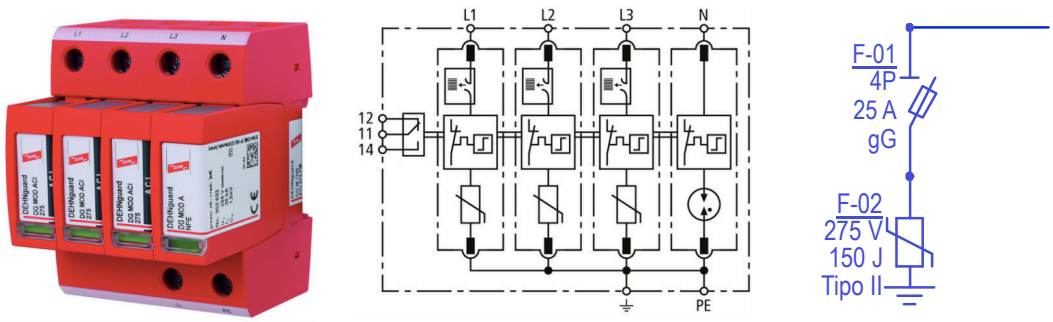
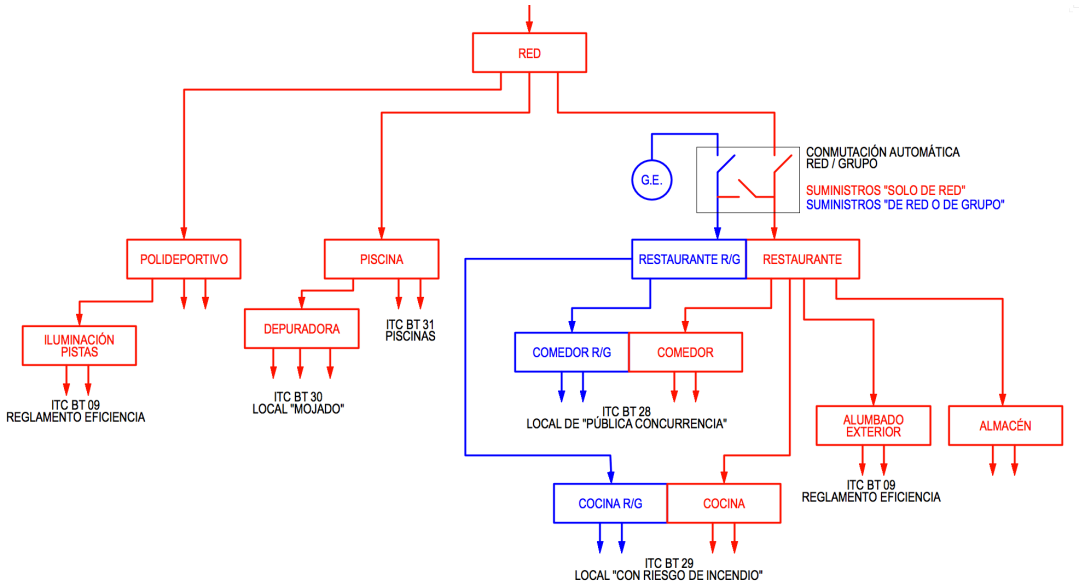


Fig. 1 Descargador de sobretensiones con contacto señalizador. [DEHN]
Y representación unifilar a continuación de un seccionador con fusibles.

5 DISEÑO DE CUADROS DE PROTECCIONES

5.1 Esquema de bloques de toda la instalación

Los diagramas de bloques identifican cuadros de protecciones y líneas generales. Cada bloque debe corresponder con un armario o una parte significativa de alguno más general. En el ejemplo de abajo la mayoría de los bloques en color rojo corresponden a armarios enteros. Pero hay tres que tienen adosados otros tres bloques 'gemelos' en azul: cada pareja representa un armario completo que, en el interior, realmente son dos conjuntos de protecciones distintos, las que se alimentan de la red (en color rojo) y las que se alimentan tanto de la red como del grupo electrógeno 'G.E.' (en color azul). Por eso a cada pareja de bloques le llegan dos líneas de alimentación distintas, una de cada color.



Ejemplo de diagrama de bloques de una instalación pequeña

- Cada bloque corresponde con un cuadro o armario de protecciones eléctricas.

- Cada unión entre bloques corresponde con una línea o circuito.
- Pueden incluise breves referencias que ayuden a interpretar el esquema ("conmutación automática", "nivel -1", "local mojado", etc).

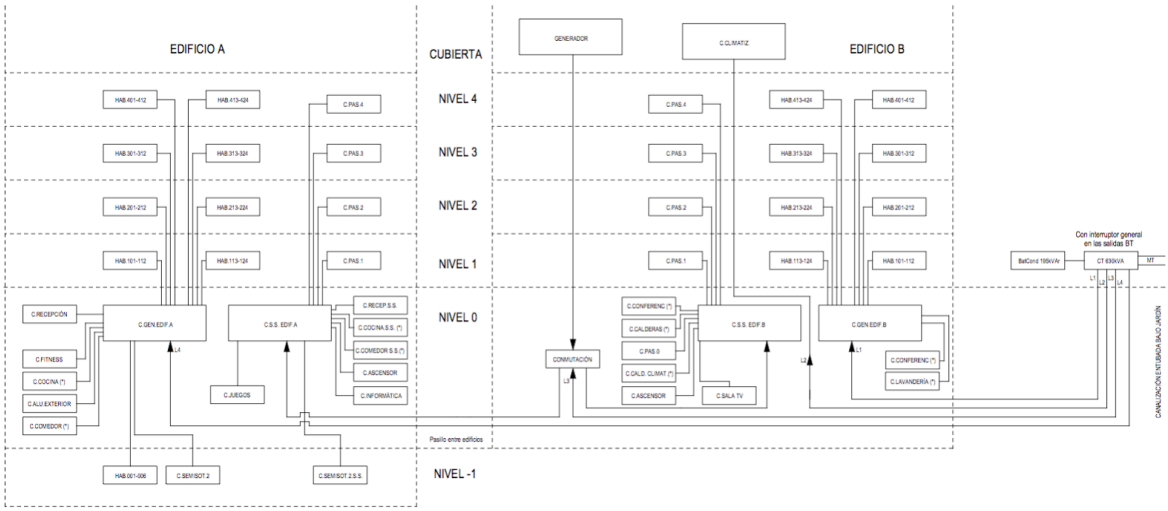
El diagrama a dos colores constituye un buen ejemplo de instalación receptora en baja tensión dotada de un suministro complementario o de socorro: en caso de falta de tensión de red el sistema de conmutación automático causa el arranque del motor auxiliar del grupo electrógeno, normalmente un motor de gasoil, que moviendo un alternador proporciona parte de la potencia eléctrica que necesita la instalación.

Esa potencia estará disponible solo para los circuitos de la 'parte azul' del esquema de bloques, que deberán alimentar equipos sensibles o de especial relevancia, como el alumbrado para evitar el pánico, los ascensores y escaleras mecánicas para facilitar la evacuación, o los sistemas de protección contra incendios, entre otros.

Cuando se recupere la tensión de red el mecanismo de conmutación automático devolverá el suministro a la 'parte roja' manteniendo en servicio también la 'parte azul'.

El resultado habrá sido un corte total y sorpresivo del suministro a toda la instalación a consecuencia del fallo de la red, seguido del arranque en un tiempo breve (de 15 a 30 s) del grupo electrógeno, y la reposición parcial del servicio en los circuitos alimentados desde la 'parte azul'. Al recuperarse la tensión de red todos los circuitos de ambas partes vuelven a estar alimentados con normalidad y el grupo electrógeno dejará de proporcionar energía a la instalación: el alternador es separado de la red interior, el grupo electrógeno pasa al ralentí, y superado el tiempo de enfriamiento programado según el fabricante, el motor de gasoil se detendrá completamente.

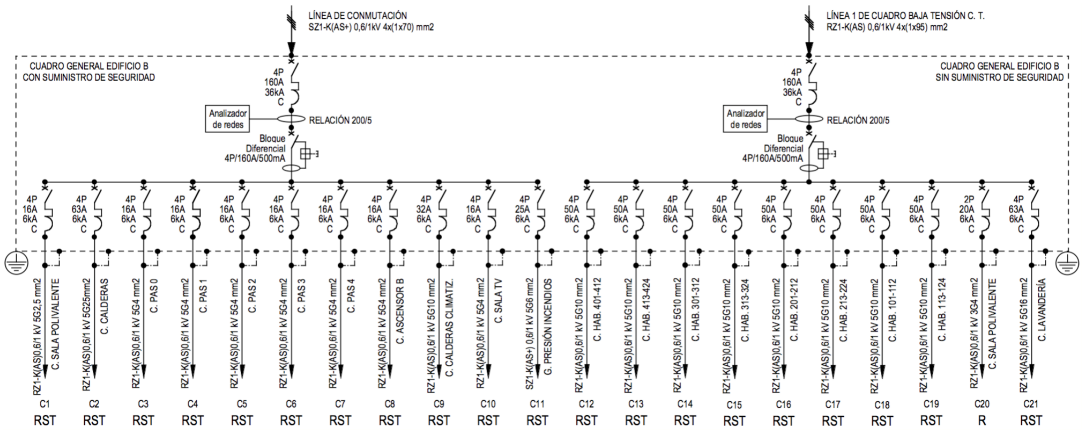
Otro ejemplo similar pero de una instalación más grande (residencia de estudiantes):



Ejemplo de diagrama de bloques de una instalación mayor

El esquema unifilar de abajo corresponde a un único armario de protecciones doble o dividido de los que se indican en el diagrama anterior. Se aprecian las dos líneas

de alimentación y cómo el tramo horizontal o distribuidor de circuitos está interrumpido entre los circuitos marcados como C11 y C12. Esto quiere indicar que los circuitos C1 a C11 se alimentan desde la línea general de la izquierda ('línea de conmutación') y los circuitos de C12 a C21 lo hacen desde la de la derecha ('línea 1 de cuadro de baja tensión C.T.').



Esquema unifilar de una parte del diagrama anterior

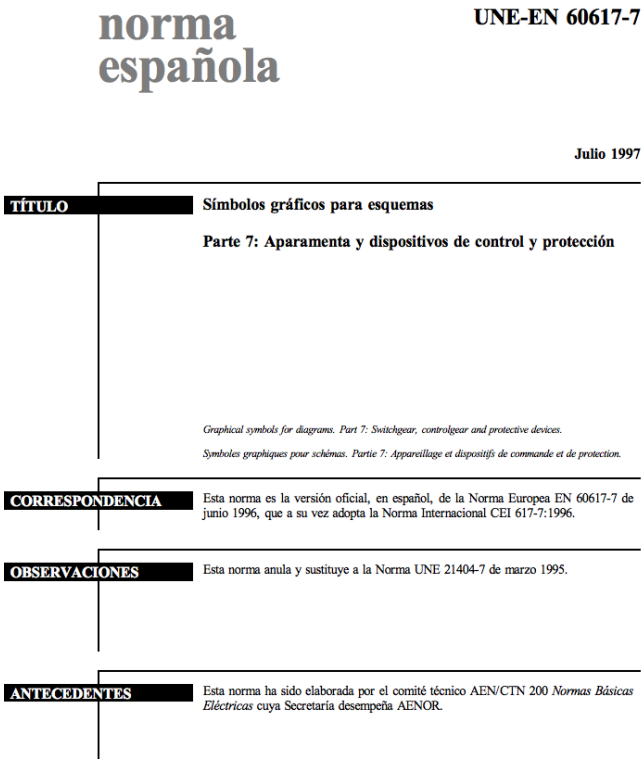
5.2 Diseño de cuadros de protecciones eléctricas

5.2.1 Simbología habitual

Los símbolos gráficos están normalizados por la CEI siguiendo la antigua norma (ya anulada) UNE-EN 60617-7 y forman parte de una base de datos no gratuita disponible en internet.

Los esquemas eléctricos y las anotaciones alfanuméricas sobre ellos deben respetar las reglas de la EN 61082-1. En esta sección veremos un pequeño resumen bastante significativo.

La simbología habitual es la de la figura de la página siguiente donde no se representan nunca todos los hilos conductores de los circuitos, sino sólo uno por cada uno de ellos.



norma española

UNE-EN 60617-7

Julio 1997

TÍTULO **Símbolos gráficos para esquemas**

Parte 7: Aparamenta y dispositivos de control y protección

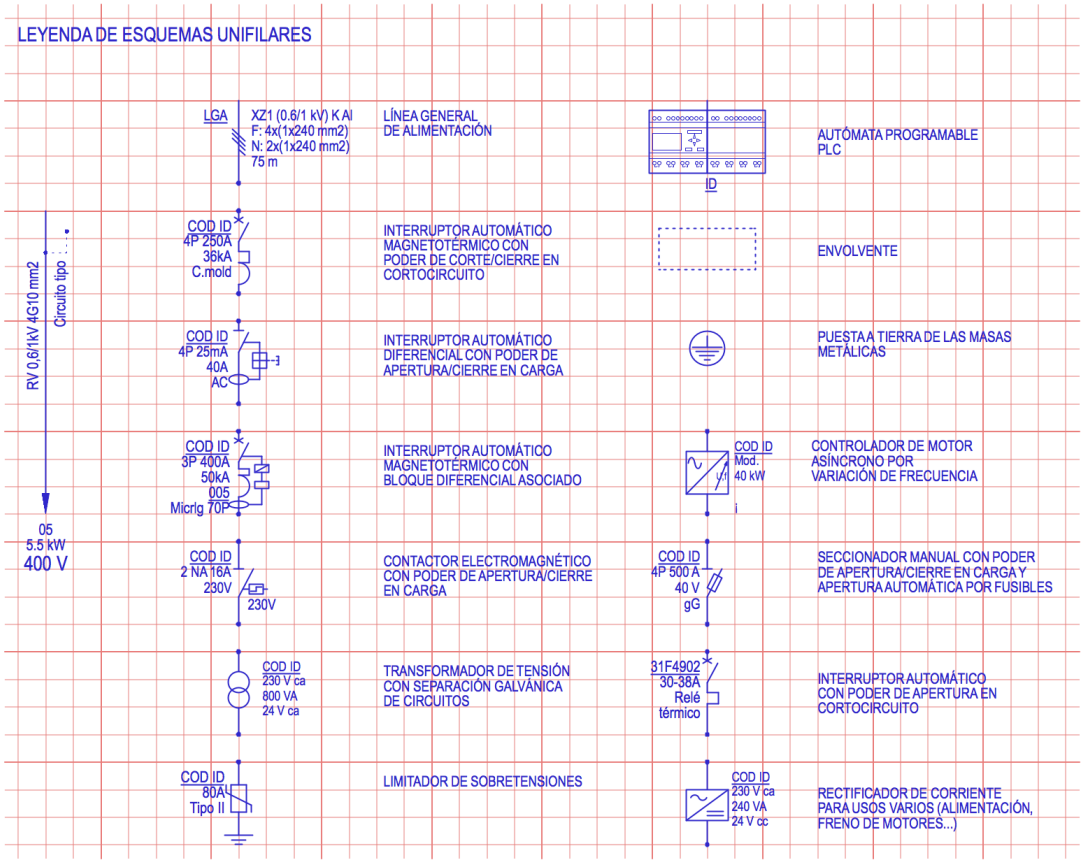
Graphical symbols for diagrams. Part 7: Switchgear, controlgear and protective devices.

Symboles graphiques pour schémas. Partie 7: Appareillage et dispositifs de commande et de protection.

CORRESPONDENCIA Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 60617-7 de junio 1996, que a su vez adopta la Norma Internacional CEI 617-7:1996.

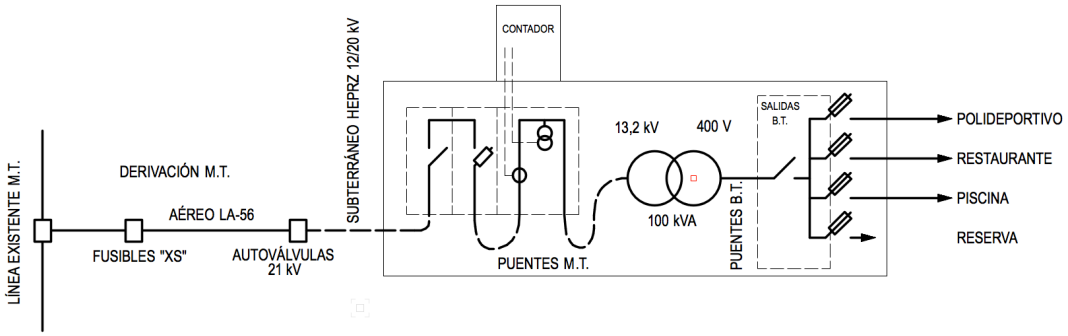
OBSERVACIONES Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 21404-7 de marzo 1995.

ANTECEDENTES Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 200 *Normas Básicas Eléctricas* cuya Secretaría desempeña AENOR.



Simbología habitual en esquemas unifilares.
Retícula 4 x 4 mm.

Pero en muchas otras situaciones, por ejemplo para representar una instalación de media / baja tensión, se utilizan otro tipo de símbolos como en la figura siguiente:



Esquema unifilar de media tensión

5.2.2 Criterios de diseño

Las protecciones eléctricas se deben instalar teniendo en cuenta los criterios de la ITC-BT 24, y también las ITCs 17 y 22 entre otras.

Se distribuirán en cuadros y subcuadros, según un esquema ramificado en forma de árbol invertido, desde un tronco común hacia las ramas que serán los circuitos de utilización finales.

Es preciso respetar ciertas reglas o criterios para llegar a un diseño coherente desde el punto de vista de la seguridad, y fiable desde el punto de vista de la utilización.

CRITERIOS:

Primero: Las protecciones de uso habitual son bastante baratas. Hay que emplear todas las que sean necesarias y, en caso de dudar si una protección es conveniente o no, hay que decidirse por añadirla.

Segundo: Siempre que sea posible deben configurarse sistemas de distribución de energía trifásicos antes que monofásicos. Y los sistemas trifásicos se procurará que queden equilibrados. Solo en caso de que un sistema trifásico sencillo vaya a quedar evidentemente desequilibrado puede estudiarse transformarlo en monofásico.

Tercero: La selectividad entre protecciones magnetotérmicas suele quedar establecida a partir de la jerarquía de sus valores nominales. Por ello las protecciones situadas aguas abajo deben ser más pequeñas que las que se van encontrando al recorrer el árbol del esquema de distribución aguas arriba. La de mayor calibre será la asignada a la protección de todo el sistema de distribución.

Cuarto: La selectividad entre protecciones diferenciales no existe. Por tanto, no pretenda inventarla con protecciones de distinto umbral de sensibilidad o con distinto calibre nominal. Es ridículo.

Por lo tanto son ridículos también los interruptores diferenciales en cascada: sobran todos salvo el situado aguas abajo.

Quinto: La protección contra contactos indirectos por corte automático de la alimentación no es el único modo de protección contra contactos indirectos que existe. El propio RBT ofrece varias alternativas más (ver ITC-BT 24 capítulo 4). De manera que los diferenciales se reservarán para el último lugar, aguas abajo, en que sea posible colocar una protección de este tipo. Aguas arriba de ellos se emplearán otros sistemas reglamentarios.

Sexto: Hay que poner atención en la selección de los calibres de los diferenciales para que no se les obligue nunca a cortar intensidades superiores a su valor nominal. Para ello se utiliza o un magnetotérmico de calibre adecuado en serie, o se comprueba que la suma de intensidades limitadas por los magnetotérmicos aguas abajo no va a superar el calibre del diferencial.

5.2.3 Primer ejemplo de diseño

En la Fig. 2 se muestra un cuadro de protecciones para los 5 circuitos de la tabla de la derecha. La versión de la izquierda presenta los siguientes errores:

Circuito	P_{nom} (kW)	U_{nom} (V)
01	1,5	230
02	6,2	400
03	2,5	230
04	2,0	230
05	3,5	230

1. Q-01 no puede ser monofásico 2P si debe alimentar una carga en el circuito 02 de 400 V que es trifásica. Debe ser trifásico 4P. La línea de alimentación C12 ya es trifásica.
2. Q-02 está sobredimensionado: antes de que dispare por una eventual descarga excesiva del protector contra sobretensiones habrá disparado el interruptor general Q-01 cuyo calibre es de solo 40 A. Se sustituye por un seccionador con fusibles F-01 que facilita el mantenimiento (sustituir el protector de sobretensiones sin tener que abrir Q-01).
3. ID-01 no puede ser de solo 25 A ya que por la fase S la intensidad podría llegar a ser de 32 A (calibre de Q-04) y aguas arriba no hay limitación a 25 A (Q-01 es de 40 A). Deberá ser de 40 A que es el calibre superior disponible.

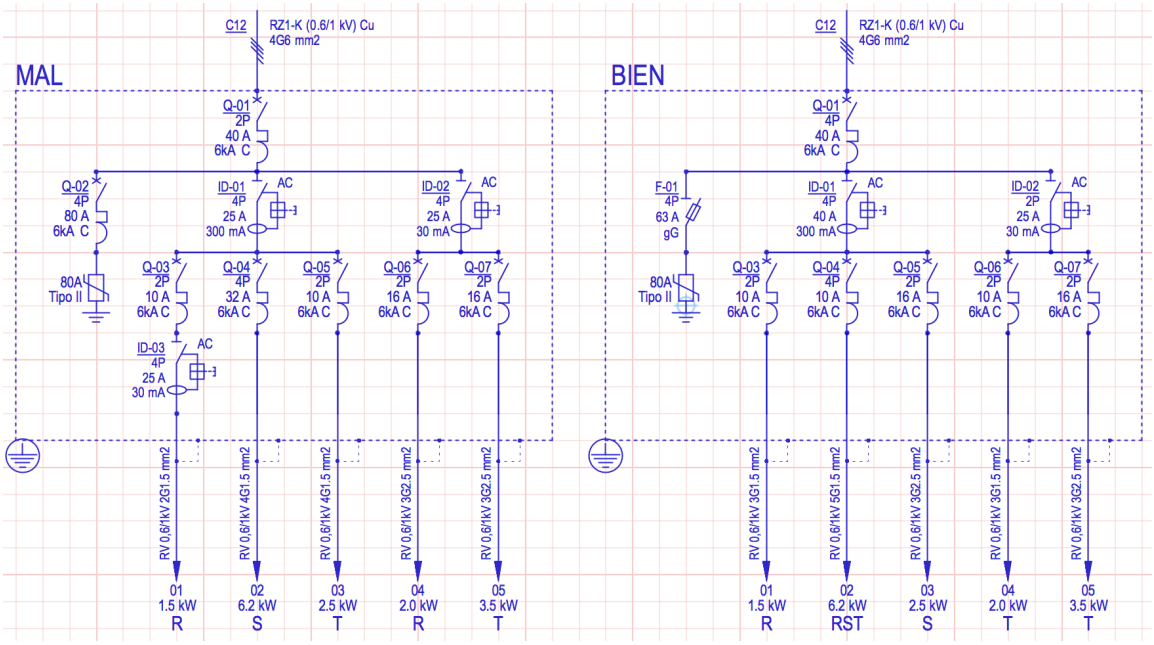


Fig. 2 Ejemplo 1 de cuadro de protecciones eléctricas.
La versión de la izquierda tiene errores.

4. ID-03 está aguas abajo de ID-01 constituyendo una cascada de diferenciales injustificable. Uno de los dos sobra: o bien se une Q-03 al distribuidor a la salida de Q-01 y se deja ID-03, o bien se quita ID-03 (opción representada a la derecha).
5. Q-04 está sobredimensionado: para una potencia trifásica (400 V) de 6,2 kW suelen bastar $I \geq \frac{P}{\sqrt{3}\,U\cos\varphi} = \frac{6200}{\sqrt{3}\times 400\times 1} = 8{,}95\ \text{A} \approx 10\ \text{A}$. Si el receptor tuviera un malísimo factor de potencia podría requerir 16 A, pero no 32 A.
6. Q-05 es pequeño: con el calibre de 10 A solo se pueden alimentar cargas de

$P = V\ I\ \cos\varphi = 230 \times 10 \times 1 = 2300\ \text{W}$, y la carga del circuito 05 es de 2,5 kW. Ha de ser de 16 A. [Nota: Con estos dos últimos cambios sustituir el diferencial ID-01 de 25 A por otro de 40 A que se hizo en el paso nº 3 ya no sería necesario y valdría el original de 25 A].

7. Q-06 es grande: para una carga monofásica de 2,0 kW bastan 10 A. Este cambio beneficia además al punto siguiente.
8. ID-02 es trifásico ya que indica 4P, pero realmente solo se utilizan luego dos fases aguas abajo de él, pues los circuitos 04 y 05 están conectados a las fases R y T dejando libre la S. Se puede sustituir por un diferencial monofásico 2P/25 A más barato, pues la potencia que debe pasar a través del diferencial sería la limitada por el calibre de Q-06 más el de Q-07 (Q-06 se reduce a 10 A por lo dicho antes), es decir, 10 + 16 = 26 A. Hay un amperio de diferencia (26 > 25) entre esa suma y el calibre del diferencial, pero este error es generalmente asumible como excepción.
9. El circuito 01 debe ejecutarse con cable 3G1,5 mm^2, que es una manguera de tres hilos (fase+neutro+protección), pues el esquema indica que ese conductor estará unido al conductor de protección. La manguera 2G1,5 solo tendría dos hilos, uno de protección amarillo-verde y el otro activo, y no se fabrica. Para 1,5 kW la sección de 1,5 mm^2 es correcta.
10. El circuito 02 no se puede ejecutar con cable 4G1,5 mm^2 si el receptor necesita el cable del neutro como es muy habitual: tendrían que ser 5 hilos (tres fases + neutro + protección), es decir, 5G1,5 mm^2. Para un calibre de su protección Q-04 ya corregido a 10 A, la sección de 1,5 mm^2 sería correcta.
11. Como el circuito 02 alimenta una carga trifásica, en el esquema hay que indicar que se conecte a las tres fases, luego debe decir RST y no solo S.
12. El circuito 03 debe emplear manguera de tres hilos 3G2,5 mm^2 porque la carga es monofásica y el conductor debe incorporar el de protección, y porque para 16 A la sección de 1,5 mm^2 es normalmente insuficiente.
13. El circuito 04 debe llevar cable de 1,5 mm^2 para el calibre de 10 A de su protección magnetotérmica Q-06, salvo que por caídas de tensión sea exigible la sección de 2,5 mm^2 que se indica.
14. El circuito 05 no puede conectarse a la fase T si el 04 está en la R: al colgar ambos del mismo diferencial monofásico ID-02 las dos fases deben coincidir. Por intentar equilibrar la instalación, es prudente asignar a ambos la fase T, ya que la R y la S están ya solicitadas por los circuitos 01 y 03 respectivamente.

No hay problemas de selectividad de protecciones: los magnetotérmicos decrecen en calibre a medida que se encuentran más aguas abajo. En este caso solo hay dos niveles, el superior ocupado por Q-01 y el inferior de todos los demás. Como Q-01 es de 40 A y aguas abajo de él son todos de 10 ó 16 A, se cumple este criterio.

Y al retirar uno de los diferenciales en cascada tampoco hay fallos de supuesta selectividad entre diferenciales a este respecto.

El armario que debe contener estos 10 aparatos de protección debe tener 30 módulos normalizados para carril DIN. Se dejará un 20% libre: 36 módulos mínimo.

5.2.4 Segundo ejemplo de diseño

Se trata de diseñar el 'Cuadro General' y el 'Cuadro S-01' correspondiente al diagrama de bloques de la Fig. 3.

Es una instalación de un local de pública concurencia (ITC-BT 28) por lo que debe cumplir ciertas especificaciones como que haya tres circuitos de alumbrado independientes o que todos los circuitos estén protegidos contra sobrecargas en su origen.

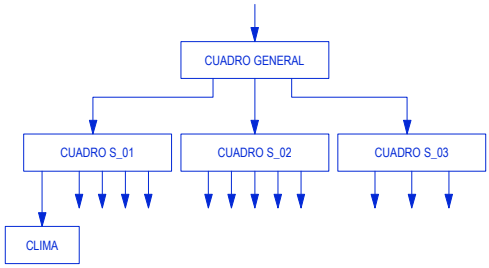


Fig. 3 Diagrama de bloques de la instalación del ejemplo.

Supongamos que del 'Cuadro S-01' se alimentan los 8 circuitos receptores de la tabla siguiente:

##	Descripción	*V* (V)	*P* (W)	fdp	*I* (A)	*I* (A)	Tipo (ºC)	Secc (mm)
CUADRO GENERAL								
01	CUADRO S-01							
02	CUADRO S-02							
03	CUADRO S-03							
CUADRO S-01								
01	Alumbrado I	230	500	0,98	2,2	10	70	1,5
02	Alumbrado II	230	600	0,98	2,7	10	70	1,5
03	Alumbrado III	230	1000	0,98	4,4	10	70	1,5
04	Fuerza I	230		0,90	16	16	70	2,5
05	Fuerza II	230		0,90	16	16	70	2,5
06	Climatización	400	12000	0,85	20,4	25	90	4
07	Máquina I	400	5000	0,80	9,0	10	90	1,5
08	Máquina II	400	8000	0,95	12,2	16	90	1,5

Los datos de partida son las cinco primeras columnas:

- El número de circuito, asignado arbitrariamente.
- La descripción del receptor que alimenta cada uno.
- La tensión nominal: 230 V para receptores monofásicos, 400 V para receptores trifásicos.
- La potencia nominal de cada uno. A los circuitos de fuerza, que son líneas de enchufes, no se les asigna porque no se sabe qué conectará el usuario a cada uno, pero luego se tendrá en cuenta que las tomas de corriente son todas de 16 A como máximo.
- El factor de potencia: 1,00 para resistencias; 0,80 para motores; valores intermedios para otras cargas.

Las cuatro columnas restantes son datos calculados:

- La intensidad que absorbe el receptor, en función de si es monofásico o trifásico: $I_{I+N}(\mathrm{A}) = \dfrac{P_n(\mathrm{W})}{V_n(\mathrm{V})\cos\varphi}$ $\qquad I_{IV}(\mathrm{A}) = \dfrac{P_n(\mathrm{W})}{\sqrt{3}\,U_n(\mathrm{V})\cos\varphi}$
- El calibre I_n(A) de la protección magnetotérmica asociada a ese circuito, que

cumplirá evidentemente que $I_n \geq I$ y será un calibre normalizado.

- El tipo de conductor a emplear:
  - 70ºC: cables de aislamiento PVC o poliolefinas, tipo H07V-K por ejemplo. Identificados como 'PVC' en la tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19.
  - 90ºC: cables de aislamiento de polietileno reticulado 'XLPE' o etileno-propileno 'EPR' de la tabla de la ITC-BT 19.
- La sección del conductor que permite el paso en régimen permanente de la intensidad I_n(A) de la protección magnetotérmica asociada.

Una solución podría ser la representada en los esquemas unifilares de la Fig. 4.

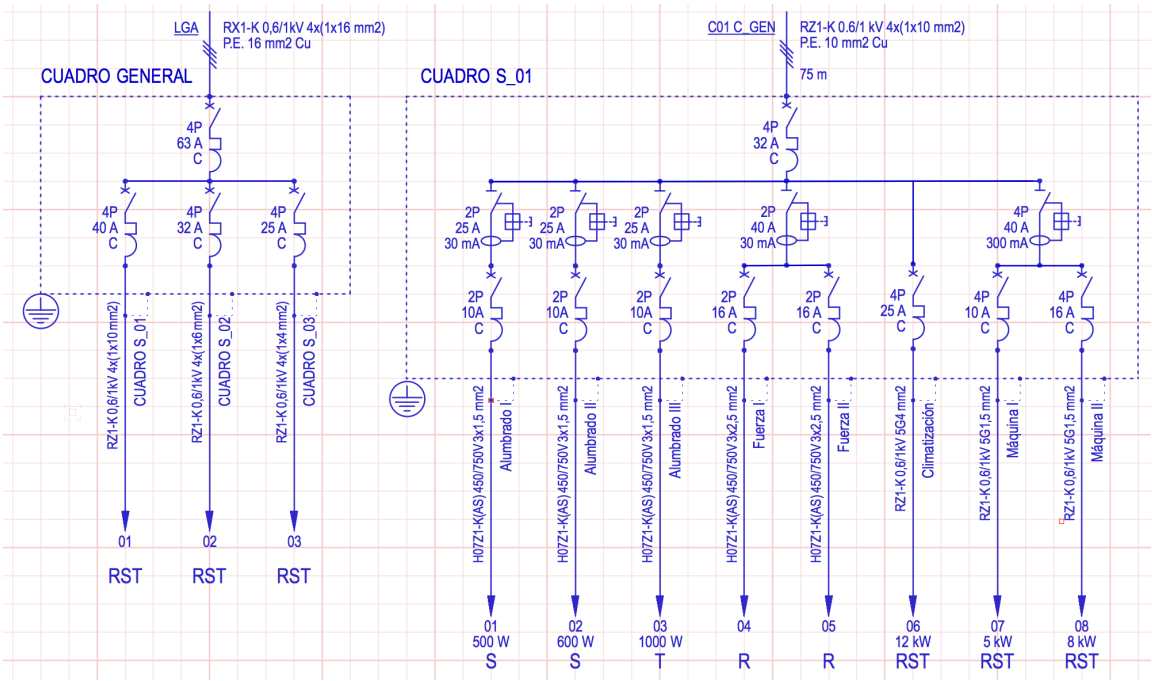


Fig. 4 Una solución para el 'Cuadro General' y el 'Cuadro S-01' de este ejemplo.

6 NOCIONES DE CÁLCULO DE CONDUCTORES. DISEÑO DE CIRCUITOS

6.1 Selección de conductores

Los conductores para instalaciones de baja tensión deben ser del tipo previsto en el capítulo 2 de la ITC-BT 19 o mejores. Para su selección se estará a los criterios de la norma UNE 20460-5-523, aunque suele bastar con aplicar la tabla 1 de la ITC-BT 19.

En la práctica los criterios a seguir para la elección del conductor apropiado son los siguientes:

1. Determinar:

   1.1 El tipo de circuito o línea: monofásico o trifásico, con o sin neutro.
   1.2 La tensión nominal de la red.

1.3 La potencia nominal de la carga colocada en su extremo.
1.4 La longitud del conductor

2. Elegir:

2.1 El material conductor: cobre o aluminio
2.2 El tipo de conductor: unipolar o multipolar
2.3 El tipo de aislamiento:
- PVC o Z1: para funcionamiento normal hasta 70 ºC
- XLPE, EPR, S o Z: para funcionamiento normal hasta 90 ºC
2.4 El método de instalación:
2.5 La sección del conductor

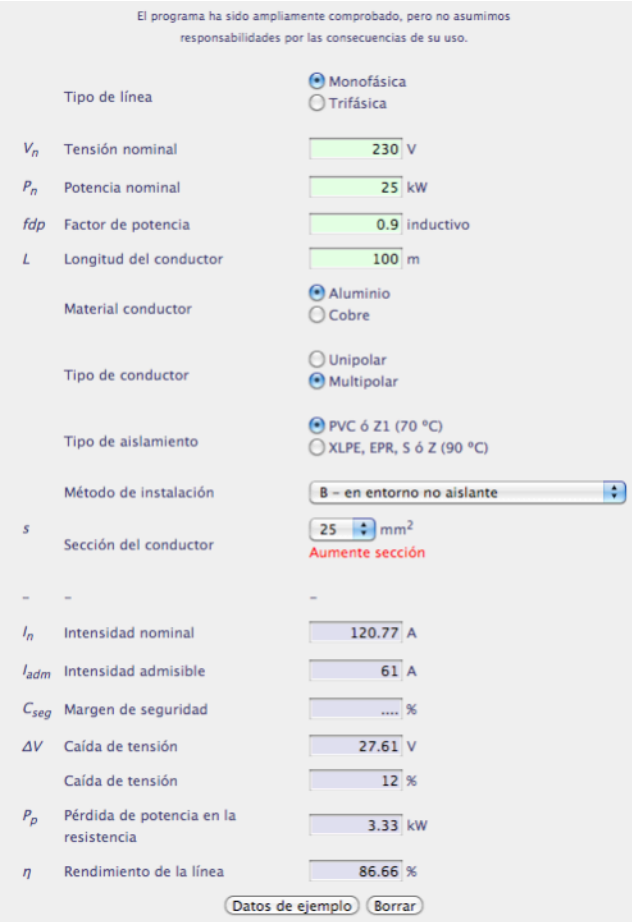
3. Calcular:
3.1 La intensidad nominal del circuito o línea
3.2 La intensidad admisible por el conductor en las condiciones de instalación
3.3 El margen de seguridad respecto de la intensidad máxima admisible
3.4 La caída de tensión en voltios y en porcentaje de la tensión nominal
3.5 La pérdida de potencia en el cable
3.6 El rendimiento del circuito o línea

6.2 Diseño de circuitos por verificación de secciones

En la figura puede verse un ejemplo del proceso de verificación anterior implementado en una página web con javascript.

Es muy sencillo hacer algo parecido empleando una sencilla hoja de cálculo.

Los datos deben extraerse de la norma UNE 20460-5-523.



Los conductores de características especiales, como mayores tensiones de aislamiento o mejor comportamiento frente a la temperatura, se irán viendo a lo largo del curso.

7 RECEPTORES

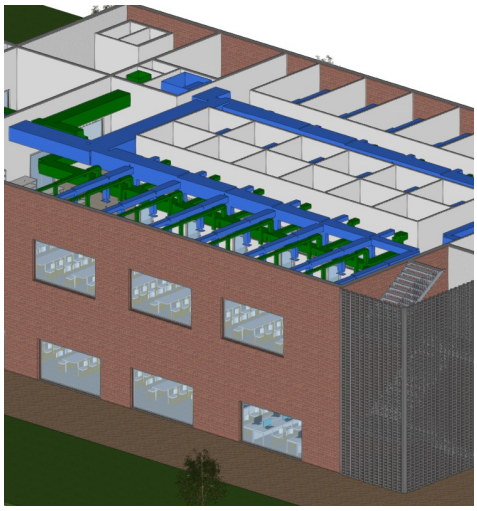
Algunos tipos de receptores pueden requerir ciertas especialidades en cuanto a su tratamiento dentro de un sistema de distribución de energía eléctrica en baja tensión. Así ocurre, por ejemplo, con los siguientes:

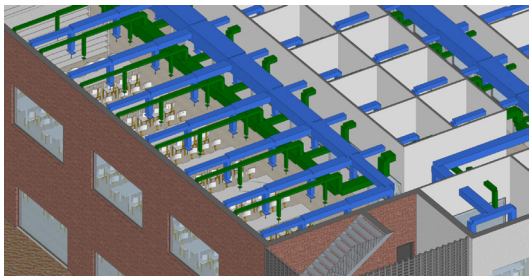
- Lámparas de descarga	ITC-BT 09 art.3
- Cables radiantes	ITC-BT 46
- Cercas para ganado (pastor eléctrico)	ITC-BT 39
- Motores	ITC-BT 47
- Etc.	

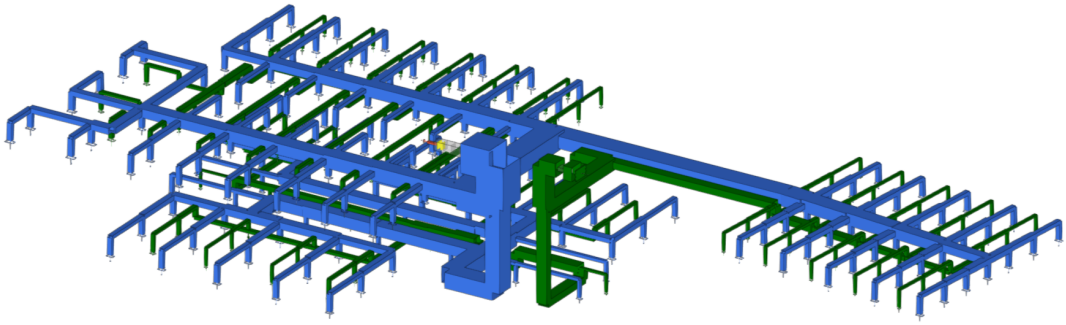
Se irán viendo a lo largo de los siguientes temas.

7.1 Climatización

El sistema de climatización centralizado por conductos de aire requiere instalar máquinas de gran potencia para conseguir atemperar el aire que se distribuye a cada dependencia del edficio. La atemperación implica calentarlo en invierno, enfriarlo en verano y añadir o retirar humedad durante todo el año.







Instalación de climatización por conductos [CYPE].

Las máquinas suelen ser bombas de calor aire/aire eléctricas, con coeficientes de operación que modernamente superan el 3.5 (cada kW eléctrico absorbido se transforma en 3.5 kW térmicos aportados al edificio a través del aire de los conductos).

Las máquinas se consideran normalmente conjuntos completos que requieren tan solo una línea general para alimentar su armario eléctrico de control y protección.. Por ello en el diagrama de bloques se consideran como un bloque independiente y en el esquema unifilar solo hay que prever el circuito de la línea general para su alimentación.

A la hora de la previsión de cargas se tendrá en cuenta la demanda térmica del edificio y el coeficiente de operación de la máquina a instalar. Por ejemplo: una climatizadora de 30 kW con un coeficiente de operación de 3,0 absorberá de la red 30 / 3,0 = 10 kW de potencia eléctrica.