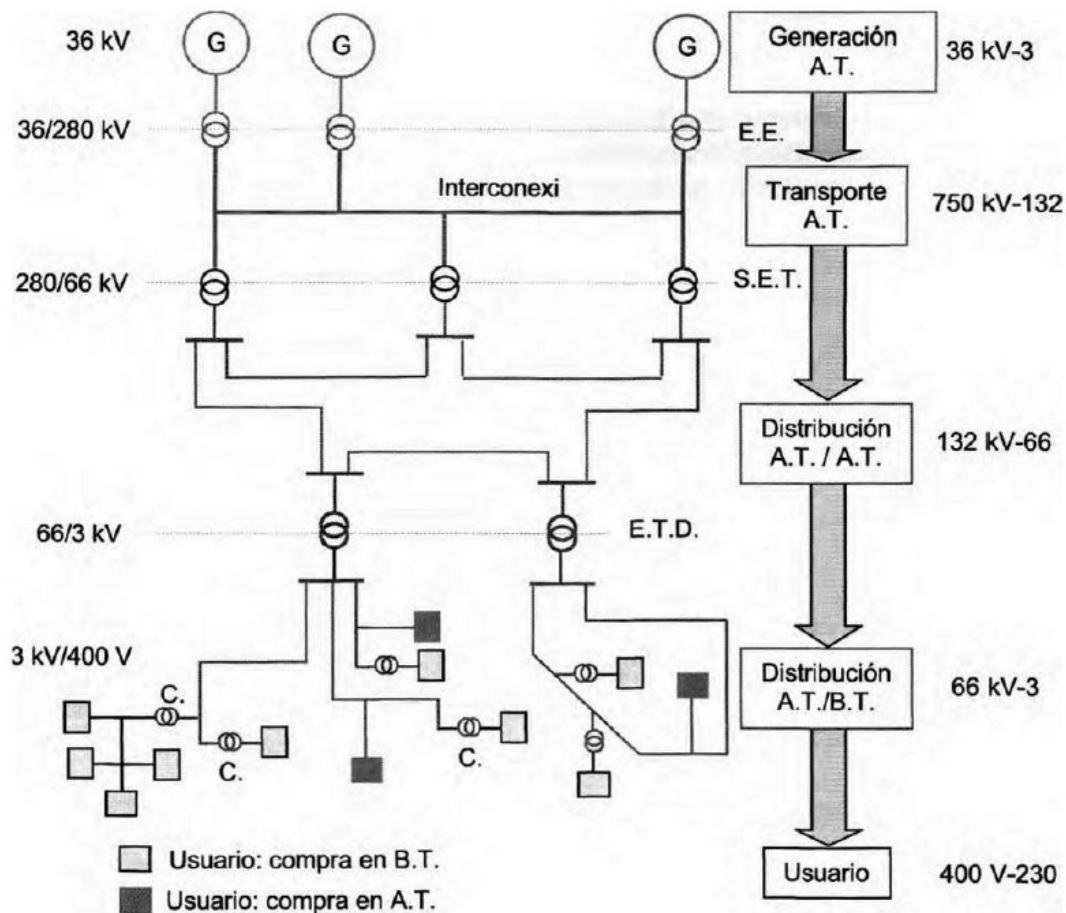


Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión.

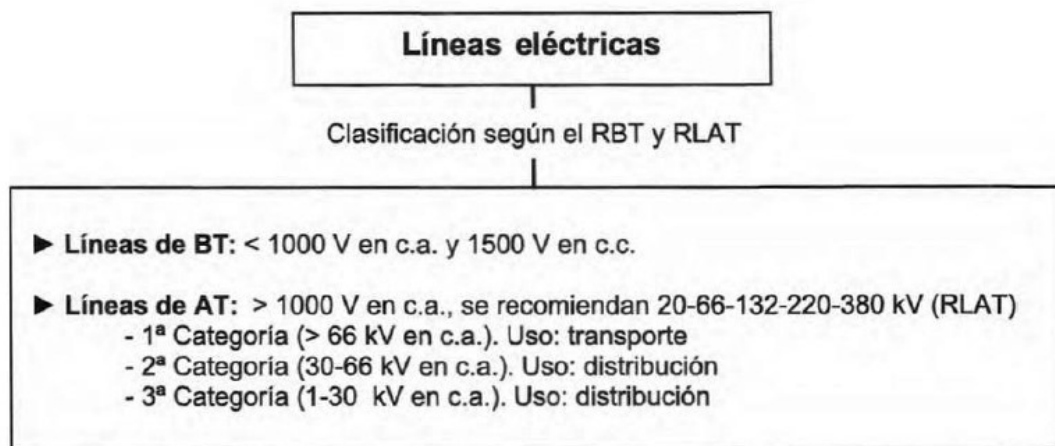
Un sistema eléctrico es el conjunto de elementos que hacen posible el suministro de energía eléctrica a los usuarios en condiciones adecuadas de tensión, frecuencia y disponibilidad.

Se puede considerar formado por las siguientes partes:

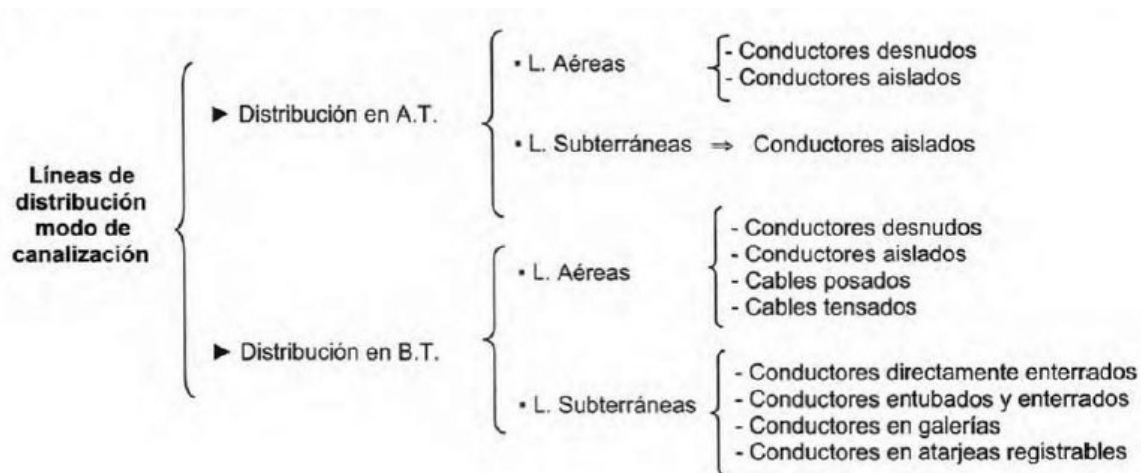
- A) Producción de energía eléctrica. Se realiza en las centrales generadoras, distinguiéndose hasta hace poco tiempo tres tipos fundamentales: térmicas (de carbón y derivados del petróleo), hidráulicas y térmicas nucleares. Actualmente se están desarrollando otras fuentes de energía apoyadas en recursos renovables: solar térmica, solar fotovoltaica, eólica, biomasa, etc.
 - B) Transporte de la energía eléctrica. Su misión es el transporte de energía a grandes distancias desde los centros de producción. Las tensiones frecuentes de transporte son 220, 380, 730 kV. Las líneas de transporte se conectan con las centrales eléctricas a través de las estaciones transformadoras elevadoras (E.E.).
 - C) Distribución de la energía eléctrica. Cabe hablar fundamentalmente de dos niveles de tensión: un primer nivel con redes que, generalmente en forma de malla, cubren una gran superficie de consumo (gran ciudad, grandes zonas industriales, etc.) uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, desde donde parte la red de distribución en baja tensión, y un segundo nivel, que alimenta directamente los distintos receptores, constituyendo el último escalón en la distribución de la energía eléctrica.
 - Primer nivel. Red de distribución en alta tensión (A.T.). Formadas por las redes de distribución primarias y secundarias. Las redes de reparto o de distribución primaria parten de una subestación transformadora (S.E.T.) con un salida de 45 a 132 kV y alimentan las estaciones transformadoras de distribución (E.T.D) en los grandes núcleos poblacionales e industriales. De las E.T.D. parten, a su vez, las líneas de distribución secundarias de 3 a 20 kV; a esta distribución se le suele llamar distribución en media tensión (M.T.), que termina en los centros de transformación (C.T.).
 - Segundo nivel. Red de distribución en baja tensión (B.T.). La red de distribución en B.T. enlaza los C.T. con los usuarios, con una tensión de 400/230 V. A veces parten directamente de las E.T.D.
 - D) Receptores/consumidores de energía eléctrica, son las viviendas, comercios, industrias, etc., es decir distintas actividades que utilizan esta energía para su actividad. Por otra parte, el suministro de energía eléctrica a los usuarios, por parte de la empresa distribuidora, puede hacerse en:
 - Suministro en A.T y M.T. Desde la red de distribución normalmente en MT. Se hace necesaria la construcción de una línea de A.T. y un C.T.
 - Suministro en B.T. Desde la red de distribución en B.T. Se hace a través de la instalación de enlace, que une la red de distribución en B.T. con la instalación interior o receptora.
- La elección de una u otra forma está condicionada los siguientes factores:
- *Potencia total instalada.* En España existe un límite para el suministro en B.T. (artículo 46 del capítulo II del título III del R.D. 1955/2000), "no pudiéndose atender suministro con potencias superiores a 50 kW, salvo acuerdo con la empresa distribuidora.
 - *Disponibilidad de suministro en la zona.* Depende de la proximidad de las redes de distribución.
 - *Tipo de tarificación a elegir.* En AT/ MT ó en BT.



Teniendo en cuenta el "Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión" y el "Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión", se hace la clasificación de las líneas eléctricas de la figura:



Se define la canalización eléctrica como el conjunto de conductores eléctricos y elementos que aseguran su fijación y su protección mecánica. Atendiendo a la forma de canalización, las líneas de distribución se clasifican en:



Sistemas de control de medida por periodos.

El sistema eléctrico necesita de una serie de aparatos de medida y control que indiquen la energía consumida en kWh y la potencia demandada en kW. Los elementos que integran un equipo de medida "definitivo" son:

- .-Transformadores de medida
- .-Contador
- .-Registrador
- .-Sistema de comunicaciones

El contador de energía eléctrica es el aparato que contabiliza esta energía en las líneas y redes de corriente alterna, tanto monofásica como trifásicas.

De los diferentes tipos de contadores de energía eléctrica para corriente alterna, el contador de inducción es el de mayor aplicación en las instalaciones eléctricas de viviendas y edificios.

Se puede hacer una clasificación de los contadores:

□ **Contador de energía activa:** Este contador registra la cantidad de energía activa que

las empresas suministradoras entregan al abonado. La unidad de medida es el kilovatio hora (kW/h.)

□ **Contador de energía reactiva:** Si en la instalación del abonado hay receptores de carácter inductivo, se usa el contador de energía reactiva para calcular el factor de potencia medio de la instalación. La unidad: kilovoltiamperio reactivo hora (kVAR/ h).

Los contadores utilizados para registrar el consumo de energía eléctrica tienen que cumplir condiciones muy estrictas en cuanto a la construcción, precisión, elevada estabilidad mecánica, facilidad de ajuste y rapidez de montaje, reguladas por el reglamento de verificaciones eléctricas.

Si se aplican los complementos de discriminación horaria se necesitan contadores con integradores múltiples, y si las potencias contratadas son muy elevadas serán necesarios transformadores de intensidad.

En la actualidad, se utilizan los contadores múltiples, donde un mismo aparato realiza todas las funciones que se describen a continuación por separado, las medidas de potencia activa y reactiva, el valor máximo y lleva incluido un reloj programador que es capaz de almacenar los datos de las lecturas.

La clasificación de los contadores viene establecida por los criterios que establece el Real Decreto 1110/2007 por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico. En función de las características de los puntos de suministro se detallan los tipos de contadores necesarios a instalar para cada punto de suministro:

Contadores tipo 1 son aquellos ubicados en puntos de suministro de elevado consumo en un nivel de confianza muy elevado en cuanto a la fiabilidad de las medidas que contabilizan. Los requisitos de puntos son:

- .- Que estén situados en las fronteras de clientes cuya potencia contratada en cualquier periodo sea igual o superior a 10 MW.
- .- Que estén situados en las fronteras de generación cuya potencia aparente nominal sea igual o superior a 12 MVA.
- .- Que estén situados en cualquier otra frontera cuya energía intercambiada anual sea igual o superior a 5 GWh.

Contadores tipo 2 se localizan en suministros que también presentan un elevado consumo. Son todos aquellos que no pudiendo clasificarse como contadores tipo 1, cumplen los siguientes requisitos:

- .- Puntos situados en las fronteras de clientes cuya potencia contratada en cualquier periodo sea superior a 450 kW.
- .- Puntos situados en las fronteras de generación, cuya potencia aparente nominal sea igual o superior a 450 kVA.
- .- Puntos situados en cualquier otra frontera cuya energía intercambiada anual sea igual o superior a 750 MWh

Contadores tipo 3 son aquellos que no puedan clasificarse en otra categoría.

Contadores tipo 4 son los puntos situados en las fronteras de clientes, cuya potencia contratada en cualquier periodo sea igual o inferior a 50 kW y superior a 15 kW, es decir, en general instalaciones de terciario.

Contadores tipo 5, en general, se utilizan en instalaciones de pequeño tamaño o domésticas, en concreto, son aquellas que tienen las siguientes características:

- .- Puntos de medida situados en las fronteras de clientes cuya potencia contratada en cualquier periodo sea igual o inferior a 15 kW.
- .- Puntos de medida situados en las fronteras de instalaciones de generación cuya potencia nominal sea igual o inferior a 15 kVA

Los equipos de medida deberán garantizar el suministro de los datos requeridos para la correcta facturación de las tarifas de suministro o acceso y la energía que haya de liquidarse en el mercado, incluyendo el término de facturación de energía reactiva y la medición o control de la potencia demandada.

Así, el registro de energía activa y reactiva será realizado en todos los sentidos y cuadrantes en que sea posible la circulación de energía. En ambos casos, es opcional el emplear uno o más aparatos, según convenga, aunque los equipos que se utilizan actualmente son capaces de medir ambas variables. Únicamente es necesario utilizar varios equipos cuando se utilizan contadores analógicos que funcionaban mediante bobinas.

Un sistema de telemedida permite tener monitorizado un suministro eléctrico obteniendo los datos de consumo cuarto horarios en tiempo real, sin necesidad de desplazar técnicos hasta los equipos para tomar las medidas in situ. El mismo Real Decreto que hemos mencionado anteriormente, establece que los puntos de medida tipo 1 y tipo 2 tienen que estar telemedidos obligatoriamente.

Los puntos de suministro tipo 1, 2, 3 y 4 utilizan el protocolo de comunicación IEC 60870-5 102. Los puntos de suministro tipo 5 no tienen un protocolo de comunicación establecido, siendo la distribuidora de cada zona la encargada de utilizar el que crea conveniente.

Esta telemedida se puede proporcionar en los casos tipo 1, 2, 3 y 4 mediante un módem de comunicación enviando esos datos a través de tarjetas de comunicación M2M vía GSM o vía GPRS, o bien mediante una línea fija de telefonía. Para los contadores tipo 5 la distribuidora utiliza la propia red eléctrica para crear una red de telegestión, de forma que todos los contadores envían la información mediante PLC hasta un concentrador de datos que envía la información recopilada.

Cabe mencionar que únicamente se pueden teledir aquellos contadores electrónicos. Los contadores que se instalan en los suministros que requieren tipo 1, 2, 3 y 4 hace tiempo que son electrónico, no así en los contadores tipo 5, es por ello, que el gobierno publicó la Orden IET/290/2012 por la que obliga a las distribuidoras a que antes del 31 de diciembre de 2018, en todos los suministros con contadores tipo 5 se debe sustituir el contador analógico por uno digital que permita que esté telemedido mediante PLC.

CONTADORES ELECTRÓNICOS

Son contadores que basan el conteo de energía eléctrica en sistemas estáticos formados por circuitos electrónicos sin piezas móviles. Son aparatos de gran precisión, de mínimo consumo propio, de una gran previsión y capaces de detectar corrientes muy pequeñas.

El principio de funcionamiento es la elaboración de señales eléctricas proporcionales al producto instantáneo de la tensión y de la intensidad. Las variaciones de este producto $V \cdot I$, inducen al circuito eléctrico a la emisión de impulsos, cuya frecuencia será proporcional al aumento de dicho producto.

Estos contadores están sustituyendo progresivamente a los anteriores por su gran precisión y fiabilidad, su insensibilidad a golpes, vibraciones, colocaciones defectuosas, temperaturas altas o bajas, mala colocación de las fases, desequilibrio entre las mismas, etc.

REGISTRADORES

Este equipo estará destinado al almacenamiento de las medidas procedentes de los contadores y a dar apoyo a la teletransmisión, tratamiento y preparación de la información de energía activa y reactiva,

incluyendo una firma electrónica que cifra las lecturas de forma que éstas no pueden ser manipuladas en ningún momento de la teletransmisión al Operador del Sistema.

El registrador, así definido, puede estar integrado en un contador combinado o constituir un dispositivo independiente del contador, aunque según la normativa las medidas no podrán obtenerse por integración de impulsos.

Cada registrador puede almacenar información de uno o más equipos de medida.

Es obligatorio que en cada parque de central o subestación donde se sitúe un punto de medida exista, al menos, un registrador.

Cuando alguno de los equipos deba ser redundante o comprobante, se instalará un mínimo de dos registradores, de forma que cada equipo redundante o comprobante se conecta a un registrador distinto al del equipo principal.

La comunicación del equipo registrador con un concentrador de medidas (primario o secundario) se lleva a cabo por medio del protocolo IEC 870-5-102 modificado por Red Eléctrica de España (en adelante IEC870 REE) en su responsabilidad como Operador del Sistema.

Magnitudes a registrar.

El número de magnitudes a registrar no será inferior a ocho por punto de medida, estando las dos primeras asociadas a los registros de energía activa, las cuatro siguientes a la energía reactiva y las dos últimas disponibles para usos futuros.

Estas últimas podrán ser empleadas para registro de medidas de calidad de servicio, según disponga el reglamento de calidad correspondiente.

A título orientativo, se puede considerar la posibilidad de que hagan referencia a medida de la continuidad de suministro y a medida de variaciones lentas de tensión.

En aquellos puntos de medida donde nunca sea posible la circulación de energía activa en alguno de los dos sentidos, podrá reducirse el número de magnitudes a registrar hasta un tope de cinco, como mínimo.

El período de integración se fija, con carácter general, en una hora, aunque deberá ser posible parametrizar posteriormente valores inferiores. Los productores del régimen especial se atenderán a lo dispuesto en su legislación específica. Nunca se exigirán períodos de integración inferiores a cinco minutos.

Tendrá capacidad para almacenar los resultados en períodos, con fecha, hora y minuto, tal que el número de registros almacenados no sea inferior a cuatro mil para cada medida.

Para permitir la lectura local y la parametrización del equipo en modo local dispondrá de, al menos, un canal de comunicaciones apropiado, ya sea a través de un puerto serie RS-232, un optoacoplador según norma UNE-EN 61.107 o de cualquier otro soporte que, a juicio del Operador del Sistema, reúna, como mínimo, las prestaciones de los dos anteriores.

La parametrización del registrador sólo podrá realizarse por el Operador del Sistema o en quien éste delegue para la realización de esta tarea, que será el único autorizado para realizar dicha acción. En el equipo quedará constancia de la hora exacta en que se produce dicha reprogramación.

Una contraseña de acceso al software del registrador garantizará la inaccesibilidad del sistema de parametrización del aparato.

Puertos de Comunicación.

Son la forma de poder comunicar el contador eléctrico a un ordenador para realizar un intercambio de datos. Dependiendo del flujo de datos que se vayan a enviar y a recibir, será necesario utilizar un puerto de comunicaciones u otro.

Por otro lado, hay distintos tipos de transmisiones de datos dependiendo de cómo se produzca el envío de la información.

Transmisión Simplex: La transmisión de datos se produce en un solo sentido. Siempre existen un nodo emisor y un nodo receptor que no cambian sus funciones

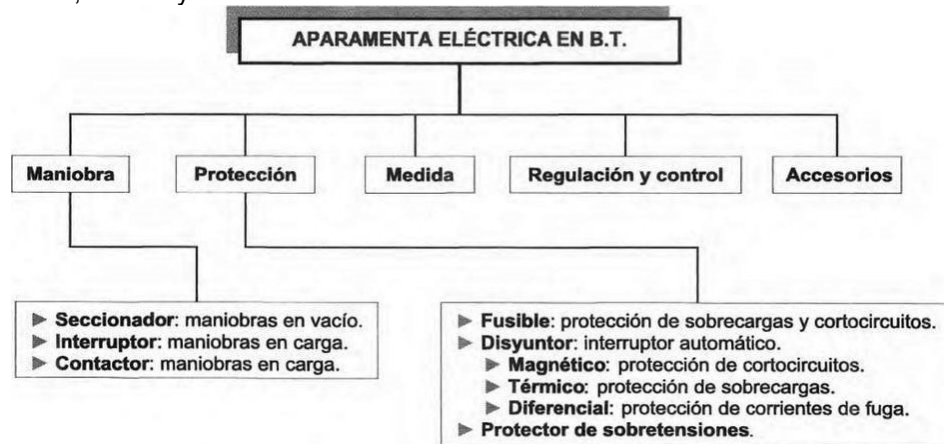
Transmisión Half-Duplex: La transmisión de los datos se produce en ambos sentidos, pero alternativamente, en un solo sentido a la vez. Si se está recibiendo datos no se puede transmitir

Transmisión Full-Duplex: la transmisión de los datos se produce en ambos sentidos al mismo tiempo. un extremo que está recibiendo datos puede, al mismo tiempo, estar transmitiendo otros datos

PROTECCIONES:

Interruptores generales automáticos, interruptores diferenciales, interruptores magnetotérmicos, relés térmicos, fusibles.

El término "aparamenta eléctrica" se refiere al conjunto de aparatos utilizados en la maniobra, protección, medida, regulación, control y accesorios de las instalaciones eléctricas.



En los dispositivos de maniobra y protección de las instalaciones eléctricas de B.T. las funciones básicas son:

- Seccionamiento: aislamiento seguro de una parte de la instalación.
- Mando: mando funcional o mando de emergencia.
- Protección de personas, del material y del servicio: protección contra corrientes de sobrecarga, corrientes de cortocircuitos, fallos de aislamiento y protección de sobretensiones.

La aparamenta eléctrica se define a partir de los valores asignados a algunas de sus magnitudes funcionales: tensión, corriente, potencia, temperatura, etc. Estos valores son los llamados valores nominales o asignados.

Se denomina valor nominal de una cualidad determinada de un aparato al valor de la magnitud que define al aparato para esa cualidad. El fabricante de la aparamenta, los criterios de diseño y la normativa vigente, según los casos, definen cuáles deben ser los valores nominales para las distintas magnitudes de cada aparato.

Los parámetros característicos comunes más utilizados son:

Tensión nominal (UN). Es el valor eficaz de la tensión para el cual el dispositivo ha sido diseñado.

Tensión nominal de impulso Wimp). Es el valor de tensión de pico de la onda de impulso de tensión, de forma y polaridad determinada, que es capaz de resistir el equipo sin fallo, bajo condiciones específicas de ensayo.

Intensidad nominal (IN). También calibre del dispositivo, es la corriente de régimen continuo que debe ser capaz de conducir indefinidamente sin que se produzca ningún deterioro en su funcionamiento.

Poder de corte (PdC). Es la máxima intensidad, expresada en valor eficaz, que puede interrumpir un aparato sin sufrir ningún daño.

Poder de cierre. Es la máxima intensidad, en valor instantáneo, que el dispositivo es capaz de admitir sin sufrir ningún daño. Se denomina de cierre porque este valor se produce normalmente en el cierre (reenganche) de los circuitos.

Interruptores Generales Automáticos (IA)

El disyuntor o interruptor automático (IA) es un aparato de maniobra y protección que, además de permitir abrir un circuito con la corriente nominal (manualmente), lo abre automáticamente en caso de que se produzca algún tipo de defecto, como sobrecarga, cortocircuito, corrientes a tierra, mínima tensión, sobretensiones, etc. La desconexión se efectúa en un tiempo lo suficientemente corto para no perjudicar ni a la red ni a los receptores que protege. Los disyuntores de uso más frecuente son de los siguientes tipos:

Tipo de disyuntor

- ▶ Magnético: protección de cortocircuitos.
- ▶ Térmico: protección de sobrecargas.
- ▶ Magnetotérmico: protección de cortocircuitos y sobrecargas.
- ▶ Diferencial: protección de corrientes de fuga.

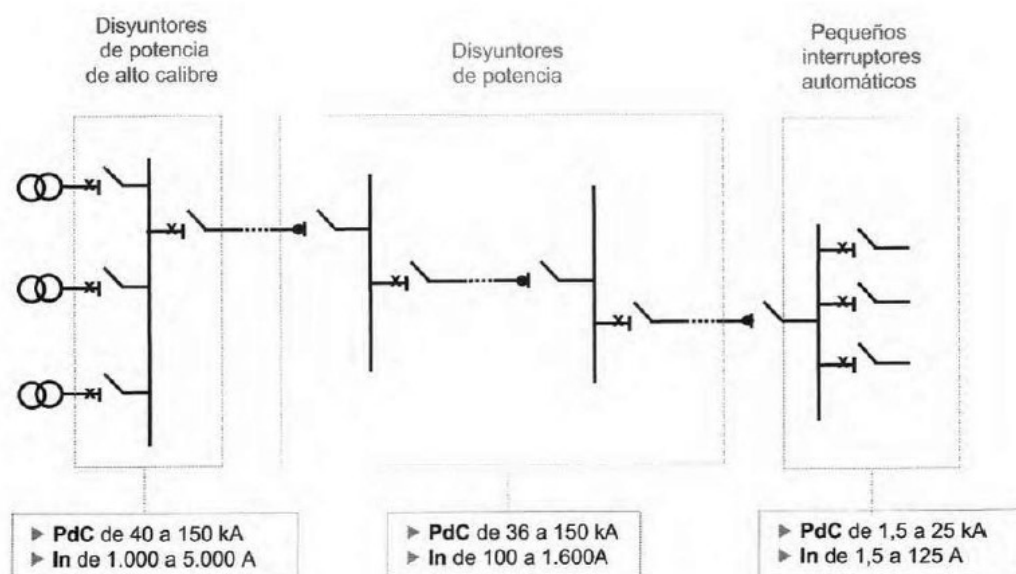
Disyuntores protectores de sobrecargas y cortocircuitos

Las funciones de este tipo de disyuntor se pueden resumir en:

- i. Cierre del circuito. Los interruptores automáticos están diseñados para establecer corrientes de 15 a 20 veces superiores a su valor nominal.
- ii. Conducir la corriente. Característica muy tenida en cuenta en la fase constructiva, debido a las exigentes condiciones eléctricas y mecánicas que requiere el disyuntor.
- iii. Apertura del circuito. De forma manual, de forma automática y por relé auxiliar.
- iv. Asegurar el seccionamiento. Nivel de aislamiento adecuado cuando el interruptor está abierto entre las partes con y sin tensión.

Atendiendo a su intensidad nominal, estos disyuntores se clasifican en:

- Pequeños interruptores automáticos (PIA). Modulares, utilizados en la protección de conductores y receptores en instalaciones domésticas y similares. Están provistos de un disparador térmico (bimetal) retardado para pequeñas sobreintensidades, que abre el circuito en un tiempo que es función de la magnitud de la sobrecarga y de un disparador electromagnético instantáneo para sobreintensidades elevadas y cortocircuitos. Los valores normalizados de uso frecuente para la intensidad nominal son, 6, 10, 16, 20, 32, 40, 50, 63 A y con poder de corte de 1,5 a 25 kA.
- Interruptores automáticos de potencia (de caja moldeada). Se utilizan cuando la intensidad nominal de una instalación es elevada. De uso frecuente son los de intensidad nominal 40, 63, 80, 100, 125, 160 y 250 A. Los disparadores térmicos y magnéticos pueden ser regulables, permitiendo una mayor selectividad entre aparatos.
- Interruptores automáticos de potencia abiertos. Se utilizan en instalaciones en las que la intensidad nominal es elevada y con intensidad de cortocircuito importante. A diferencia de los anteriores, los dispositivos de desencanche, relés auxiliares, son exteriores al interruptor. Las intensidades para su utilización suelen ser de 800 A en adelante, y el poder de corte es del orden de los 50 kA.

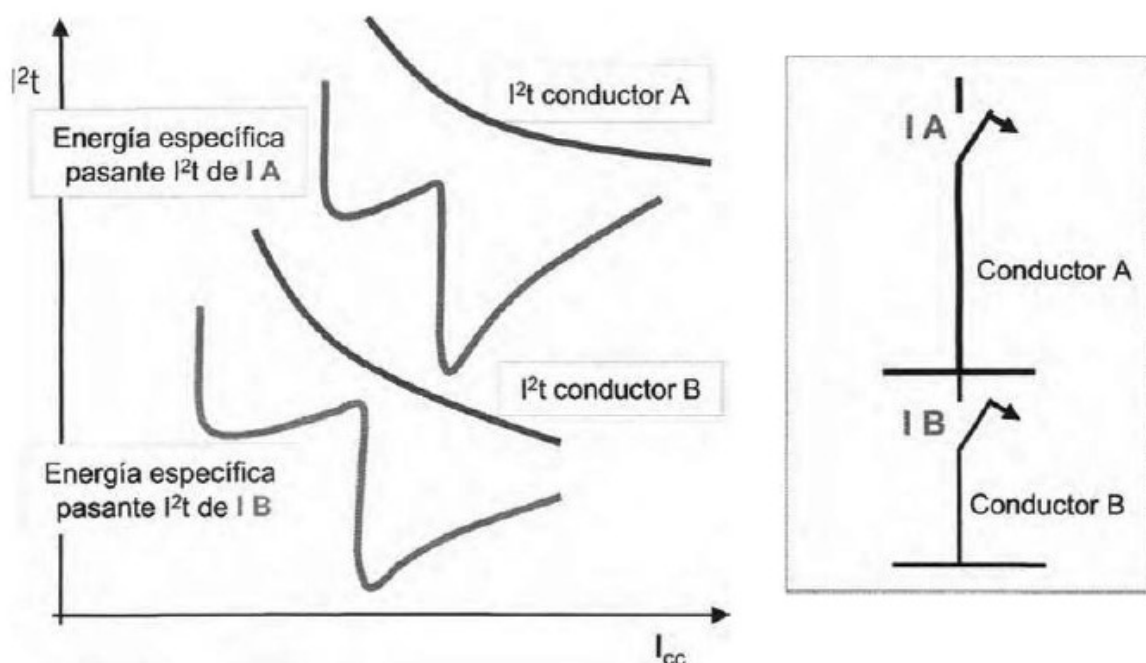


Un disyuntor queda definido eléctricamente por las siguientes características:

- i. **Intensidad nominal I_N .** Es el valor eficaz de la corriente de régimen continuo que el IA debe ser capaz de conducir indefinidamente, sin que la elevación de temperatura de sus diferentes partes exceda límites especificados. Es el valor máximo de corriente que el interruptor puede soportar de manera permanente. Este valor viene siempre dado para una temperatura ambiente en torno al aparato de 40 °C según la norma CEI 60947-2, y de 30 °C según la norma CEI 60898. Si la temperatura a la que se utiliza el aparato es superior, puede ser necesario disminuir la corriente de utilización
- ii. **Tensión nominal U .** Valor eficaz de tensión para el cual el dispositivo es diseñado, a la cual se refieren la capacidad de interrupción y de cierre nominales, así como las categorías de utilización en cortocircuito.
- iii. **Número de polos.** Número de pares de polos a cortar, diferente del número de polos a proteger. Pueden ser unipolares, bipolares, tripolares, tetrapolares.
- iv. **Poder de corte (PdC) (I_{cu})** Valor de la intensidad eficaz máxima que es capaz de cortar o interrumpir el aparato. Debe ser igual o mayor que la corriente de cortocircuito máxima que se puede producir en la línea que protege.
- v. **Disparo magnético (I_m).** Corriente de actuación del disparo electromagnético. Debe ser inferior al valor de la corriente de cortocircuito mínimo que pueda producirse a lo largo de la línea protegida por el interruptor.
- vi. **Poder de ruptura de servicio (I_{es})** Indica la capacidad del IA para mantener sus características y continuar en servicio después de realizar varias aperturas a esa corriente. Se expresa en % de I_{cu}
- vii. **Poder de cierre (I_{cm}).** Valor máximo o de pico de la intensidad que el dispositivo es capaz de soportar en el cierre del circuito. Este valor es asignado por el fabricante para la tensión nominal, frecuencia nominal y un factor de potencia especificado.
- viii. **Categoría de retardo.** Define su capacidad para obtener una selectividad mediante un retardo.
- ix. **Corriente de corta duración admisible (I_{cw}).** Es el valor de la corriente de cortocircuito que un interruptor automático de categoría B, es capaz de soportar durante un periodo determinado sin que sus características se alteren. Este valor está destinado a permitir la selectividad entre aparatos. El interruptor en cuestión puede permanecer cerrado durante el tiempo de eliminación de la falla mediante el dispositivo situado a continuación, en tanto en cuanto la energía I^2t no sobrepase el valor de I^2_{cw} (1 s).
- x. **Categoría de empleo.** Se definen dos categorías de IA, los de categoría A que no prevén en su funcionamiento ningún retardo en la desconexión por cortocircuito, y los de categoría B que pueden retardar su disparo ante un cortocircuito de valor inferior a una intensidad I_{cw} . Es la norma internacional CEI 60947-2 clasifica los interruptores en dos categorías:
Categoría A para los interruptores sin ninguna temporización para la activación bajo cortocircuito.
Categoría B para los interruptores que poseen una temporización, la cual es regulable para permitir una selectividad cronométrica para un valor de cortocircuito inferior a I_{cw} . El valor I_{cw} debe ser al menos igual al mayor de los dos valores, 12 I_N ó 5 kA, para los interruptores de corriente asignada igual como máximo a 2.500 A, y a 30 kA por encima de dicho valor.
- xi. **Curvas de Disparo.** Para los interruptores automáticos divisionarios, la corriente magnética se ajusta en fábrica según la norma internacional EN 60898:
 - Curva B: 3 a 5 I_N
 - Curva C: 5 a 10 I_N
 - Curva D: 10 a 20 I_NPueden utilizarse igualmente otros tipos de curvas:
 - Curva Z: 2,4 a 3,6 I_N
 - Curva MA: 12 a 14 I_N

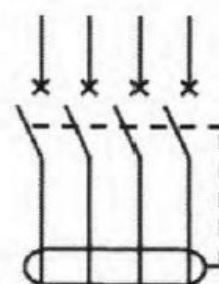
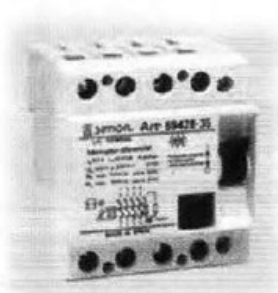
Interruptores limitadores de corriente. Son los IA que tienen la capacidad de limitar la corriente presunta de cortocircuito. Estos dispositivos interrumpen la corriente de cortocircuito antes del primer pico (5 ms), por lo que la corriente de cortocircuito nunca alcanza el valor de pico presumido. El funcionamiento es análogo al caso de los fusibles limitadores, explicado anteriormente. Las ventajas de este tipo de aparatos son:

- Limita la energía específica por lo que reduce los efectos térmicos debidos a las corrientes de cortocircuito.
- Limita la corriente de pico presunta de cortocircuitos por lo que reduce los efectos mecánicos asociados.
- Por medio de la limitación de energía se puede obtener una economía de la instalación utilizando el procedimiento de "filiación" que se verá en el apartado de selectividad.
- Curva de energía específica pasante, figura. Es la función $I^2.t = f(I_{cc})$, donde $I^2.t$ es la energía específica de paso que permite el IA al producir el corte. Determina la energía térmica que se desarrolla en condiciones de cortocircuito.

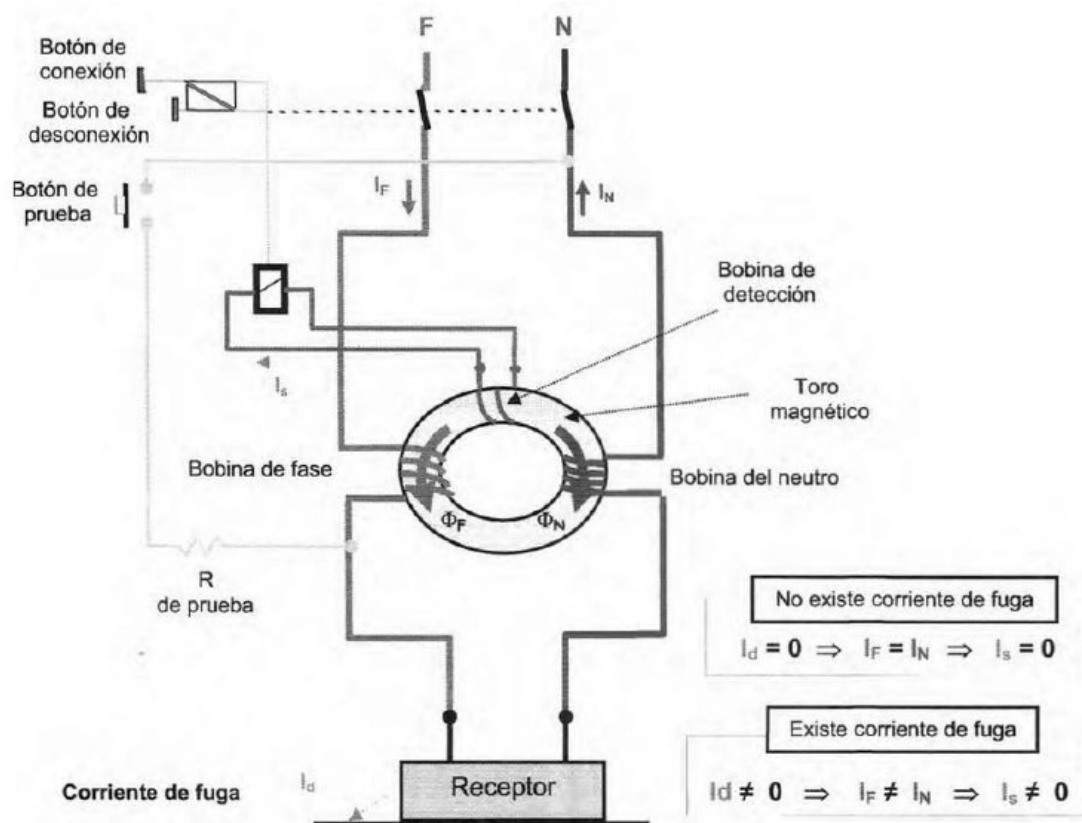


Interruptores Diferenciales.

El disyuntor o interruptor diferencial, también llamado dispositivo diferencial residual (DDR), es un dispositivo que abre un circuito al detectar una corriente de defecto I_d , que sea superior a su umbral de sensibilidad I_s . Su objetivo principal es proteger a las personas contra los contactos indirectos y directos, figura



Se explica a continuación el principio de funcionamiento de un ID monofásico:



Esquema del funcionamiento de un interruptor diferencial monofásico

El diferencial se coloca en la cabecera del circuito que quiere protegerse, delante de los interruptores automáticos. En una instalación en la que no existan consientes de fuga ($I_d = 0$), los efectos magnéticos de las corrientes se anulan en el transformador toroidal del Diferencial, ya que la suma de los flujos creados por ellas es igual a 0, en consecuencia, no existe flujo que pudiera inducir una tensión en el devanado secundario que alimenta el relé de disparo. Si se produce una corriente de fuga, por ejemplo, por un fallo de aislamiento, desaparece el equilibrio de flujos y aparece un flujo diferencial en el transformador toroidal, que genera una tensión en el devanado secundario, la cual a través del relé de disparo acciona el desenclavamiento mecánico, que permite la apertura de los contactos y desconecta el circuito.

Para comprobar su correcto funcionamiento, los interruptores diferenciales llevan integrados un circuito de prueba conectado entre dos fases, una en la entrada de una fase y la otra en la salida de otra fase diferente, con una resistencia y un pulsador. Al pulsarlo, circula una corriente superior a la corriente de sensibilidad de disparo, de tal manera que, si el aparato se encuentra en buen estado, se provoca la desconexión del mismo.

Un interruptor diferencial queda definido por las siguientes características:

- .- **Número de polos.** Atendiendo al número de polos, los interruptores diferenciales se clasifican en bipolares, tripolares y tetrapolares.
- .- **Tensión asignada (U_n).** Valor máximo de tensión para el cual el interruptor diferencial está diseñado. Los valores normalizados de tensión asignada son: 230 - 400 V.
- .- **Corriente asignada (I_n).** Valor máximo de corriente que puede soportar en servicio ininterrumpido un interruptor diferencial, a una temperatura ambiente normalizada. Los valores normalizados de corriente de uso frecuente son: 25, 40 y 63 A.

.- **Corriente diferencial de funcionamiento asignada (ID).** Valor de la intensidad de fuga a partir del cual el interruptor diferencial desconecta el circuito. Los valores normalizados de uso frecuente son:

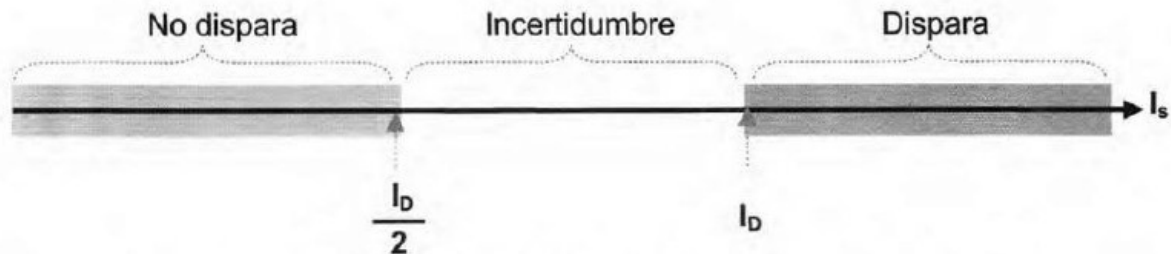
De baja sensibilidad: 500 mA.

De media sensibilidad: 300 mA.

De alta sensibilidad: 30 mA.

De muy alta sensibilidad: 10 mA.

.- **Curva de desconexión.** Al tiempo de corte en función de la intensidad de defecto se le denomina tiempo de desconexión, tal y como se aprecia en la figura:



Actuación del diferencial en función de la intensidad de defecto (UNE 61.008)

En los diferenciales no temporizados, el tiempo de desconexión es fijo para cada sensibilidad. En los de tiempo temporizado se puede variar el tiempo de disparo, lo que permite coordinar los ID en serie de un mismo circuito para que exista selectividad.

Clases de Interruptores Diferenciales

Existen diferenciales de muy diversos tipos, y la elección se hace en función de los receptores a proteger. Los tipos de uso más frecuente se clasifican:

Según el comportamiento en presencia de componente continua:

Clase AC. El disparo se asegura solo cuando las intensidades de defecto son senoidales, sin componente continua.

Clase A. Asegura la desconexión para corrientes diferenciales alternas senoidales o continuas pulsantes.

Superinmunizados. Son ID que no disparan por transitorios ni presentan el efecto de disparo por simpatía, garantizando el funcionamiento y correcta operación frente a problemas que están presentes en los sistemas de distribución en B.T., tales como: redes perturbadas por sobretensiones atmosféricas (rayos), arranque de motores, puesta bajo tensión de fuerte potencia, alto grado de componentes armónicas, etc.

Según el retardo en presencia de una corriente diferencial:

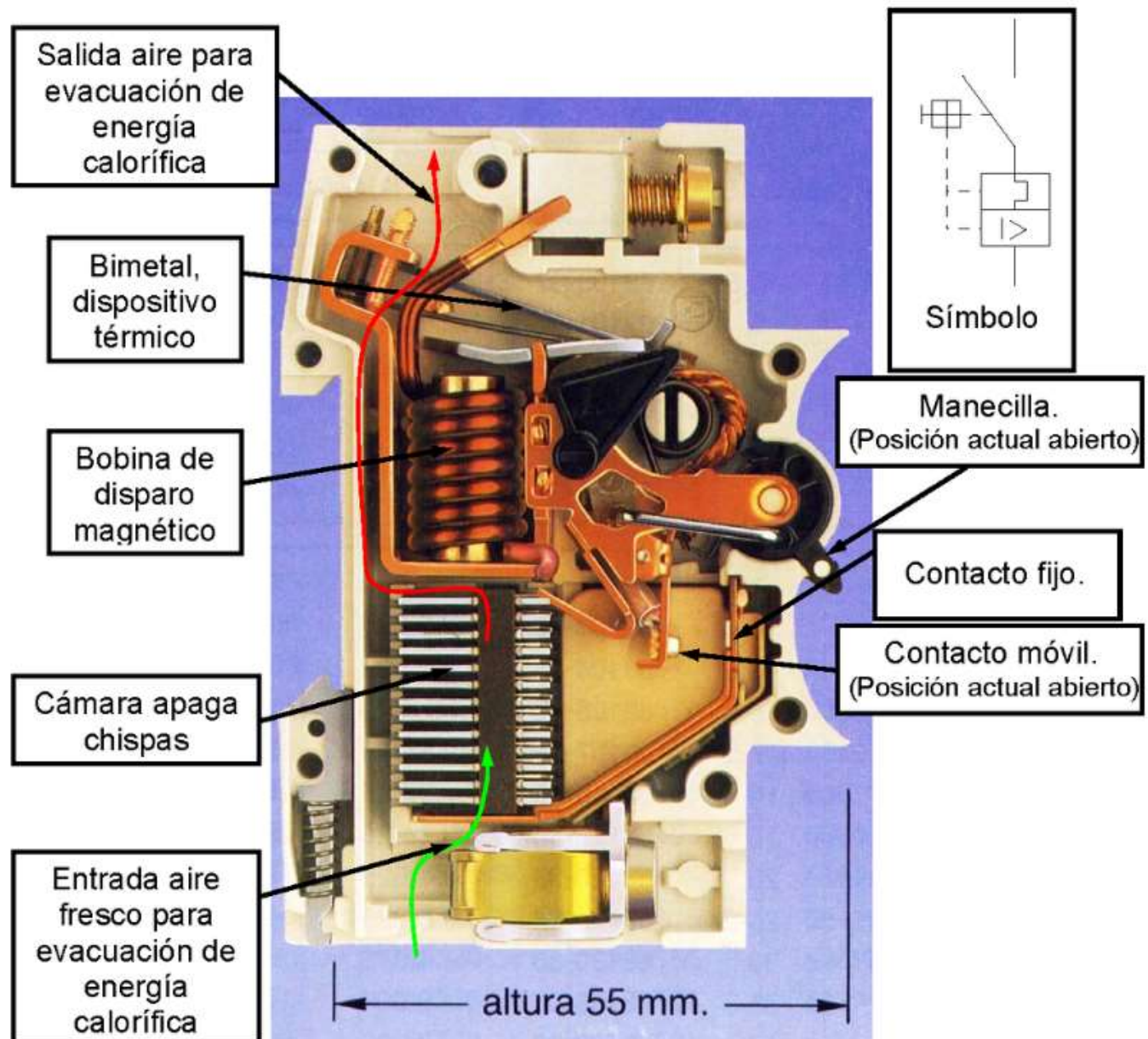
.- Diferencial sin temporización.

.- Tipo S o retardado. Son aquellos que durante un tiempo máximo una corriente diferencial de funcionamiento no provoca su disparo. Se usan cuando se quiere lograr una selectividad diferencial en un circuito.

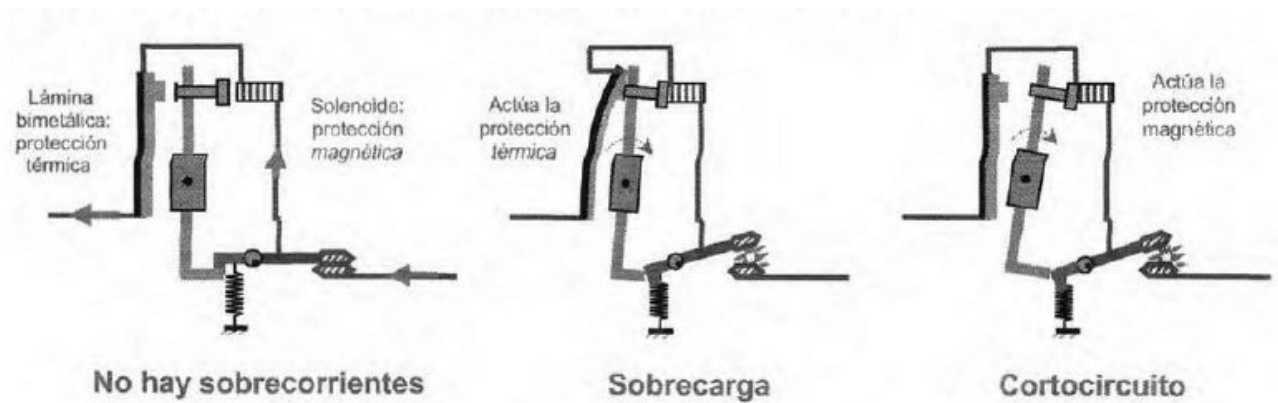
Interruptor magnetotérmico.

El interruptor automático magnetotérmico combina los sistemas de protección magnético y térmico, descritos en los apartados anteriores, en un solo aparato. Poseen dos sistemas de desconexión: manual y automático (que a su vez es magnético y térmico).

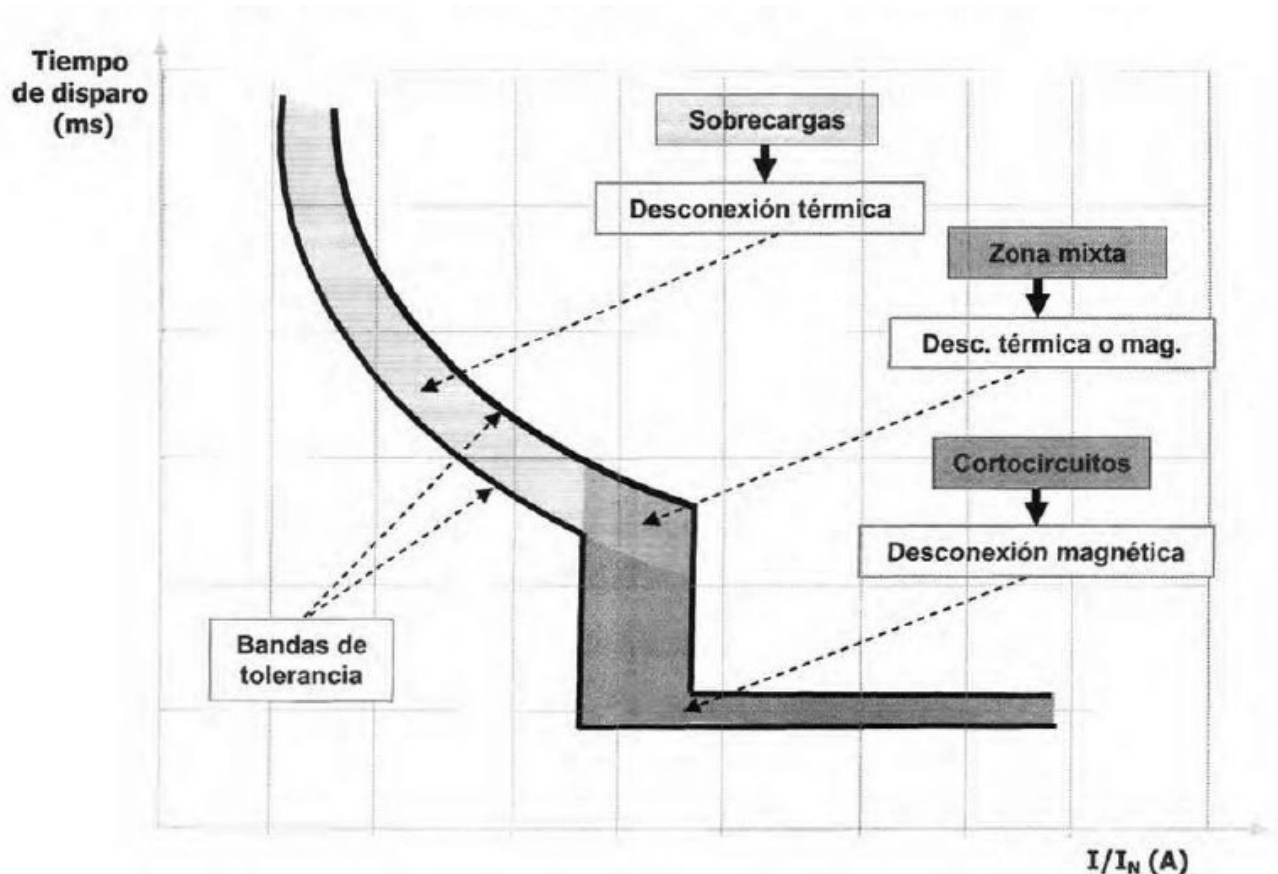
PARTES DE UN MAGNETOTERMICO



La figura muestra tres esquemas del funcionamiento del disyuntor: figura izquierda, funcionamiento sin sobrecorrientes; figura central, actuación térmica; figura derecha, actuación magnética:



En el gráfico de la figura, puede verse la curva de desconexión de un magnetotérmico, en la que se aprecia una zona de desconexión térmica, una zona de desconexión magnética y una zona de solapamiento, en donde el disparo puede ser provocado por el elemento magnético o el térmico indistintamente.

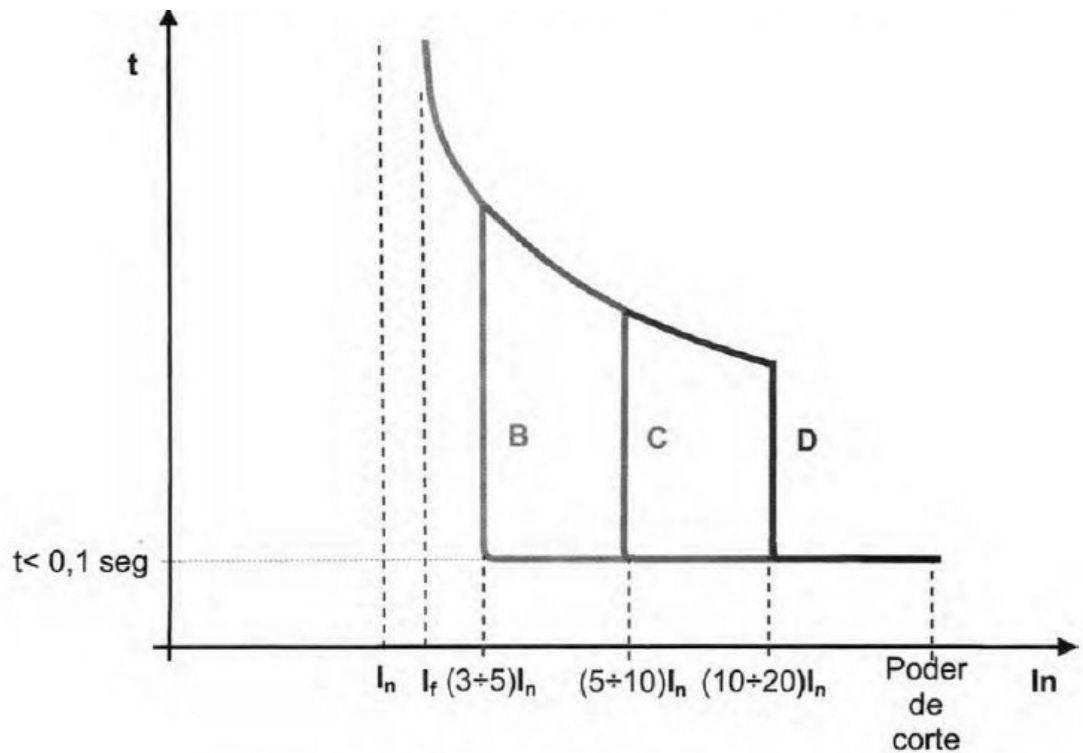


En interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas (IA modulares) se definen tres clases de disparo magnético (I_m) según el múltiplo de la corriente asignada (I_n), cuyos valores son:

Curva B: $I_m = (3 / 5)I_n$. Para la protección de circuitos en los que no se produzcan transitorios.

Curva C: $I_m = (5 / 10)I_n$. Para la protección de circuitos en los que no se prevean transitorios importantes (por ejemplo, arranque de motores).

Curva D: $I_m = (10 / 20)I_n$. Para la protección de circuitos con carga mixta y habitualmente en las instalaciones de uso doméstico o análogo.



Clases de disparo magnético de los PIA

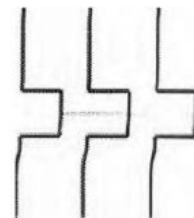
Siendo:

- I_n : intensidad nominal del IA.
- I_f : intensidad de funcionamiento. Valor eficaz de la corriente para la cual el IA dispara en un tiempo convencional (1-2 horas).
- I_m : intensidad magnética. Valor eficaz de la corriente para la cual el IA dispara instantáneamente ($t < 0,1 \text{ s}$).

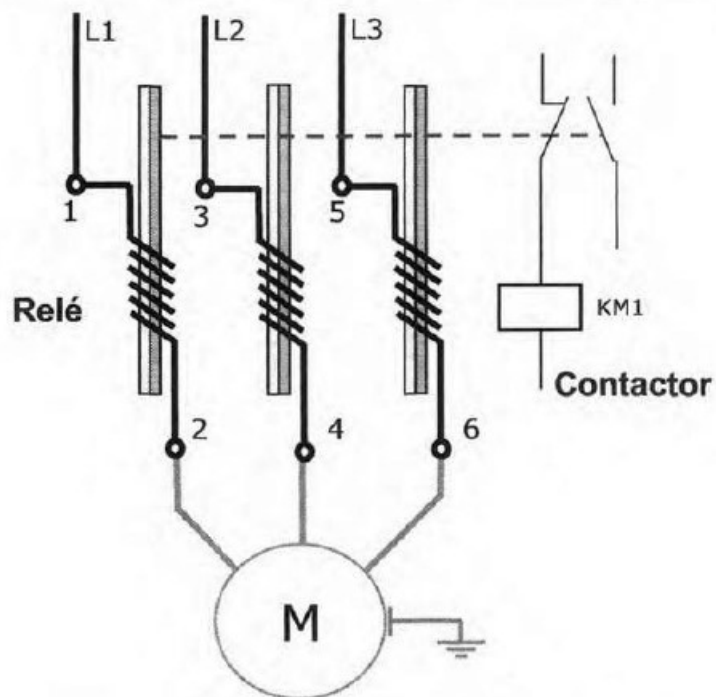
Relé térmico.

Por tener funciones semejantes al disyuntor térmico se explica aquí el relé térmico.

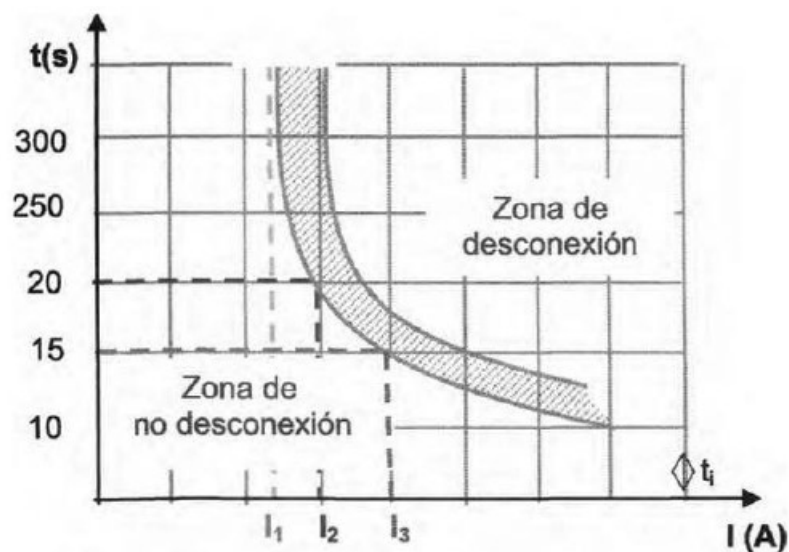
El relé térmico, tiene el mismo principio de funcionamiento que el disyuntor térmico, pero en este caso el circuito de potencia se controla a través de un contactor.



En la figura, siguiente se aprecia que la deformación de las láminas bimetálicas del relé produce un desplazamiento de los contactos auxiliares del contactor:



La curva característica de disparo de un disyuntor térmico es la representada en la figura



Se aprecia que cualquier intensidad menor a I_1 no provocaría la desconexión, en ningún caso. Una intensidad I_2 , por ejemplo, provocaría la desconexión en un tiempo de 20 s y una intensidad I_3 en un tiempo de 15 s.

Fusible.

El fusible es un dispositivo de protección que abre un circuito en caso de sobrecarga y cortocircuito. El funcionamiento se basa en la fusión de un elemento conductor. Una vez iniciado el proceso de fusión, se produce el arco eléctrico dentro del fusible, siendo posteriormente apagado por medio del material de relleno.

Básicamente los fusibles eléctricos se suelen componer de las partes que a continuación se describen y se ven en la figura. Cada una de ellas cumple un papel específico y dependiendo del tipo de fusible y su aplicación es posible prescindir de alguna de ellas.

Base del fusible. Protege y aísla el elemento fusible ubicado en su interior, además debe ser capaz de soportar grandes presiones térmicas y mecánicas en el momento de la fusión del elemento fusible.

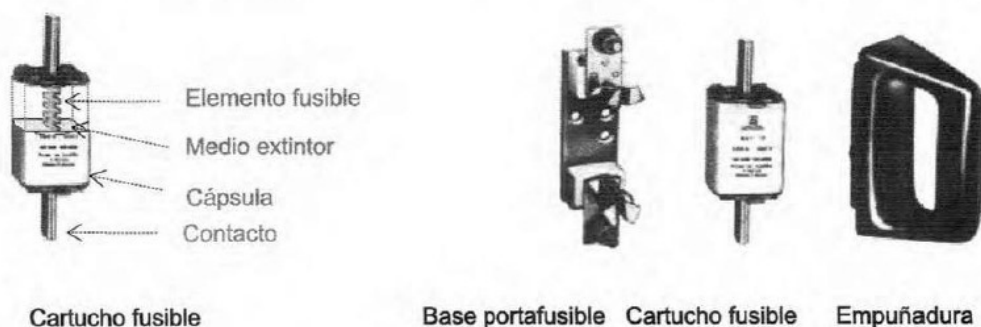
Contactos. Conecta eléctricamente el elemento fusible con el circuito a proteger y ayuda a disipar el calor desarrollado en la operación normal del fusible.

Elemento fusible. En forma de alambre o lámina, suele ser de plata, cobre o zinc.

Medio extintor. Suele ser la sílice, por su buena capacidad de absorción de energía térmica, que es intercambiada con el medio exterior, posibilitando un rápido enfriamiento y ayudando así a la extinción del arco. La sílice, además, llena todos los espacios, dejando sin aire y por lo tanto sin oxígeno el interior del cuerpo fusible.

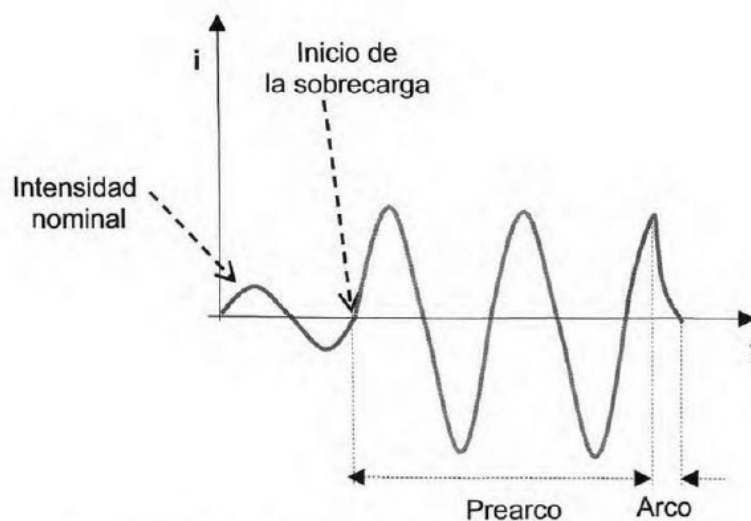
Indicador. Es un dispositivo visual que indica las condiciones del fusible.

Empuñadura. Acoplable al fusible para su inserción o retirada del portafusible.



Un fusible conectado en un determinado circuito puede encontrarse con tres regímenes que caracterizan su condición de trabajo:

- .- Régimen permanente. Durante este régimen, la energía térmica generada por la circulación de la corriente, menos la energía disipada al medio que rodea al fusible, es menor a la energía necesaria para fundir el elemento fusible.
- .- Régimen de sobrecarga. Caracterizado por la interrupción de la corriente que circula por el fusible en un tiempo prolongado (régimen no adiabático). La energía generada por el fusible debida a esta corriente de sobrecarga, menos la energía disipada al medio que rodea al fusible, es mayor que la energía térmica necesaria para provocar la fusión del elemento fusible.



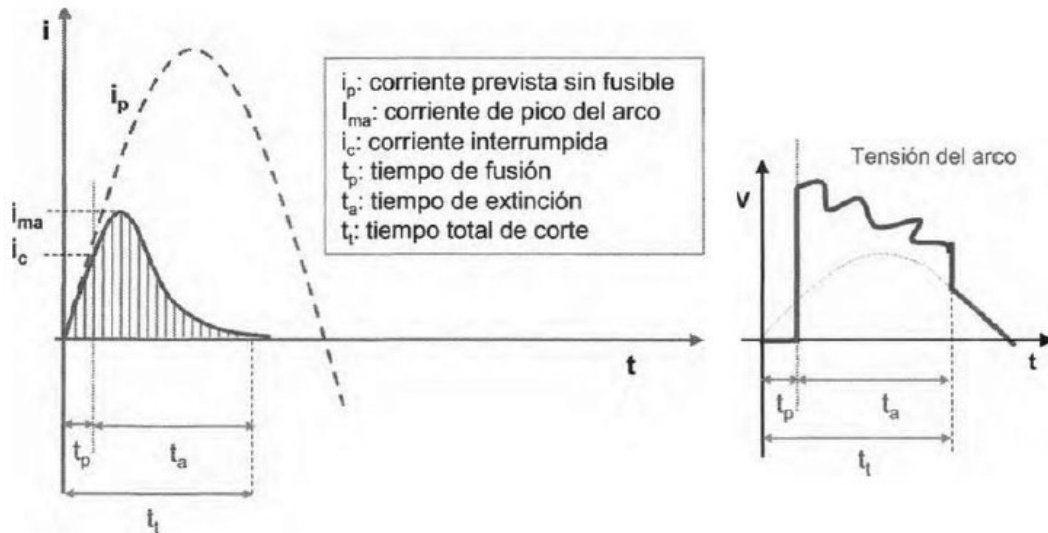
- .- Régimen de cortocircuito. La corriente que circula por el fusible es de gran magnitud, y la energía térmica generada por esta corriente es enteramente utilizada para fundir el elemento fusible, sin disipar energía al medio que lo rodea (régimen adiabático)

En la operación de los fusibles hay que distinguir dos períodos de funcionamiento:

Tiempo de prearco o de fusión comprende el tiempo transcurrido desde que se hace presente una corriente capaz de producir la operación del fusible hasta el instante en que se produce la fusión del elemento fusible. No se ha de confundir el final del período de prearco con el momento en que deja de crecer la corriente, pues en circuitos de elevada tensión de arco, la corriente puede continuar incrementándose durante el período de arco.

Tiempo de arco o de extinción abarca el tiempo transcurrido desde el final del prearco hasta el instante en que se interrumpe el circuito y la intensidad se hace permanentemente nula, depende de la tensión.

El tiempo de corte es la suma de los tiempos de prearco y de arco.



En el funcionamiento de un fusible, también se ha de tener en cuenta:

Corriente prevista en el circuito. Corriente I que circularía por el circuito si el fusible en él instalado fuese sustituido por un conductor de resistencia nula.

Intensidad de corte I_c es el mayor valor instantáneo que alcanza la intensidad, al producirse la operación de un fusible, si no estuviera presente el fusible, la intensidad alcanzaría el valor máximo de i_p , pero por la acción del fusible se alcanza solo i_c . Este valor es importante para reducir el peso de los elementos de sujeción del fusible, cortacircuito, pues los esfuerzos electrodinámicos son proporcionales al cuadrado de la intensidad.

Energía específica $I^2 \cdot t$ o energía por unidad de resistencia de un fusible es la energía que deja pasar un fusible durante su operación de apertura del circuito. La interrupción de la corriente no se produce de una manera instantánea una vez el fusible funda. Después de la fusión del elemento fusible, la corriente continúa circulando por un tiempo a través del arco mantenida por la fuente y por la inductancia del circuito, el arco vaporiza el elemento fusible y el metal vaporizado a alta presión es empujado contra el elemento de relleno donde se produce finalmente la extinción del arco. Si el valor de esta energía es superior al que soporta el receptor o conductor al que protege, se produce la destrucción térmica del mismo. El calor liberado en el circuito se puede calcular multiplicando la resistencia (Q) por la energía específica.

La energía específica es, pues, la suma de la energía específica de prearco correspondiente a la mínima energía necesaria para alcanzar el punto de fusión del elemento activo del fusible (constante para cada fusible), y la energía específica de arco correspondiente a la energía desarrollada durante la extinción del arco (función de la tensión aplicada).

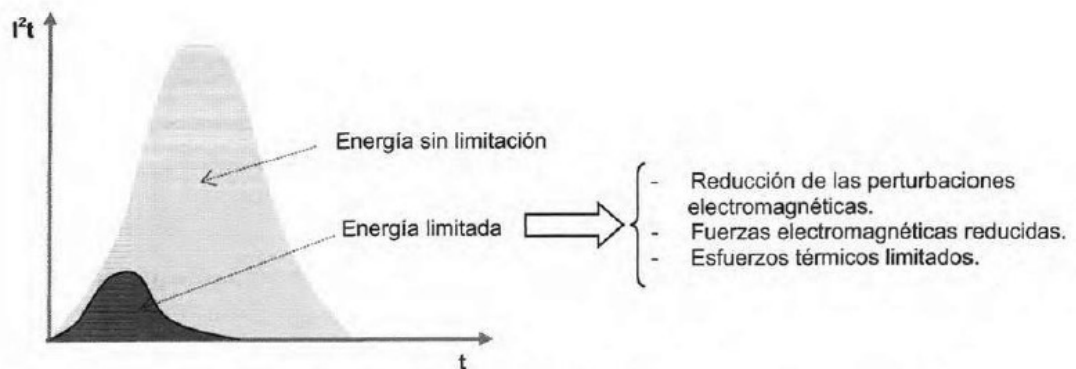
Limitación de corriente. Un fusible produce una limitación de corriente cuando bajo condiciones de cortocircuito interrumpe la circulación de corriente antes de que se produzca el pico máximo del primer semiciclo de la corriente disponible, por tanto, el circuito queda interrumpido dentro del primer semiciclo. De acuerdo con esta característica existen:

Fusibles limitadores de corriente. Deben su nombre al rápido tiempo de operación que poseen.

La principal característica de estos fusibles es que son capaces de interrumpir la corriente antes de que esta alcance su valor máximo. Esto obliga a tener tiempos de fusión y de

apagado de arco inferiores a un cuarto de ciclo (5 ms). La limitación, al disminuir los efectos perjudiciales de los cortocircuitos, contribuye a alargar la vida de las instalaciones eléctricas, figura

Fusibles no limitadores de corriente. Son los que interrumpen la corriente, pasado su valor máximo instantáneo.

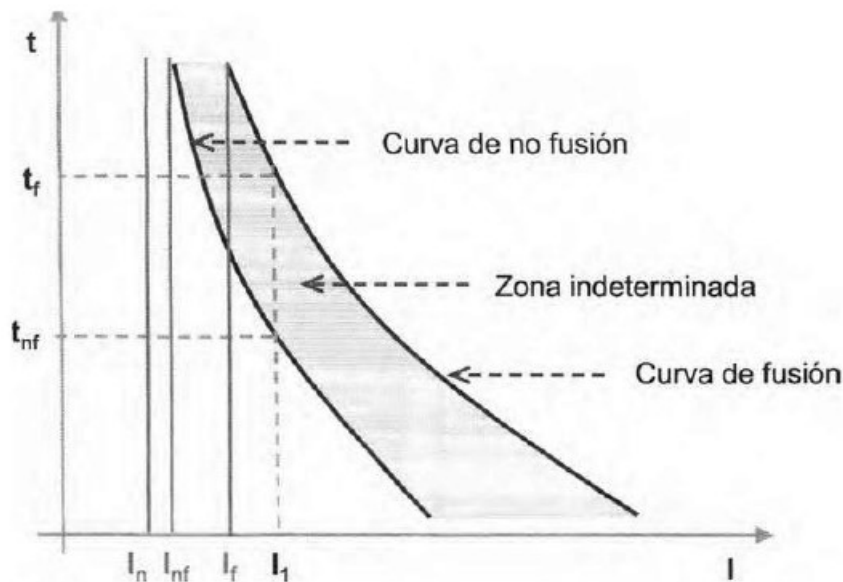


Características principales

Calibre o Intensidad nominal I_n . Es la intensidad que el fusible es capaz de conducir indefinidamente sin fundir. Debe ser igual o mayor que la intensidad nominal del circuito o la máquina a proteger, y menor que la máxima corriente admisible por el conductor. En B.T. son valores normalizados: 2-4-6-8-10-12-16-20-25-32-40-50-63-80-100-125-160-200-250-315-400-500-630-800-1.000 y 1.250, aunque no es frecuente el empleo de fusibles de intensidades superiores a 250 A.

Tensión nominal U_n . Valor eficaz máximo de tensión para el cual el fusible está diseñado. El fusible puede ser usado para cualquier tensión igual o inferior a este valor. Los valores habituales son: 250, 400, 500 y 600 V.

Intensidad de fusión. Intensidad I_f que garantiza la fusión del fusible,



Intensidad de no fusión. Máxima intensidad I_{nf} que el fusible es capaz de soportar con la seguridad de no fundir.

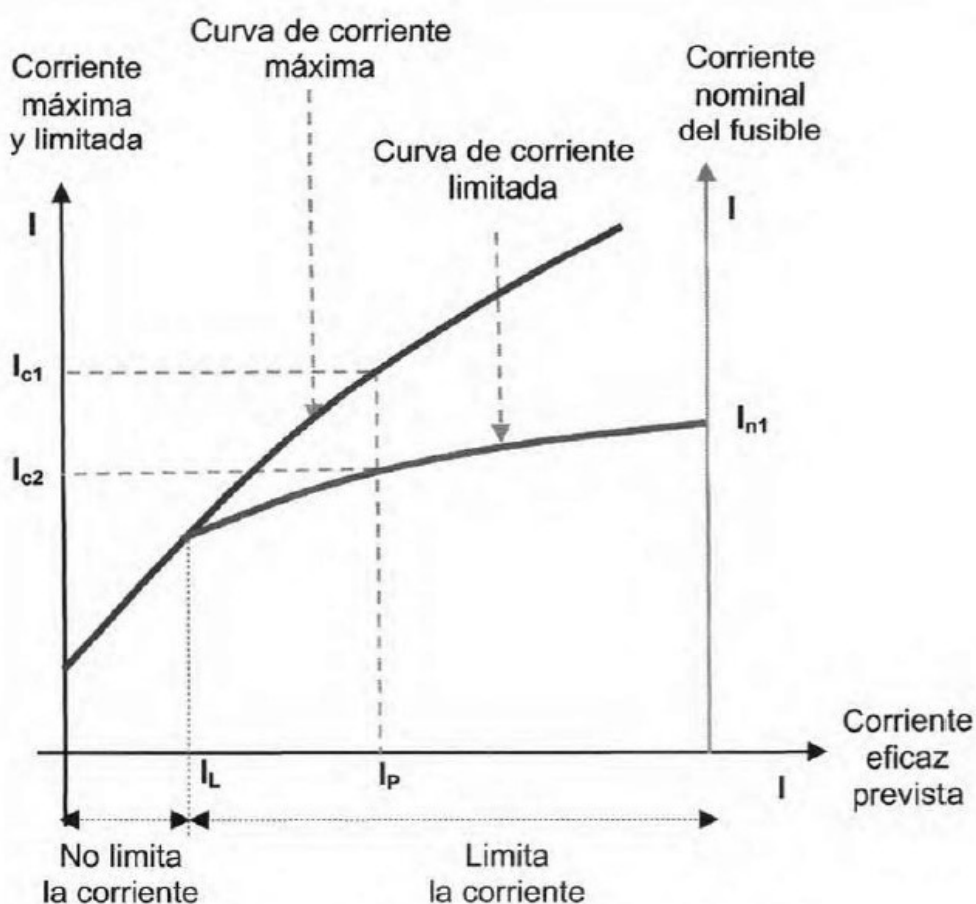
Poder de corte. Es la máxima corriente de cortocircuito que el fusible es capaz de interrumpir a tensión nominal sin que en él se produzcan daños físicos. Cuanto más elevado es el poder de corte, más idóneo es el fusible para proteger las instalaciones contra las corrientes de cortocircuito.

Característica I/t. Es una gráfica que representa el tiempo en segundos que tarda el fusible en interrumpir para una determinada corriente. Estas curvas son representadas en forma logarítmica para facilitar su lectura.

Ejemplo, un fusible por el que circula la intensidad I_1 , fundirá a partir de un tiempo t_f , mientras que no fundirá en ningún caso para un tiempo inferior a t_{inf} . Además, entre ambos tiempos (banda de tolerancia) podrá fundir o no, según el estado del fusible, tiempo en funcionamiento, etc.

Los fabricantes suelen dar solamente la curva de intensidad de fusión, pues es la que verdaderamente es útil para la elección del fusible.

Característica de limitación. El fusible limitador impide que la corriente alcance el valor de cresta previsto en caso de defecto, limitándola al valor que tenía en el prearco. Esta limitación de corriente reduce significativamente los esfuerzos térmicos y electrodinámicos, disminuyendo de esta forma los peligros y daños para las corrientes de cortocircuito elevadas.



En esta gráfica, en el eje de abscisas se representa el valor de la intensidad eficaz y en el eje de ordenadas se representan los valores máximos de la corriente instantánea disponible y de la corriente limitada por el fusible.

Como se puede observar en la figura, el efecto de limitación de la corriente ocurre solo cuando la corriente de cortocircuito presumida supera un cierto nivel.

Ejemplo: en la figura, un fusible de intensidad nominal I_{n1} comienza a limitar la corriente de cresta a partir de I_L , para una intensidad de cortocircuito prevista I_P limita la intensidad a I_{c2} , sin fusible limitador la corriente de cresta sería I_{c1} .

Característica $I^2 \cdot t$. Energía específica pasante ($I^2 \cdot t$) es la energía que deja pasar el fusible al eliminar un defecto. Si el valor de esta energía es superior al que soporta el receptor al que protege, se produce la destrucción térmica del mismo. Como el calor liberado se obtiene por la fórmula $Q = I^2 R \cdot t$ esta característica representa la energía liberada en un ohmio de resistencia. Es un valor fundamental para determinar la selectividad entre protecciones.

Fusibles Clasificación.

a) Según la función y clase de uso:

Los fusibles de B.T. se designan con dos letras, según la zona de interrupción y su utilización:

La primera letra indica la clase de función a desempeñar:

Letra "g": fusible de uso general, actúa tanto en presencia de corrientes de cortocircuito como en sobrecarga.

Letra "a": fusible de acompañamiento, actúa solamente en presencia de corrientes de cortocircuito, figura

La segunda letra indica el tipo de circuito a ser protegido:

Letra "G" fusibles de uso general.

Letra "L" fusibles para la protección de conductores (equivalente al G).

Letra "M" fusibles para la protección de motores.

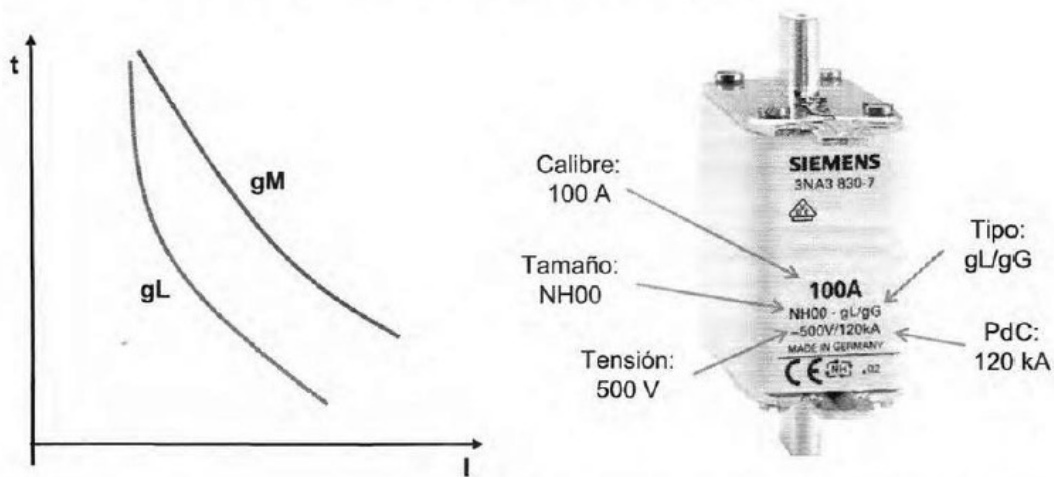
Letra "R" fusibles para la protección de semiconductores (dispositivos electrónicos).

Letra "Tr" fusibles para la protección de transformadores.

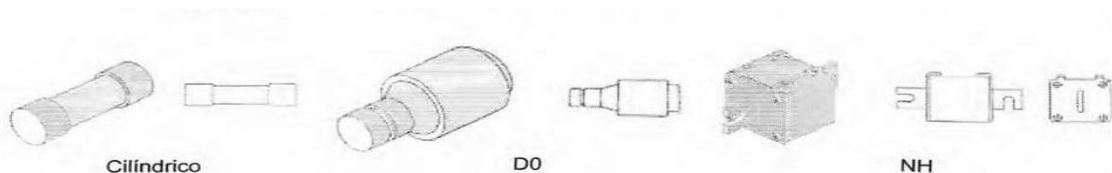
Letra "B" fusibles para la protección de líneas de gran longitud.

Letra "C" fusibles para la protección de condensadores y circuitos capacitivos.

Letra "D" fusibles con tiempo de acción retardado.



b.-) Según su modelo, figura:



.-Cartuchos cilíndricos. Poder de 80-120 kA.

-Fusibles tipo D. Poder de corte 50 kA.

-Fusibles tipo DO. Poder de corte 50 kA.

-Fusibles cuchillas NH. De alta capacidad de ruptura. Poder de corte 80/120 kA.

c.-) Según su velocidad de respuesta. Según su rapidez de fusión los fusibles se clasifican en:

Lentos. Funden en 1 segundo para $I = 5 \text{ If}$.

Rápidos. Funden en 1 segundo para $I = 2,5 \text{ If}$.

De acompañamiento. Funden en 1 segundo para $I = 8 \text{ If}$.

Fusibles Selectividad.

En los sistemas eléctricos, entre la fuente que proporciona la energía y el lugar de la instalación donde ocurre una sobrecarga o cortocircuito, suele haber varios aparatos de protección. Con objeto de desconectar la zona afectada, es necesario que los fusibles reaccionen rápidamente,

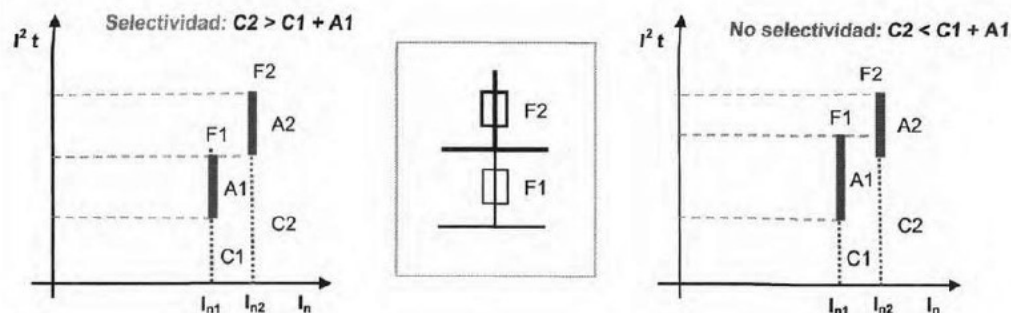
seleccionando la zona y separándola del resto del sistema en el menor tiempo posible de manera que la perturbación no afecte al resto de la red. Para esto debe desconectar primero el fusible más cercano al lugar de defecto, y si por algún motivo este fusible no opera adecuadamente, debe actuar el siguiente que esté ubicado aguas arriba, y así sucesivamente.

La coordinación entre fusibles se determina gráficamente mediante la comparación de sus respectivas curvas características de operación.

En general, para tener un buen grado de selectividad, debe existir una relación 2:1 entre las corrientes nominales de los fusibles que se desean coordinar.

Para que exista selectividad en caso de cortocircuito (condiciones adiabáticas) es necesario hacer un análisis de las energías térmicas prearco (C1) y total, y debe cumplirse que la energía de prearco sumada a la energía de arco (A1) del fusible situado aguas abajo debe ser menor que la energía de prearco (C2) del fusible situado aguas arriba.

Existe selectividad si: $C2 > A1 + C1$



Conductores eléctricos utilizados en baja tensión.

La transmisión de energía eléctrica, desde la acometida eléctrica hasta los puntos de consumo, se realiza mediante conductores eléctricos. Dichos conductores se pueden clasificar siguiendo distintos criterios.

Cables y Embarrados

La distribución de energía eléctrica por cables es el método más extendido, tanto para potencias moderadas como para salvar grandes distancias.

Seguidamente, se describen las características y principales aplicaciones de este tipo de líneas.

<p>Embarrados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Canalizaciones rígidas, prefabricadas en tramos de poca longitud. • Se componen de una parte interior con: <ul style="list-style-type: none"> □ Tres secciones conductoras de cobre, tres fases. □ Una sección para el neutro. □ Otra para la protección de tierra. • Secciones embutidas en material aislante y acabadas en una envolvente metálica que les da rigidez. • Tienen apariencia de viga metálica, y se van uniendo sus secciones atornillándolas entre sí. • Sirven, fundamentalmente, para transmitir mucha corriente, donde los cables tendrían tanto diámetro que no serían flexibles. • Elevada rigidez y resistencia mecánica. • Son muy caros y tienen muchos puntos de empalme que, si no están bien realizados, pueden provocar puntos calientes en el embarrado.
--------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Cables	<ul style="list-style-type: none"> • Comercializados en carretes de elevada longitud, de este modo se evitan los empalmes. • Compuestos de conductores y el aislamiento.
---------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Existen distintos de instalaciones para cables, cuyas propiedades, y condiciones en las que se deben emplear, se estudiarán a continuación:

Conductores de Cobre y Aluminio

Tanto el cobre como el aluminio se emplean como materiales conductores. Sin embargo, poseen distintas propiedades que van a determinar su aplicación:

Cobre	Posee una conductividad , 56, superior al aluminio , 35, por lo que a igualdad de potencia, se necesitan menores secciones de cable.
Aluminio	<p>Más económico que el cobre, para transportar la misma corriente. Por ello, normalmente se emplean cables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De aluminio, para líneas de alta tensión. Ya que, en ellas, no importa tener una sección superior, pero sí el coste de muchos kilómetros de cable. • De cobre, para instalaciones interiores. Debido a que, en ellas, prima más el espacio ocupado y la facilidad de instalación.

Cables Unipolares y Mangueras

En función del nivel de aislamiento y de la corriente a transportar se empleará un tipo u otro de cables.

Los cables con un nivel de aislamiento de 1000 V podrán ser tipo manguera o unipolar.

Nivel de Aislamiento del Cable	
Definición	Tensión de prueba que puede soportar sin averías.
Tipos	<p>Normalmente, se emplean en BT, dos tipos de aislamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 750 V. Para líneas secundarias. Estos cables deben ir siempre instalados dentro de un tubo o canal cerrado, y son siempre del tipo unipolar. • 1000 V. Para líneas principales. Pueden ir instalados sobre bandejas abiertas, y pueden ser cables del tipo manguera o unipolares.

Aislamiento en Policloruro de Vinilo o Polietileno Reticulado

El haz de conductores se encuentra aislado en el cable por Policloruro de Vinilo , PVC, o por Polietileno Reticulado, PER.

Aunque el PVC es más económico que el PER, éste tiene mayor rendimiento, por lo que admite mayor densidad de corriente para la misma sección de cable.

Cables Unipolares	<ul style="list-style-type: none">□ Cada cable lleva sólo un conductor.□ Se emplearán cuando el nivel de aislamiento sea de 750 V.
Cables Manguera	<ul style="list-style-type: none">□ Existen varios conductores en un solo cable. Por ejemplo, tres fases, neutro y tierra.□ Por motivos de manejo, solo se emplean mangueras hasta secciones de 50 mm². Secciones superiores requieren cables de tipo unipolar.

Instalación de Cables

Instalación al Aire	<ul style="list-style-type: none">• Empleada, según el reglamento, para cables con niveles de aislamiento de 1.000 V. Éstos irán fijados, directamente, a techos, o paredes, con grapas.• Instalación al Aire Empleada, según el reglamento, para cables con niveles de aislamiento de 1.000 V. Éstos irán fijados, directamente, a techos, o paredes, con grapas.• Opción no recomendable. El cable no posee ningún tipo de protección mecánica contra golpes.• Ventajas respecto de otro tipo de instalaciones:<ul style="list-style-type: none">□ Más económica que fijar el cable en una bandeja. Pero sólo cuando existe un solo cable.□ Disipa mejor el calor generado, al transportar la corriente, que en las instalaciones bajo tubo. El reglamento admite el paso corrientes más elevadas, para un mismo cable, si está instalado en bandeja, o en el aire, que si está bajo tubo.
----------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Instalación Bajo Tubo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obligada para cables con aislamiento de 750 V. • Más conveniente para cables pequeños y circuitos individuales, no agrupados. • Instalación, según reglamento: <ul style="list-style-type: none"> – Soportes cada 80 cm. – En cada derivación, o cada 3 curvas, como máximo, se instalará una caja de conexión. • Aplicaciones según el tipo de tubo: <ul style="list-style-type: none"> – Tubo rígido, en instalaciones vistas y cuando se busca protección mecánica. – Tubo flexible, cuando el tubo va empotrado, bajo falso techo, ó en alimentación a máquinas, para evitar la transmisión de vibración desde la máquina a la instalación. – Tubo rígido de plástico para una protección normal. – Para protección extra, o si se precisa evitar interferencias entre líneas de corriente y comunicaciones, se empleará tubo metálico. • El R.E.B.T especifica el tubo necesario para alojar cada sección de cable. • Canaleta, alternativa a los tubos: <ul style="list-style-type: none"> – Canalizaciones con perfiles cuadrados o rectangulares con tapa. – De PVC o acero galvanizado. – Con mayor capacidad que los tubos, ya que caben varios circuitos.
-------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Instalación en Bandeja</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja. Perfil rígido abierto, aunque también puede ser con tapa. Posee como características: <ul style="list-style-type: none"> – Construidas con material plástico o metálico. – De distintas dimensiones y tipos: ranuradas, ciegas, con varios compartimentos. – Son las canalizaciones más indicadas para soportar un gran número de cables. • Instalación: <ul style="list-style-type: none"> – Dejar 30 cm, como mínimo, en su parte superior, para sacar y colocar los cables. – Cables grapados a la bandeja. – Soportes, en las bandejas, cada 150 cm. La distancia puede variar en función del peso que aguante la bandeja. • Dimensionado: <ul style="list-style-type: none"> – Recurrir a catálogos de fabricantes, cuando las bandejas transportan determinados cables. – Sobredimensionar un 50% la capacidad de las bandejas para prever futuras ampliaciones de la instalación. • Alternativas para pavimentos, falsos suelos o canales empotrados de hormigón, basadas en el mismo sistema. Estas soluciones son adecuadas para oficinas.
--------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Caída de tensión.

En el dimensionado de circuitos eléctricos hay que considerar **dos factores**:

- La **densidad de corriente** admisible del cable, para que no se produzca un calentamiento excesivo.
- La **caída de tensión**, para asegurar que llegue un nivel de tensión mínimo al punto de consumo.

Si de una fuente de corriente continua (c.c.) de tensión V_0 se alimenta un receptor de potencia P mediante una línea de longitud L y sección de los conductores S , en los bornes de dicha carga la tensión V será menor que V_0 , debido al paso de la corriente I , consumida por el receptor, por los conductores de la línea que tienen una resistencia R . Esta diferencia entre V y V_0 se conoce con el nombre de caída de tensión (c.d.t.).

$$\delta = V - V_0$$

En forma porcentual, la caída de tensión porcentual es:

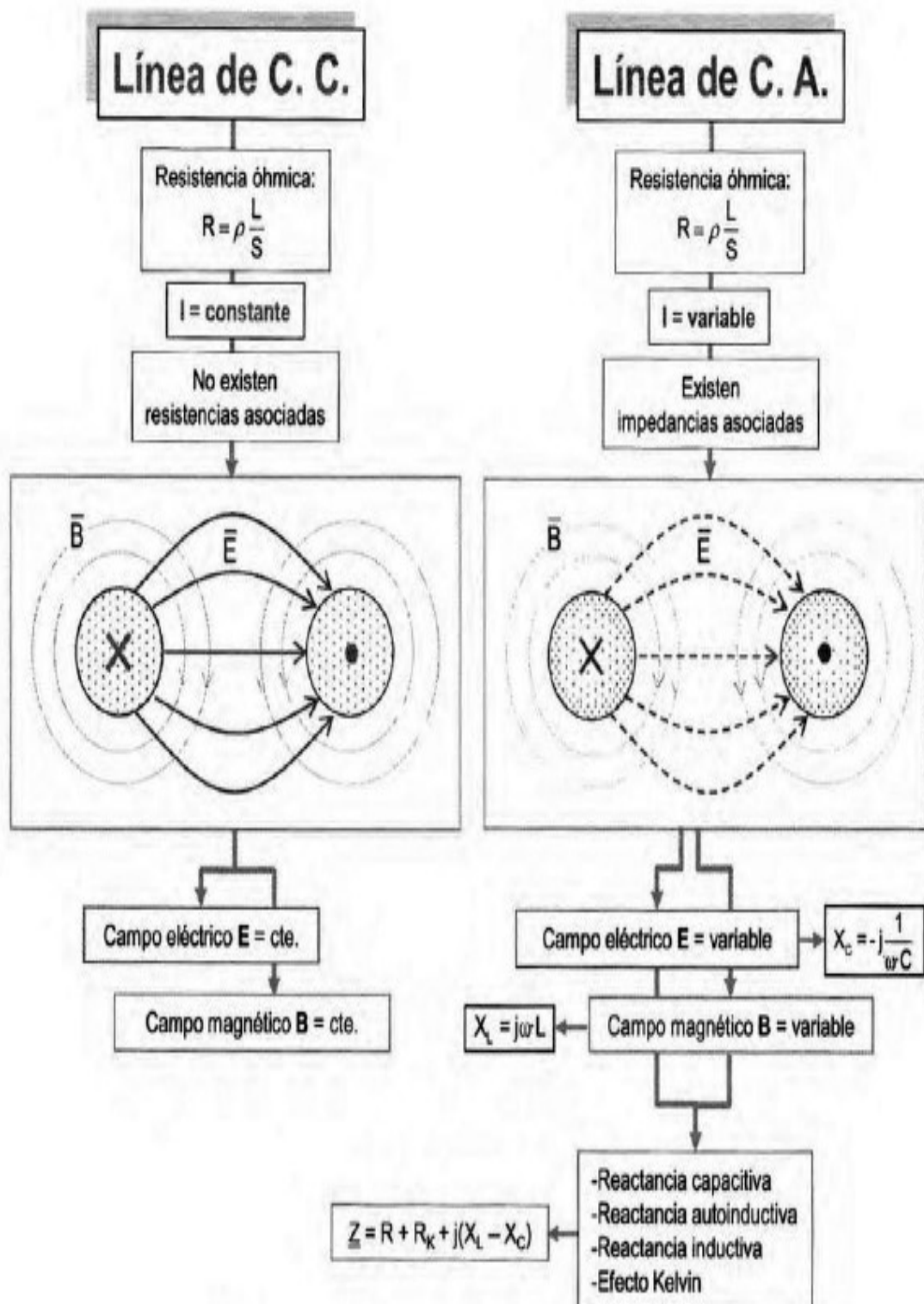
$$\delta\% = \frac{V_0 - V}{V_0} 100$$

En las líneas recorridas por corrientes alternas (c.a.), los conductores ofrecen una resistencia R al paso de la corriente produciéndose una c.d.t., de la misma manera que ocurre en c.c. Pero aparte de esto, se producen otros fenómenos complejos, debidos a los efectos de la autoinducción, inducción mutua y capacidad de los conductores. A continuación, se verán brevemente sus efectos:

1. Un primer efecto de inducción es el efecto Kelvin o efecto pelicular, debido al cual en un conductor la corriente circula más fácilmente por los filetes más próximos a la periferia, repartiéndose desigualmente a través de la sección del conductor, dando lugar a que la densidad de corriente en el mismo no sea constante. El efecto es el mismo que si la sección fuese más pequeña cuando el conductor está recorrido por c.a. y, debido a esto, la resistencia real u óhmica de dicho conductor es mayor en c.a. que en corriente continua (c.c.), y el aumento es tanto más grande cuando más elevada sea la frecuencia de aquella y mayor la sección del conductor. Este efecto es prácticamente despreciable para las frecuencias industriales, en conductores de diámetro inferior a 15 mm y que estén contruidos por un material no magnético como Cu y Al.
2. Un segundo efecto de la inducción es la de originar en cada conductor una dificultad al paso de la corriente debido a las variaciones del campo magnético de la misma, llamada reactancia de autoinducción (función del diámetro del conductor), y otra dificultad añadida a la anterior debido a las variaciones de las corrientes que circulan por los otros conductores que forman la línea llamada reactancia de inducción mutua (función de las distancias entre conductores). Estos dos fenómenos de inducción se presentan simultáneamente dando lugar a una reactancia de servicio XL.
3. Por último se tiene el efecto capacitivo. Los conductores de una línea, aislados entre sí y aislados de tierra, son, desde el punto de vista eléctrico, equivalentes a las armaduras de un condensador y, cuando están a potenciales distintos, toman una carga eléctrica dependiente de los valores de dichos potenciales entre sí y respecto de tierra. En una línea de c.a. como estos potenciales varían constantemente, se origina una corriente transversal que se suma a la corriente de la línea y que es perjudicial. La magnitud de este efecto es significativa para líneas aéreas de gran longitud y las subterráneas por la proximidad de los conductores.

Para el cálculo de las secciones en B.T. solo se considera el efecto resistivo (y en algún caso el efecto inductivo), pues los efectos inductivos y capacitivos, aunque muy

importantes en A.T. y líneas largas, no lo son tanto en B.T. y líneas de corta longitud. Se hace un resumen en la figura:



Se deberá estudiar el cable, desde los dos puntos de vista, y tomar la sección normalizada que sea más desfavorable, de los dos casos.

Para el cálculo de la sección, por caída de tensión del mismo conductor, se han de emplear las siguientes fórmulas:

Circuito Monofásico	$S = \frac{2 \cdot P \times L}{\sigma \times U \times e}$
Circuito Trifásico	$S = \frac{P \times L}{\sigma \times V \times e}$
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S, es la sección del cable en mm². • P, es la potencia en W. • L, es la longitud del conductor en m. • σ, es la conductividad del conductor en m/mm²·Ω. Su valor es 56 para el cobre y 35 para el aluminio. • e, es la caída de tensión en V. • U, es la tensión entre fases y neutro en V. • V, es la tensión entre fases en V. 	

En la siguiente tabla se muestran las caídas de tensión máximas en las líneas eléctricas definidas por el REBT.

REBT: caída de tensión máxima en las líneas		
Líneas de distribución	Compañía distribuidora	Cía. distribuidora
Acometidas	Compañía distribuidora	ITC-BT-11
Alumbrado exterior	3%.	ITC-BT-09
Instalación de enlace: Línea General de Alimentación (LGA)	<ul style="list-style-type: none"> • Contadores centralizados: 0,5% • Contadores no centralizados: 1% 	ITC-BT-14
Instalación de enlace: Derivación Individual (DI)	<ul style="list-style-type: none"> • Contadores centralizados: 1% • Contadores no centralizados: 0,5% • Usuario único (no existe LGA): 1,5% 	ITC-BT-15
Instalación de enlace: instalaciones interiores	<ul style="list-style-type: none"> • Viviendas: 3% • Industrias y comercios: <ul style="list-style-type: none"> - Alumbrado: 3% - Otros usos: 5% • Industrias con CT propio: <ul style="list-style-type: none"> - Alumbrado: 4,5% - Otros usos: 6,5% 	ITC-BT-19

Intensidades máximas admisibles.

En el cálculo de los conductores de una línea eléctrica es preciso tener en cuenta, fundamentalmente, el calentamiento del conductor:

.- Calentamiento del conductor. La sección del conductor se ha de determinar de tal manera que el calor producido por el paso de la corriente por el mismo no deteriore ni el conductor ni el aislamiento. Se han de considerar dos intensidades:

- La intensidad nominal de consumo de la carga.
- La intensidad de cortocircuito.

Al circular una corriente I por un conductor de resistencia R se produce una cantidad de calor, que según la Ley de Joule tiene por valor en calorías:

$$Q = 0,24 I^2 R t$$

Una parte de este calor Q_1 calienta el conductor, mientras que el resto Q_2 se disipa por conducción, convección y radiación, figura 3.1 (izquierda). Si se considera que el conductor es cilíndrico de diámetro d , longitud L , y la resistividad ρ constante, el balance energético en dicho conductor se hace en la tabla

Energía aportada:	$Q = 0,24 I^2 R t$ $= 0,24 I^2 \frac{\rho L}{S} t$	Q = calorías ρ = resistividad del conductor S = sección del conductor t = tiempo
Energía en calentar el conductor:	$Q_1 = m c (\theta_f - \theta_0)$ $= \gamma V c (\theta_f - \theta_0)$ $= \gamma S L c (\theta_f - \theta_0)$	m = masa del conductor c = calor específico del conductor θ_0 = temperatura inicial del conductor θ_f = temperatura final del conductor V = volumen del conductor S = sección del conductor γ = peso específico del conductor
Energía disipada:	$Q_2 = K S_L (\theta_2 - \theta_1) t$ $= K \pi d L (\theta_2 - \theta_1) t$	K = coeficiente de proporcionalidad S_L = superficie lateral del conductor ($S_L = \pi d L$) θ_2 = temperatura del medioambiente θ_1 = temperatura del conductor
Principio de conservación de la energía	$Q = Q_1 + Q_2$	$0,24 I^2 R t = m c (\theta_f - \theta_0) + K S_L (\theta_2 - \theta_1) t$

Utilizando el cálculo diferencial, la ecuación de $Q = Q_1 + Q_2$ se puede poner en la forma:

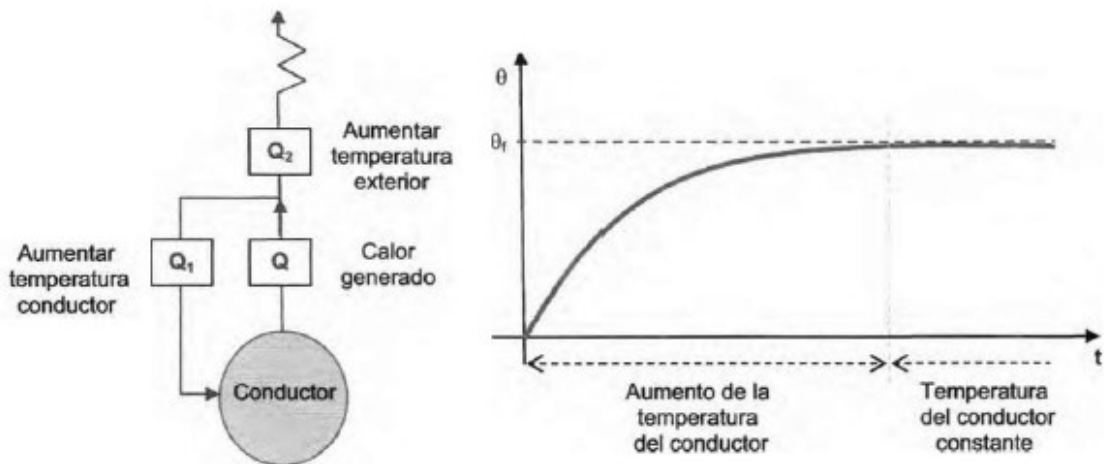
$$0,24 I^2 R dt = m c d\theta + K S_L \theta dt$$

$$dt = \frac{S^2 \gamma c d\theta}{0,24 I^2 \rho - K \pi d S \theta}$$

De donde, por integración, resulta:

$$\theta = \frac{\rho I^2}{K \pi d S} (1 - e^{-K \pi d t / c \gamma S})$$

Podemos representar gráficamente esto como:



El calor aportado aumenta la temperatura del conductor hasta una temperatura límite, a partir de la cual la cantidad de calor que se produce en el conductor, Q , es igual a la que se disipa por conducción, convección y radiación, Q_2

$$Q = Q_2$$

$$0,24 I^2 \frac{\rho L}{S} t = K \pi d L (\theta_2 - \theta_1) t$$

$$(\theta_2 - \theta_1) = \Delta\theta = \frac{0,24 \rho d I^2}{4 K S^2} = \frac{0,24 \rho}{4 K} d \sigma^2$$

De esta expresión se deducen las siguientes consecuencias:

- Para un conductor dado la temperatura límite es sensiblemente proporcional al cuadrado de la densidad de corriente σ .
- Para una temperatura límite impuesta en el conductor (suele ser de 70°C si el aislamiento es termoplástico y de 90°C si el aislamiento es termoestable), y condiciones de enfriamiento determinadas ($K = \text{cte.}$), la densidad de corriente o que se puede admitir es tanto menor cuanto mayor es el diámetro d del conductor. Esto quiere decir que, desde el punto de vista de su

calentamiento, los conductores gruesos son poco aconsejables, es preferible sustituirlos por un conjunto de conductores de diámetro inferior.

c) En igualdad de condiciones, la densidad de corriente σ ha de ser tanto menor cuanto más pequeño sea K, es decir, cuanto peor sean las condiciones de enfriamiento del conductor (aislante, tubo, etc.).

La fórmula anterior, agrupando constantes y despejando I, se puede poner en la forma:

$$I = K' d^{3/2}$$

Que determina la intensidad I, para una temperatura límite determinada, en función del diámetro del conductor.

Todo esto se traduce en unas tablas que, en función de la naturaleza del conductor (p: Cu, Al, etc.), condiciones de enfriamiento (K: aislamiento, canalización, exposición) y diámetro d (o sección S), dan la intensidad máxima I_{max} en el conductor (o la densidad σ_{max}).

En la tabla siguiente se hace referencia a las intensidades máximas por los conductores en las diferentes ITC-BT del REBT.

Intensidades máximas en los conductores según el REBT

REBT: intensidades máximas en los conductores	
Redes aéreas	ITC-BT-06
Redes subterráneas	ITC-BT-07
Instalación de enlace: línea general de alimentación	ITC-BT-14 → Guía-BT-14
Instalación de enlace: derivación individual	ITC-BT-15 → ITC-BT-19 + ITC-BT-07
Instalación de enlace: instalaciones interiores	ITC-BT-19

En las tablas que siguen se dan los valores indicados en la Norma UNE 20 435.

En la siguiente tabla se dan las temperaturas máximas admisibles en el conductor según los tipos de aislamiento.

Tipo de Aislamiento seco	Temperatura máxima (°C)	
	Servicio permanente	Cortocircuito $t \leq 5s$
Policloruro de vinilo (PVC) $S \leq 300 \text{ mm}^2$ $S > 300 \text{ mm}^2$	70	160
	70	140
Polietileno reticulado (XLPE)	90	250
Etileno Propileno (EPR)	90	250

Las intensidades máximas admisibles en servicio permanente dependen en cada caso de la temperatura máxima que el aislamiento pueda soportar sin alteraciones de sus propiedades eléctricas, mecánicas o químicas. Esta temperatura es función del tipo de aislamiento y del régimen de carga.

Para las intensidades máximas admisibles consideraremos dos situaciones diferentes, por un lado los conductores cuya distribución sea aérea, y por otro lado los que discurren enterrados,

empecemos por los aéreos, aparte hay que considerar el tipo de instalación, tipo de cable (aislamiento y conductor activo), las agrupaciones de cable y aplicar unos factores de corrección en función de estas agrupaciones y la temperatura; en las siguientes tablas se ve en proceso. Lo primero es identificar el método o forma de instalación según la tabla:

A	Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes.
A2	Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes.
B	Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra.
B2	Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra.
C	Cables multiconductores directamente sobre la pared.
E	Cables multiconductores al aire libre. Distancia sobre la pared no inferior a $0,3D$.
F	Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia sobre la pared no inferior a D .
G	Cables unipolares separados mínimo D .

Luego debemos identificar el tipo de aislante del cable y número de cables de la manguera, que relacionaremos con la sección del conductor activo y el tipo de material del mismo, cobre o aluminio, así obtenemos por ejemplo la siguiente tabla, que nos refleja las intensidades admisibles en instalaciones interiores, con conductores de cobre a temperatura ambiente de 40°C .

Intensidades máximas admisibles (A) en instalaciones interiores, conductores de **cobre, temperatura ambiente 40 °C**
Norma UNE 20 460-5-523:2004

Conductores aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A1 .		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A2 .	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
Conductores aislados en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B1 .				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2			
Cables multiconductores en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B2 .			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
Cables multiconductores directamente sobre la pared o en bandeja no perforada. Método C .					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
Cables multiconductores al aire libre o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a 0,3 D (diámetro del cable). Método E .						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
Cables unipolares en contacto mutuo o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a D. Método F .							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Condutor	mm²											
Cobre	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123
	35		77	86	96	104	110	119	127	137	144	154
	50		94	103	117	125	133	145	155	167	175	188
	70				149	160	171	185	199	214	224	244
	95				180	194	207	224	241	259	271	296
	120				208	225	240	260	280	301	314	348
	150				236	260	278	299	322	343	363	404
	185				268	297	317	341	368	391	415	464
	240				315	350	374	401	435	468	490	552

Cálculo de secciones, líneas monofásica y trifásica.

Aparte de considerar la caída de tensión, en el apartado anterior hay que considerar la máxima densidad de corriente admisible por el cable; por tanto la sección del cable debe satisfacer las condiciones calculadas por caída de tensión y por densidad de corriente.

Deberá escogerse la sección mayor de las dos obtenidas, teniendo en cuenta una serie de criterios:

Criterios de Selección
<ul style="list-style-type: none">• Aunque se admiten cables con secciones de $1,5 \text{ mm}^2$, se recomienda utilizar secciones de $2,5 \text{ mm}^2$.• Sección máxima de un cable 240 mm^2. Si la sección calculada es superior a la máxima permitida deberá utilizarse:<ul style="list-style-type: none">– Un embarrado o,– Dos cables por fase. En este caso deberá dividirse la intensidad entre 2 y buscar la sección correspondiente a esta nueva intensidad.• Sección máxima de los multiconductores, 70 mm^2.• Sección del neutro igual a la fase.• Sección del conductor de protección, Tierra (T), es función del valor de la sección de fase, F. Así:<ul style="list-style-type: none">– Si $F \leq 16 \text{ mm}^2$, $T = F$.– Si $16 \text{ mm}^2 < F \leq 35 \text{ mm}^2$, $T = 16 \text{ mm}^2$.– Si $F > 35 \text{ mm}^2$, $T = \frac{1}{2} F$.

Para describir los cables de baja tensión se empleará la siguiente nomenclatura:

Tipo Circuito	Tipo Cable	Nomenclatura
Monofásico de 4 mm^2	Unipolar	$4 + 4 + 4T$
Monofásico de 4 mm^2	Multipolar	$2 \times 4 + 4T$
Trifásico de 16 mm^2	Unipolar	$16 + 16 + 16 + 16 + 16T$
Trifásico de 16 mm^2	Multipolar, neutro independiente	$3 \times 16 + 16 + 16T$
Trifásico de 16 mm^2	Multipolar, neutro incorporado	$4 \times 16 + 16T$
Trifásico de 70 mm^2	Unipolar	$70 + 70 + 70 + 70 + 35T$
Trifásico, dos cables de 150 mm^2 por fase	Unipolar	$2(150 + 150 + 150 + 150) + 150T$

Para el cálculo de la sección, por caída de tensión del mismo conductor, se han de emplear las siguientes fórmulas:

Circuito Monofásico	$S = \frac{2 \cdot P \times L}{\sigma \times U \times e}$
Circuito Trifásico	$S = \frac{P \times L}{\sigma \times V \times e}$
<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S, es la sección del cable en mm². • P, es la potencia en W. • L, es la longitud del conductor en m. • σ, es la conductividad del conductor en m/mm²·Ω. Su valor es 56 para el cobre y 35 para el aluminio. • e, es la caída de tensión en V. • U, es la tensión entre fases y neutro en V. • V, es la tensión entre fases en V. 	

Hemos de considerar también:

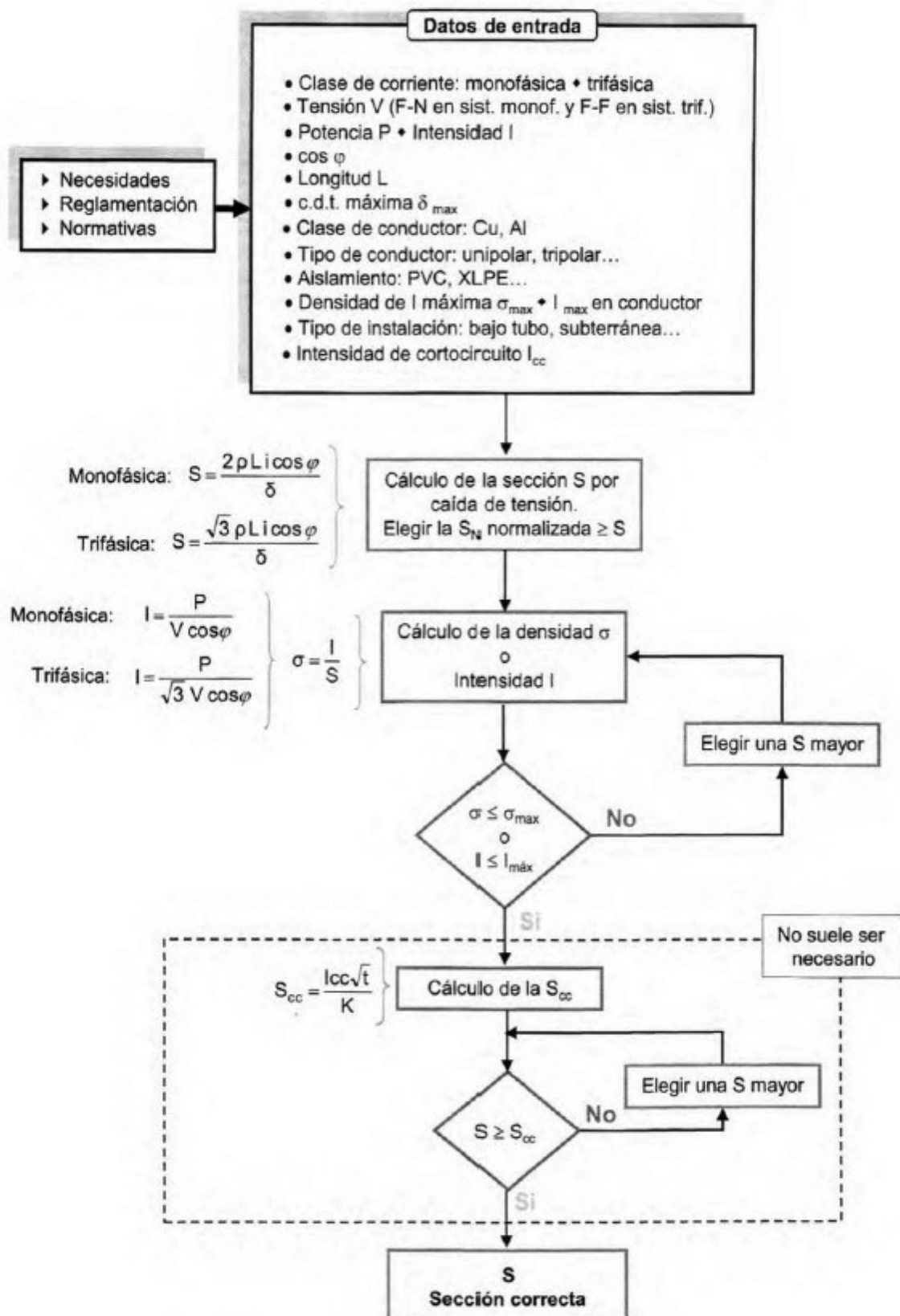
. -Caída de tensión en la línea. La circulación de la corriente por los conductores que tienen, aunque pequeña, resistencia eléctrica supone una caída de tensión en los mismos. La sección se ha de calcular de tal manera que la caída de tensión no supere cierto valor, para que el funcionamiento de los receptores sea correcto.

.- Resistencia mecánica del conductor. Se refiere a la resistencia de los conductores a la tracción mecánica. Este factor es determinante para las líneas aéreas y no se considera para otros tipos de líneas, como subterráneas, bajo tubo, etc.

.-Consideraciones económicas. La pérdida por efecto Joule da lugar a un gasto anual (inversamente proporcional a la sección), y la amortización e interés del capital empleado en los conductores representan también otro gasto anual (directamente proporcional a la sección). Como ambos varían en sentido inverso, se puede hallar una sección para la cual el gasto total por año, suma de los dos anteriores, sea mínimo. Este aspecto es importante para las grandes líneas de transmisión, pero no se tiene en cuenta para las líneas de B.T.

En la guía del REBT, GUÍA-BT-ANEXO 2, se detallan las consideraciones a tener en cuenta para el cálculo de la sección de los conductores en B.T.

Podemos reflejar en el siguiente diagrama de flujo como realizar el cálculo de la sección, ya sea en el caso de líneas monofásicas y trifásicas:



Cuadros generales, derivaciones individuales, cuadros secundarios de distribución.

El cuadro eléctrico es el punto de paso de la corriente eléctrica y en el que se deben instalar los dispositivos generales e individuales de mando y protección de una instalación eléctrica.

En los cuadros eléctricos se disponen de forma ordenada los dispositivos de:

- .-Maniobra y auxiliares de mando (contactores, pulsadores, etc.).
- .- Protección (interruptores automáticos, diferenciales, fusibles, relés térmicos, etc.).
- .-Aparatos de medida (voltímetros, amperímetros, etc.).
- .-Regulación y control.
- .-Aparatos de señalización.
- .-Conexiones.

La envolvente del cuadro protege a la aparamenta de su interior de agentes externos como polvo, choques, etc., y protege a las personas de contactos eléctricos indeseados con la aparamenta que contiene.

El grado de protección de la envolvente se expresa mediante el código IP y el código IK.

Código IP

Es un sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionados por la envolvente contra el acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, contra la penetración de agua y para suministrar una información adicional unida a la referida protección. Este código IP está formado por dos números de una cifra cada uno, tabla 2.7, situados inmediatamente después de las letras "IP" y que son independientes uno del otro (GUÍA -BT-ANEXO 1).

















El número que va en primer lugar, normalmente denominado como "primera cifra característica", indica la protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas limitando o impidiendo la penetración de una parte del cuerpo humano o de un objeto cogido por una persona y, garantizando simultáneamente, la protección del equipo contra la penetración de cuerpos sólidos extraños.

El número que va en segundo lugar, normalmente denominado como "segunda cifra característica", indica la protección del equipo en el interior de la envolvente contra los efectos perjudiciales debidos a la penetración de agua.

Adicionalmente, de forma opcional, y con objeto de proporcionar información suplementaria sobre el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas, puede complementarse el código IP con una letra colocada inmediatamente después de las dos cifras características. Estas letras adicionales (A, B, C o D), a diferencia de la primera cifra característica que proporciona información de cómo la envolvente previene la penetración de cuerpos sólidos, proporcionan información sobre la accesibilidad de determinados objetos o partes del cuerpo a las partes peligrosas en el interior de la envolvente.

En ocasiones, algunas envolventes no tienen especificada una cifra característica, bien porque no es necesaria para una aplicación concreta, o bien porque no ha sido ensayada en ese aspecto. En este caso, la cifra característica correspondiente se sustituye por una "X", como por ejemplo IP2X, que indica que la envolvente proporciona una determinada protección contra la penetración de cuerpos sólidos, pero que no ha sido ensayada en lo referente a la protección contra la penetración del agua.

En la siguiente tabla se refleja y explican los distintos códigos IP y los significados de su primera y segunda cifra

PRIMERA CIFRA protección contra cuerpos sólidos			SEGUNDA CIFRA protección contra cuerpos líquidos		
IP			IP		
0		Sin protección	0		Sin protección
1		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm (ej.: contactos involuntarios de la mano)	1		Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación)
2		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm (ej.: dedos de la mano)	2		Protegido contra caídas de agua hasta 15° de la vertical
3		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm (ej.: herramientas, cables, etc.)	3		Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° de la vertical
4		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm (ej.: herramientas finas, pequeños cables, etc.)	4		Protegido contra las proyecciones de agua en todas direcciones
5		Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales)	5		Protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones
6		Totalmente protegidos contra el polvo	6		Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes del mar
			7		Protegido contra la inmersión hasta 1 m. de profundidad
			8		Protegido contra los efectos prolongados de la inmersión bajo presión

Código IK

Es un sistema de codificación para indicar el grado de protección proporcionado por la envolvente contra los impactos mecánicos nocivos, salvaguardando así los materiales o equipos en su interior (GUÍA —BT-ANEXO 1).

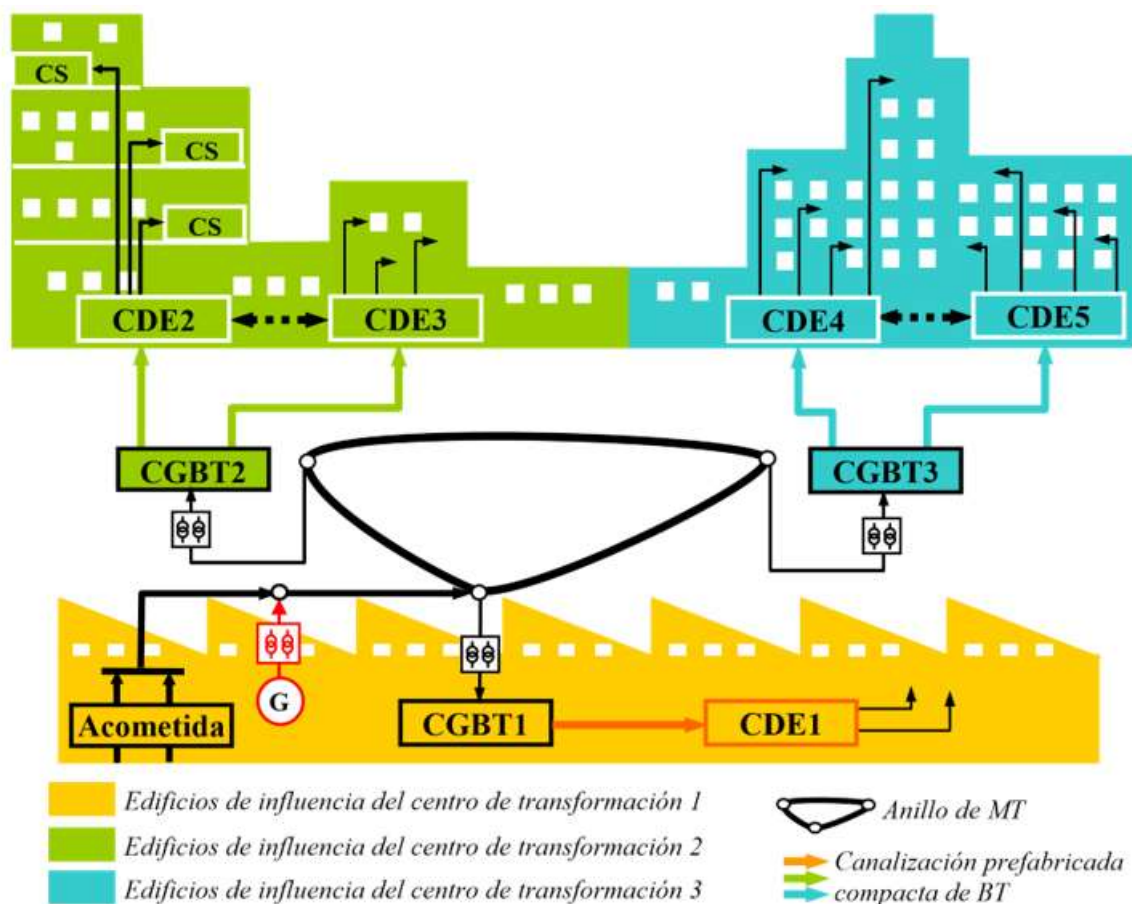
El código IK se designa con un número graduado de cero (0) a diez (10); a medida que el número va aumentado indica que la energía del impacto mecánico sobre la envolvente es mayor

GRADO IK	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Energía (julios)	--	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20
Masa (kg)-altura de caída (mm)	--	0,2-70	0,2-100	0,2-175	0,2-250	0,2-350	0,5-200	0,5-400	1,7-295	5-200	5-400

La instalación debe subdividirse convenientemente, de forma que una avería en algún punto de la misma sólo afecte a un sector limitado de ella. Este hecho se consigue mediante la colocación de dispositivos de protección coordinados y diseñados de forma que se asegure la selectividad necesaria en la instalación. En este sentido se recomienda un sistema de cuadros que incluyese:

- un cuadro general de distribución, del que partirán las líneas que alimentan las cargas no esenciales.
 - un cuadro general de emergencia, del que partirán las líneas que alimentan las cargas esenciales o de seguridad.
 - una serie de cuadros secundarios de distribución, derivados de los anteriores, disponiendo al menos uno por planta, de manera que los circuitos de cada planta estén protegidos en el cuadro ubicado en su misma planta.
- De estos cuadros secundarios, si fuese necesario, podrán derivarse a su vez otros cuadros.

Dada la dispersión horizontal de estas instalaciones se aconseja una arquitectura de distribución en BT como la representada esquemáticamente



Donde:

CGBT – Cuadro General de Baja Tensión. Es el punto de entrega de la energía en BT. Habrá tantos como requiera el servicio y al menos uno por centro de transformación.

CDE – Cuadro de Distribución de Edificio. Habrá al menos uno por edificio. Es el punto de entrega de la energía a los edificios y desde el se distribuirá a los diferentes usos. Para las cargas que alimente de ese edificio hará las veces de CGBT.

CS – Cuadro Secundario. Habrá los necesarios del sistema de distribución interior y al menos uno por planta. Estos cuadros serán alimentados desde el CDE o desde otros cuadros secundarios.

Con carácter general, cada CGBT alimentará los Cuadros Generales de Distribución de los Edificios de su área de influencia. Esta distribución se realizará mediante canalizaciones prefabricadas compactas. El diseño preverá un camino alternativo de alimentación desde el CGBT a cada CDE, ya sea mediante un doble juego de barras o bien creando un anillo con otros CDE explotándose, en cualquier caso, de forma radial.

Los dispositivos generales e individuales de mando y protección, cuya posición de servicio será vertical, y a una altura medida desde el suelo de entre 1 y 2 m, se ubicarán en el interior de los cuadros eléctricos de donde partirán los circuitos interiores, y constarán como mínimo de los siguientes elementos:

Cuadro general de distribución y cuadro general de emergencia

Ambos cuadros estarán segregados, debiendo constar cada uno de ellos de los siguientes elementos:

- Un interruptor general automático de corte omnipolar, que permita su accionamiento y que esté dotado de elementos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Este interruptor será independiente, si existe, del interruptor de control de potencia.

Este interruptor servirá de protección general con los situados aguas abajo, con los que deberá estar coordinado para que exista la correspondiente selectividad.

Este interruptor deberá llevar asociada una protección diferencial, destinada a la protección contra contactos indirectos. Con esta protección en el origen de la instalación se consigue proteger mediante diferenciales toda la instalación y al mismo tiempo conseguir una elevada continuidad de servicio, pues permite actuar ante un fallo fase-masa en los niveles superiores de distribución, o como protección de los usuarios si alguno de los diferenciales ubicados aguas abajo (en los cuadros secundarios, por ejemplo) quedara fuera de servicio de forma accidental o intencionada.

Este diferencial en el origen de la instalación, se encontrará en serie con diferenciales instalados en niveles de distribución más bajos por lo que deberá establecerse la adecuada selectividad y con retardo de tiempo.

- Las líneas que partiendo de estos cuadros alimenten otros cuadros secundarios deberán disponer de dispositivos de corte omnipolar destinados a la protección contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Si además de estos cuadros parten líneas para la alimentación directa de algunas cargas, cada uno de los circuitos deberá contar con los siguientes dispositivos:

☐ Dispositivos de corte omnipolar destinados a la protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

☐ Un interruptor diferencial, destinado a la protección contra contactos indirectos en los mencionados circuitos, que deberá establecerse con la correspondiente selectividad respecto a la protección diferencial dispuesta en la cabecera de la instalación.

- Dispositivo de protección contra sobretensiones

Por último, señalar, que dentro del cuadro general de emergencia se podrá instalar el conmutador para efectuar el cambio del suministro normal al suministro complementario.

Cuadros secundarios

• Un interruptor general automático de corte omnipolar, que permite su accionamiento y que esté dotado de elementos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

• Interruptores diferenciales destinados a la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos, y selectivos respecto la protección diferencial colocada en el cuadro general de distribución o cuadro general de emergencia.

• Dispositivos de corte omnipolar destinados a la protección contra sobrecargas y cortocircuitos de los diferentes circuitos.

- Dispositivo de protección contra sobretensiones.

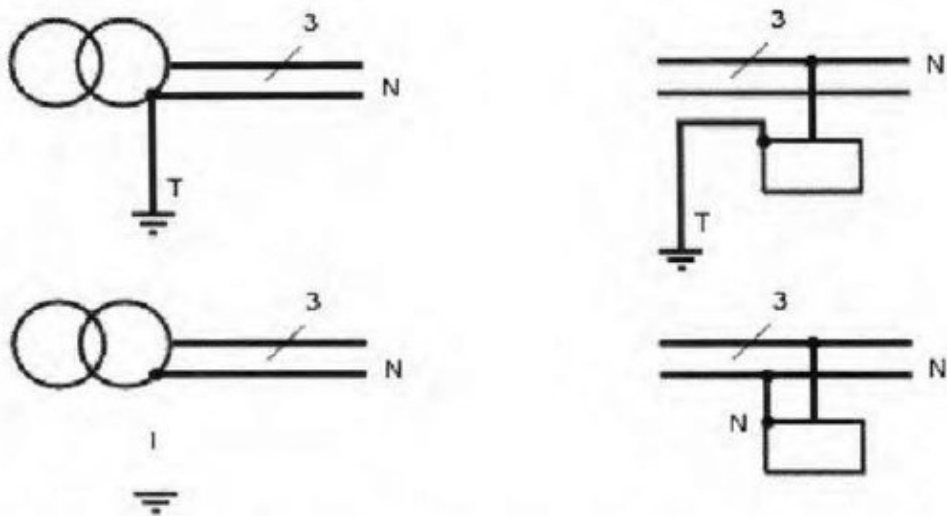
Sistemas de distribución: esquema TN, esquema TT, esquema IT, medidas de seguridad.

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 régimen de neutro se caracterizan por la forma de conexión del neutro del secundario del transformador (MT/BT) a la tierra y de las masas de la instalación.

La elección del sistema condiciona las medidas de protección de las personas contra los contactos indirectos.

Diversos tipos de régimen de neutro pueden coincidir en una instalación.

La denominación se realiza con un código de letras, figura:



Esquemas de distribución: significado de las 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 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).

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

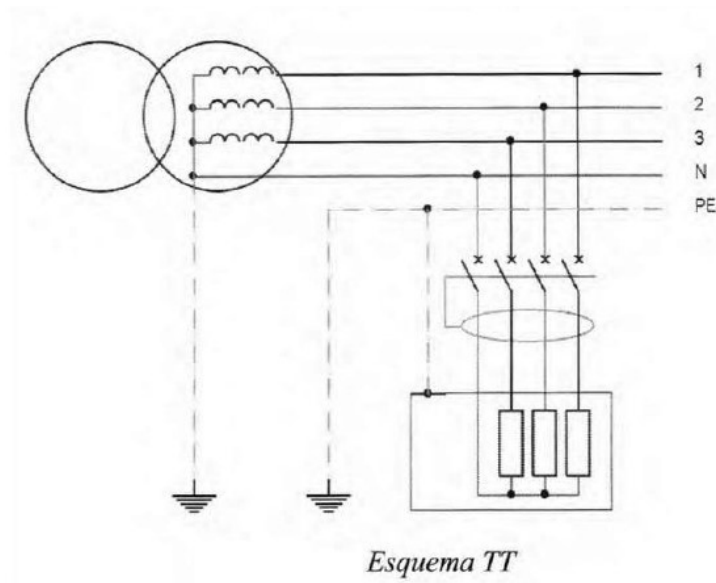
S = Las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados.

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

De acuerdo con esto se distinguen tres sistemas de distribución:

ESQUEMA TT

El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación, figura



Neutro



Tierra

Masas



Tierra

Un punto de la alimentación se une directamente a tierra. En los circuitos con neutro se conecta el punto de la estrella. Las masas de la instalación son unidas a una toma de tierra eléctricamente distinta o no de la toma de tierra del neutro. Ellas pueden ser confundidas, y de hecho sin consecuencias para las protecciones.

En este tipo de sistemas se deben utilizar dispositivos de protección diferencial residual para la protección contra los contactos indirectos.

En esquema TT:

1.- La técnica de protección de las personas:

-Puesta a tierra de las masas, asociado al empleo de dispositivos diferenciales residuales.

2.- Técnicas de explotación:

-Corte al primer defecto de aislamiento.

Esquema TT

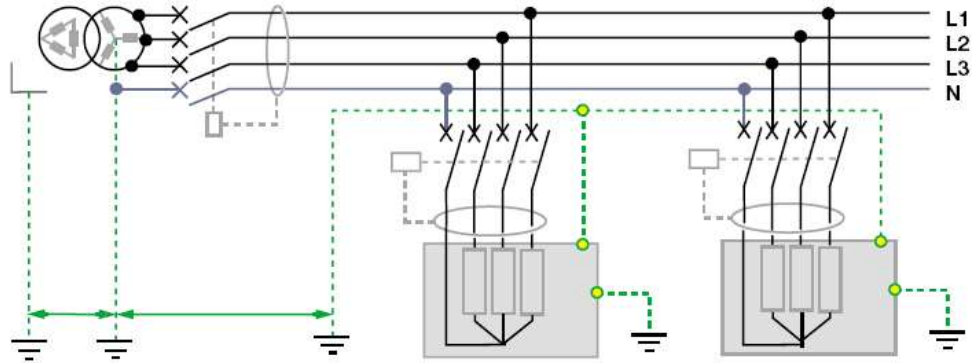


Fig. F4-011: *esquema TT.*

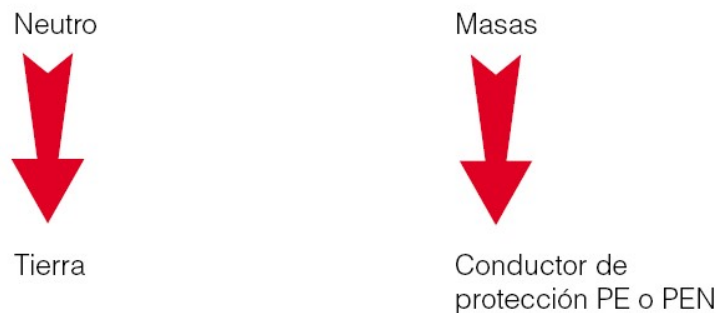
Nota: si las masas de utilización son unidas a diversas tomas de tierra, debe colocarse un interruptor diferencial a cada grupo de elementos conectados a la misma toma de tierra.

Principales características:

- 1.- Es la solución más simple, tanto para su estudio como para su ejecución, se utiliza en las alimentaciones con suministro directo de la red pública de BT.
- 2.- No necesita una atención permanente del mantenimiento de explotación (sólo un control periódico de los dispositivos diferenciales).
- 3.- La protección es asegurada por dispositivos específicos, los interruptores diferenciales, que permiten además la prevención o limitación del riesgo de incendio con sensibilidades iguales o inferiores a 500 mA.
- 4.- Cada defecto de aislamiento comporta un corte. Este corte es limitado al circuito defectuoso, con el empleo de diferentes interruptores diferenciales (DDR) en serie con diferenciales selectivos o en paralelo con subdivisiones de circuitos.
- 5.- Los receptores o partes de instalación, que son la causa, en marcha normal, de corrientes de fuga importantes, deben ser objeto de medidas especiales para evitar las desconexiones intempestivas (alimentar los receptores con transformadores de separación, o utilizar diferenciales adaptados a cada caso).

ESQUEMA TN

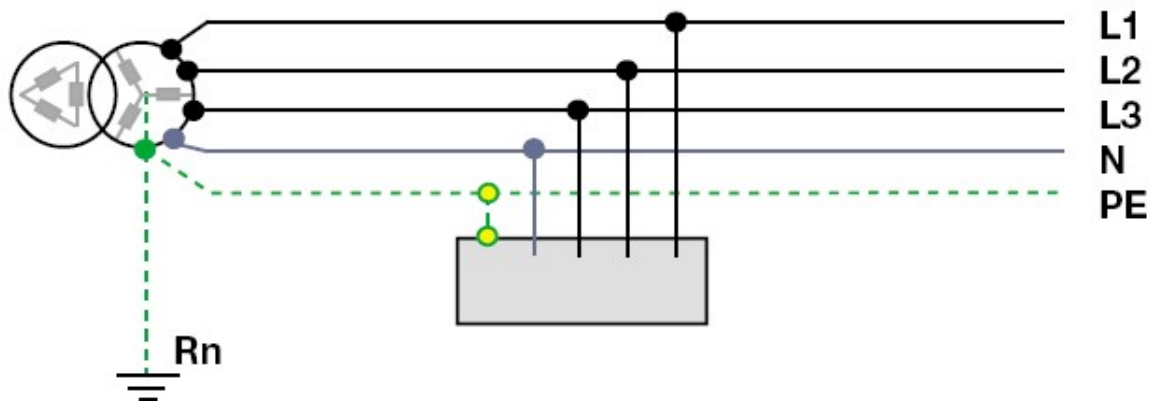
Los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección.



Se distinguen tres tipos de esquemas TN según la disposición relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

Esquema TN-S

El conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema, es la siguiente figura



Las masas se conectan al conductor de protección PE.

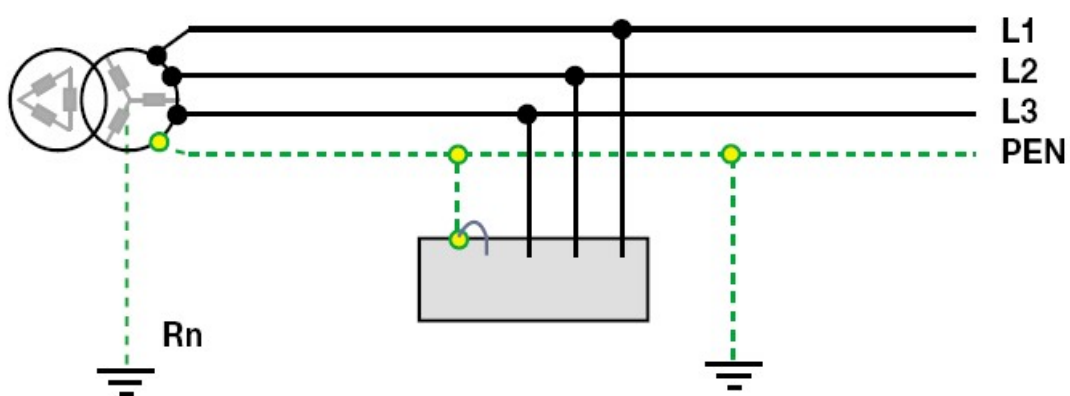
El esquema TN-S (5 hilos) es obligatorio para los circuitos de secciones inferiores a 10 mm² de Cu y 16 mm² de Al para las canalizaciones móviles.

Esquema TN-C

El conductor de protección y el conductor neutro, físicamente, son el mismo conductor denominado PEN.

Este esquema es incorrecto para las secciones de conductor inferiores a 10 mm² y para las canalizaciones móviles.

Los esquemas TN-C necesitan la creación de un sistema equipotencial para evitar la subida de tensión de las masas y los elementos conductores. Es como consecuencia necesaria unir el conductor PEN a varias tomas de tierra repartidas en la instalación.

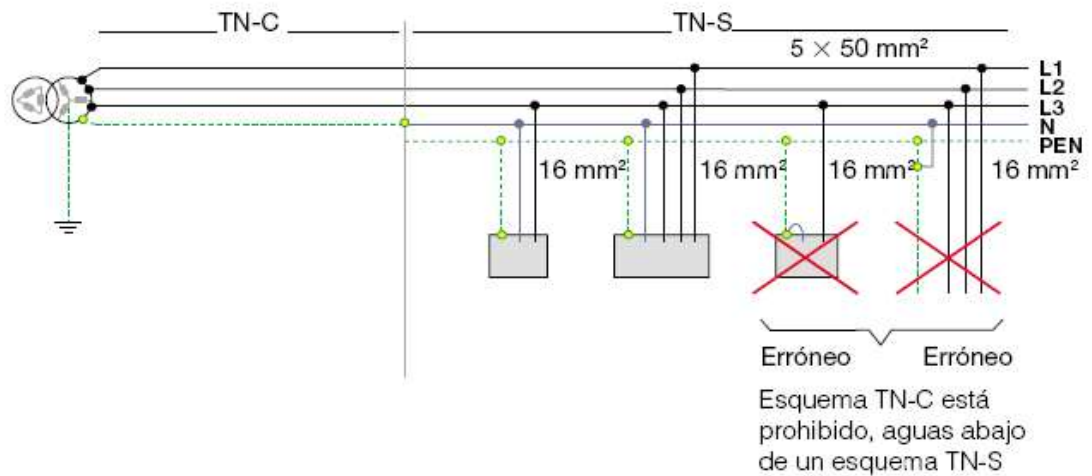


| *esquema TN-C.*

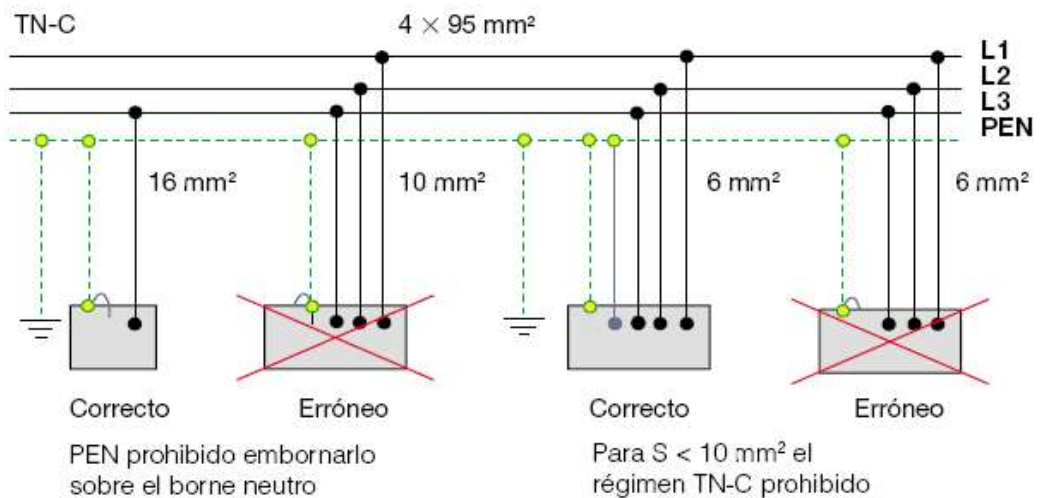
Atención: en los esquemas TN-C, la función "conductor de protección" es prioritaria a la función de conductor "neutro". En particular un conductor "PEN" debe estar siempre conectado al borne de "tierra" de una carga y un puente entre este borne y el neutro.

Esquema TN-C/S

Los esquemas TN-C y TN-S pueden ser utilizados en una misma instalación. No debe utilizar nunca el esquema TN-C (4 hilos) aguas abajo de un esquema TN-S (5 hilos).



esquema TN-C/S.



forma de embornar el conductor PEN en un esquema TN-C.

Principales características:

.a-La técnica de protección de las personas:

.-Es imperativo la interconexión de las masas, el neutro y la puesta a tierra.

.- Corte al primer defecto, con protecciones para sobreintensidades (interruptores automáticos o fusibles).

.b-Técnicas de explotación: corte al primer defecto de aislamiento (cortocircuito fase neutro).

Principales características:

.c-El esquema TN de una forma general:

- .- Es utilizable únicamente en las alimentaciones con centro de transformación propio.
- .- Necesita tomas de tierra uniformemente repartidas a lo largo de la instalación.
- .- El dimensionado de la aparamenta para las desconexiones al primer defecto de aislamiento se debe realizar por cálculo, y la comprobación de la impedancia del circuito a la puesta en servicio. Las modificaciones del circuito y de su entorno pueden variar la impedancia del mismo.
- .-Necesita que toda modificación sea realizada por un instalador autorizado.
- .-Puede causar en caso de defecto de aislamiento destrucciones importantes en bobinados (cortocircuito).
- .- Puede presentar, en según qué tipo de locales, riesgo de incendios al ser las corrientes de defecto corrientes de cortocircuito.
- .-El esquema TN-C además:
 - .-Puede representar una economía a la instalación (supresión de un polo en la aparamenta y un conductor de línea).
 - .-Implica la utilización de canalizaciones fijas y protegidas para mantener la impedancia de origen.

El esquema TN-S además:

- .- Se emplea en conducciones flexibles o de poca sección.
- .- Permite, por la separación del neutro y del conductor de protección, disponer de un PE no contaminado (locales informáticos, locales con riesgos).
- .- Es obligatorio en locales con riesgo de incendio.

Prescripciones especiales en las redes de distribución para la aplicación del esquema TN

Para que las masas de la instalación receptora puedan estar conectadas a neutro como medida de protección contra contactos indirectos, la red de alimentación debe cumplir las siguientes prescripciones especiales:

- .- La sección del conductor neutro debe, en todo su recorrido, ser como mínimo igual a la indicada en la tabla siguiente, en función de la sección de los conductores de fase.

Sección de los conductores de fase (mm ²)	Sección nominal del conductor neutro (mm ²)	
	Redes aéreas	Redes subterráneas
16	16	16
25	25	16
35	35	16
50	50	25
70	50	35
95	50	50
120	70	70
150	70	70
185	95	95
240	120	120
300	150	150
400	185	185

sección del conductor neutro en función de la sección de los conductores de fase.

.-En las líneas aéreas, el conductor neutro se tenderá con las mismas precauciones que los conductores de fase.

.-Además de las puestas a tierra de los neutros señaladas en las instrucciones ITC-BT-06 e ITC-BT-07, para las líneas principales y derivaciones serán puestos a tierra igualmente en los extremos de éstas cuando la longitud de las mismas sea superior a 200 metros.

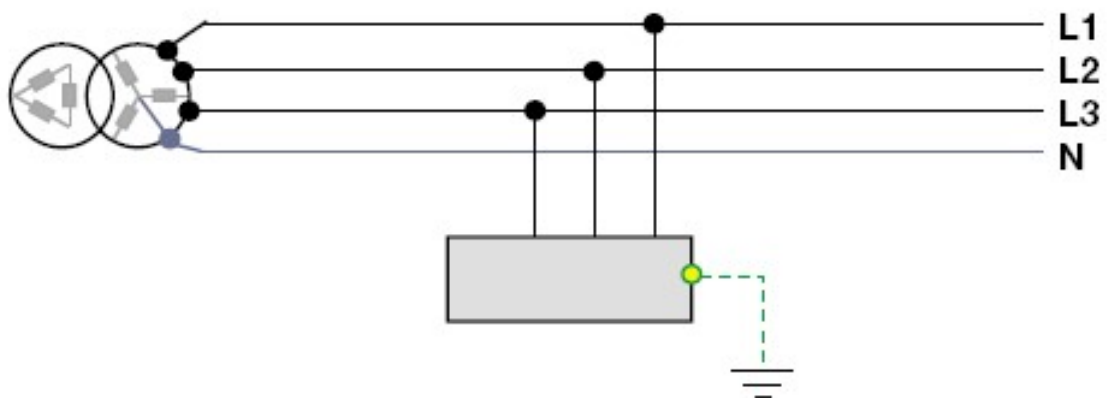
.-La resistencia de tierra del neutro no será superior a 5 ohmios en las proximidades de la central generadora o del centro de transformación, así como en los 200 últimos metros de cualquier derivación de la red.

.-La resistencia global de tierra, de todas las tomas de tierra del neutro, no será superior a 2 ohmios.

.-En el esquema TN-C, las masas de las instalaciones receptoras deberán conectarse al conductor neutro mediante conductores de protección.

ESQUEMA IT (o de neutro aislado)

Ninguna conexión eléctrica, voluntaria, se realiza entre el neutro y la tierra. Las masas de utilización de la instalación eléctrica están unidas a una toma de tierra. De hecho todo circuito posee una impedancia de fuga con respecto a tierra, en función de la capacidad entre este circuito eléctrico y de su resistencia con respecto a tierra.



esquema IT (neutro aislado).

Neutro



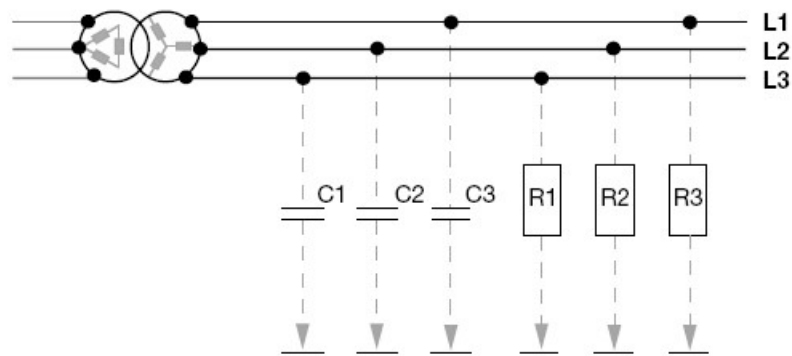
Aislado o
impedante

Masas

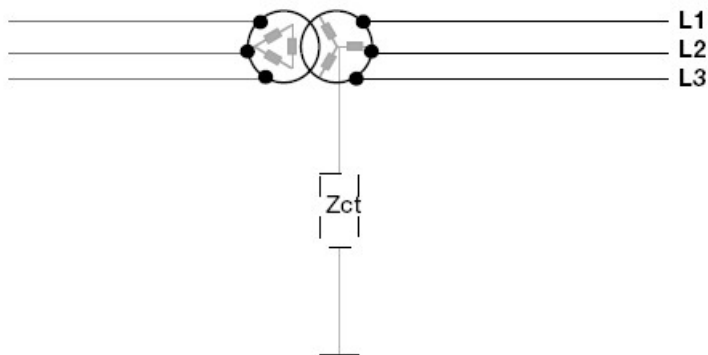


Tierra

Impedancia de fuga de un circuito con esquema IT.



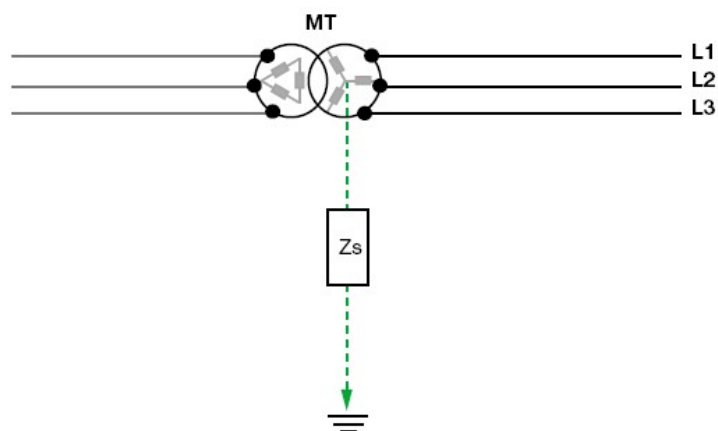
Por ejemplo en una red trifásica de 1 km la impedancia equivalente Z_{ct} de las capacidades C1, C2 y C3 y las resistencias R1, R2 y R3, es del orden de tres a cuatro mil V.



impedancia equivalente o impedancia de fuga en un esquema IT.

Por este motivo se emplea el esquema IT con neutro impedante, donde una impedancia Z_s (del orden de 1.000 a 2.000 V) se intercala entre el punto neutro del secundario del transformador y la tierra. El interés de esta impedancia es el de limitar el potencial de una red con respecto a tierra (Z_s es pequeña con respecto a la impedancia de la red con respecto a tierra, Z_{ct}).

En contrapartida se incrementa la intensidad del primer defecto.



esquema IT (neutro impedante).

Principales características:

a.-Técnica de protección:

- .-Interconexión y puesta a tierra de las masas.
- .- Señalización del primer defecto por control permanente del aislamiento.
- .-Corte al segundo defecto por protección de sobreintensidad (interruptor automático o fusibles).

b.- Técnica de explotación:

- .-Vigilancia del primer defecto de aislamiento.
- .- Búsqueda y eliminación del primer defecto, obligatoriamente.
- .-Corte en presencia de dos defectos de aislamiento simultáneos.
- .-Es la solución que asegura la mejor continuidad de servicio en explotación.
- .-La señalización del primer defecto de aislamiento, seguido de la búsqueda y eliminación, permite una prevención sistemática de toda interrupción de alimentación.
- .-Utilización única en alimentaciones con transformadores MT/BT o BT/BT particulares.
- .-Necesita un buen nivel de aislamiento de la red (implica la fragmentación de la red, si es muy larga, y la alimentación de receptores con corrientes de fuga importantes con transformadores BT/BT de separación).
- .-La verificación de las desconexiones por dos defectos simultáneos debe ser asegurada por cálculo, y obligatoriamente a la puesta en servicio por mediciones y comprobaciones en cada grupo de masas interconectada.

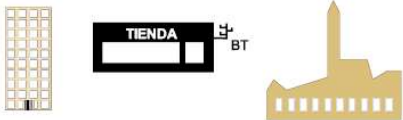


Criterios de elección de los esquemas TT, TN e IT

La elección no puede realizarse por criterios de seguridad. Los tres regímenes son equivalentes en el aspecto de la protección de las personas, si respetamos todas las reglas de instalación y de explotación.

Son los imperativos reglamentarios, de continuidad de servicio, de explotación y de naturaleza de la red y los receptores los que nos condicionan el esquema más adecuado.

La elección se realiza por el análisis de los siguientes factores:

- .-Adecuación a los textos reglamentarios que imponen, en determinadas alimentaciones un régimen de neutro determinado, se expresa en la siguiente tabla:

Reglamentarios, en función del reglamento de BT, de las recomendaciones normativas internacionales y decretos específicos		
Obligan o condicionan como única alternativa de solución		
Esquema	Ambito	
TT	Red de suministro público y sus conexiones: Usos domésticos Establecimientos sector terciario Pequeños talleres	
IT	Parte de zonas hospitalarias (quirófanos, UVI) Circuitos de seguridad (alumbrado de reemplazamiento y emergencia) Máquinas y ambientes especiales, incluidos en la directiva de protección al trabajador	
IT o TT	Minas y canteras	

ejemplos frecuentes donde el régimen de neutro está condicionado reglamentariamente.

-Por decisión del propietario, si se alimenta en MT, o tiene generación propia, o transformadores de aislamiento BT/BT. Puesto que el utilizador es libre de elegir su sistema de distribución, por decisión propia o por consensuación con el instalador o proyectista.

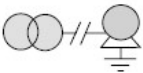
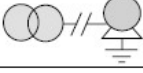

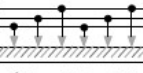

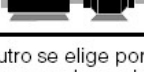
Ello comporta, en primer lugar:

.-Atender los imperativos de explotación (continuidad de servicio).

.-Concepción de la estructura de mantenimiento (equipo de personal cualificado,o contratación de un instalador autorizado) (tabla siguiente)

En función de los imperativos de la explotación		
Mantenimiento a cargo de personal cualificado	Continuidad de servicio primordial	Continuidad de servicio no primordial
SI	IT (neutro aislado o impedante)	IT (neutro aislado o impedante) TT (neutro a tierra) TN (masas puesta a neutro)
	Combinado con otras medidas (seccionamiento de la instalación en varios circuitos, circuitos prioritarios, selectividad en las protecciones, localización y reparación del primer defecto), constituye el medio más seguro para obtener el mínimo de cortes en la explotación. Ejemplos: – Industrias donde la continuidad de servicio es prioritaria para la conservación de los bienes y la calidad de los productos (siderúrgicas, alimentación...). – Explotaciones con circuitos prioritarios de seguridad: rascacielos, hospitales, establecimientos abiertos al público, etc.	Elección definitiva después de un examen de: – Las características de la instalación (neutro de la red, los receptores...). – Del grado de complejidad de la puesta en servicio de cada régimen. – El coste de cada régimen (del estudio, de la instalación, de la verificación, de la explotación).
NO	Ningún régimen es satisfactorio De hecho por la incompatibilidad de los criterios.	T (neutro a tierra) El más simple de puesta en servicio, de controlar y mantener (en particular si se prevén modificaciones en la explotación).

en segundo lugar,en función de las características particulares de la red y las cargas:

En función de las características de la red de alimentación				
Descripción		Aconsejable	Posible	Desaconsejable
Redes muy grandes, con buenas tomas de tierra para las masas, máximo 10 Ω			TT, TN, IT (1) (o combinados)	
Redes muy grandes, con tomas de tierra para las masas muy resistivas, > 30 Ω		TT	TN-S	IT (1) TN-C
Red contaminada (zona de tormentas y/o de repetidores de TV o Radio)		TN	TT	IT (2)
Red con corrientes de fuga importantes (> 500 mA)		TN (4)	IT (4) TT (3) (4)	
Red con gran extensión de línea aérea		TT (5)	TN (5) (6)	IT (6)
Suministro con grupo electrógeno de seguridad (reserva)		IT	TT	TN (7)

(1) Si no está impuesto, el régimen de neutro se elige por las características de explotación (continuidad de servicio, por razones deseables de seguridad o por intereses de productividad...). Cualquiera que sea el régimen de neutro elegido, la probabilidad de un fallo de aislamiento aumenta en función de la longitud de la red, puede ser objeto de un estudio de ramificación, que facilita la localización de los defectos y permite aplicar en régimen de neutro para cada derivación en función de su aplicación.

(2) Los riesgos de cebado del limitador de sobretensiones transforma el neutro aislado en neutro a tierra. Este riesgo es de temer en zonas con nivel cerámico elevado y grandes extensiones de redes aéreas. Si elegimos un régimen IT para asegurar la continuidad de servicio, deberemos tener principal atención en las condiciones de protección del segundo defecto. Generalmente con interruptores diferenciales (DDR).






(3) Riesgo de funcionamiento intempestivo de los interruptores diferenciales DDR.

(4) La solución ideal, cualquiera que sea el régimen de neutro, es aislar la parte generadora de fugas, si es fácilmente localizable.

(5) Riesgo de fuga fase/tierra, rendimiento aleatorio de la equipotencialidad.

(6) Aislamiento incierto, a causa de la humedad y polución conductora.

(7) La puesta a neutro es desaconsejable en razón del riesgo de deterioro del alternador, en caso de defecto interno. De otra parte, puesto que los grupos electrógenos alimentan las instalaciones de seguridad, no deben desconectar al primer defecto.

En función de las características de los receptores				
Descripción		Aconsejable	Posible	Desaconsejable
Receptores sensibles a grandes corrientes de defecto (motores...)		IT	TT	TN (8)
Receptores con bajos valores de aislamiento (hornos eléctricos, soldadores, calentadores, equipamientos de grandes cocinas...)		TN (9)	TT (9)	IT
Gran cantidad de receptores monofásicos, fase neutro (móviles, semitijos, portátiles)		TT (10) TN-S		IT (10) TN-C (10)
Receptores con riesgo (polipastos, vagones de transporte, teleféricos...)		TN (11)	TT (11)	TT (11)
Cantidad de máquinas auxiliares (máquinas-herramienta)		TN-S	TN-C IT (12bis)	TT (12)

(8) La corriente de defecto fase-masa puede adquirir valores capaces de dañar los bobinados de los motores y de envejecer o destruir los circuitos magnéticos.

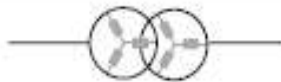

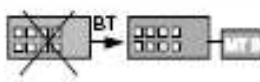




(9) Para conjugar continuidad de servicio y seguridad es necesario y recomendable, para cualquier régimen, separar estos receptores del resto de la instalación (transformadores con puesta a neutro propio).

(10) Puesto que la calidad de los receptores es ignorada a la concepción de la instalación, el aislamiento tiene el riesgo de disminuir. La protección de tipo TT, con interruptores diferenciales, constituye la mejor solución.

(11) La movilidad de los receptores genera frecuentes defectos (contactos deslizantes con las masas), que es interesante controlar. Cualquiera que sea el régimen de neutro, es recomendable alimentar estos circuitos con transformadores con puesta a neutro local.

(12) Necesita el empleo de transformadores con puesta a neutro local, para evitar los riesgos de funcionamiento o arranque intempestivo al primer defecto (TT) o al segundo defecto e (IT).

(12 bis) Con doble interrupción del circuito de mando.

En función de las características diversas				
Descripción		Aconsejable	Posible	Desaconsejable
Alimentaciones con transformadores de potencia estrella-estrella (13)		TT	IT sin neutro	TN (13) IT con neutro
Locales con riesgo de incendio		IT (15) TT (15)	TN-S (15)	TN-C (14)
Incremento de la alimentación de un abonado en BT, necesitando un CT particular		TT (16)		
Establecimiento con modificaciones constantes		TT (17)		TN (18) IT (18)
Instalación con pocas garantías en la continuidad del circuito de tierra (canteras, instalaciones antiguas)		TT (19)	TN-S	TN-C IT (19)
Equipamientos electrónicos (calculadoras, autómatas programables)		TN-S	TT	TN-C
Redes de control y mando de máquinas y captadores de señales para autómatas programables		IT (20)	TN-S TT	

(13) Limitación muy importante de la corriente fase/neutro en relación al valor muy elevado de la impedancia homopolar: al menos 4 o 5 veces la impedancia directa.

Este esquema se reemplaza con uno de estrella triángulo.

(14) Las fuertes corrientes de fuga (cortocircuito) son peligrosas: el TNC es incorrecto.

(15) Cualquiera que sea el régimen, utilización de interruptores diferenciales residuales DIF < 500 mA.

(16) Una instalación alimentada en BT, obligatoriamente se alimenta en régimen TT. Mantener este régimen de neutro representa el mínimo de modificaciones.

(17) Posible sin personal de mantenimiento muy competente.

(18) De todas las instalaciones es la que precisa mayor seriedad en el mantenimiento de la seguridad. La ausencia de medidas preventivas a la puesta a neutro exige un personal muy competente para asegurar la seguridad a lo largo del tiempo.

(19) El riesgo del corte de los conductores (alimentación y protección) mantiene de forma aleatoria la equipotencialidad de las masas. El REBT obliga a la utilización de interruptores diferenciales DDR 30 mA. El régimen IT es utilizable en casos particulares.

(20) Esta solución evita la aparición de órdenes intempestivos en el caso de fugas a tierra.