

Anexo 7. Elementos de mando y protección de instalaciones de baja tensión

7.1. Elementos de mando y protección de una instalación de baja tensión

En este apartado se indican los principales equipos y elementos que se utilizan en las instalaciones de baja tensión para la maniobra y protección de las mismas.

7.1.1. Fusibles

El fusible es un dispositivo que tiene como misión abrir el circuito en el que está instalado por la fusión de uno o varios de sus elementos diseñados y calibrados para este fin, cortando la corriente cuando sobrepasa un determinado valor durante un tiempo suficiente. El fusible comprende todas las partes que componen el dispositivo.

Aplicación

Es un dispositivo de protección contra sobrecorrientes que tiene como misión abrir el circuito en el que está instalado, por la fusión de uno o varios de sus elementos, cortando la corriente cuando sobrepasa un determinado valor durante un tiempo suficiente. La denominación de fusible comprende todas las partes que comprende el dispositivo (conjunto portador y cartucho fusible)

Los fusibles se utilizan:

- Protección contra sobrecorrientes en los esquemas de distribución TT, TN e IT
- Protección contra contactos indirectos en los esquemas de distribución TT, TN e IT

Tipos de fusibles

Los fusibles se pueden clasificar según las curvas de fusión o según la forma del mismo

a) Según las curvas de fusión

Al escoger un fusible hay que tener en cuenta dos variables: intensidad máxima y tiempo de corte. Los fusibles se clasifican respecto al tiempo de corte en rápidos y lentos

Los fusibles se clasifican, según su curva de fusión, mediante dos letras. La primera letra indica la zona de corrientes previstas donde el poder de corte del fusible está garantizado. La segunda letra indica la categoría de empleo en función del tipo de receptor o circuito a proteger.

¿Qué significa que un fusible es del tipo aM?

Tabla A.23. Clases de curvas de fusión de los fusibles

Clases de curvas de fusión		
1ª letra	g	Cartucho fusible limitador de la corriente que es capaz de interrumpir todas las corrientes desde su intensidad asignada (I_n) hasta su poder de corte asignado. Cortan intensidades de sobrecarga y de cortocircuito.
	a	Cartucho fusible limitador de la corriente que es capaz de interrumpir las corrientes comprendidas entre el valor mínimo indicado en sus características tiempo – corriente ($K_2 I_n$) y su poder de corte asignado

2ª letra	G	Cartuchos fusibles para uso general
	M	Cartuchos fusibles para protección de motores
	Tr	Cartuchos fusibles para protección de transformadores
	B	Cartuchos fusibles para protección de líneas de gran longitud
	R	Cartuchos fusibles para la protección de semiconductores
	D	Cartuchos fusibles con tiempo de actuación retardado

I_n = Corriente nominal
 I_{nf} = Corriente convencional de no fusión
 I_f = Corriente convencional de fusión

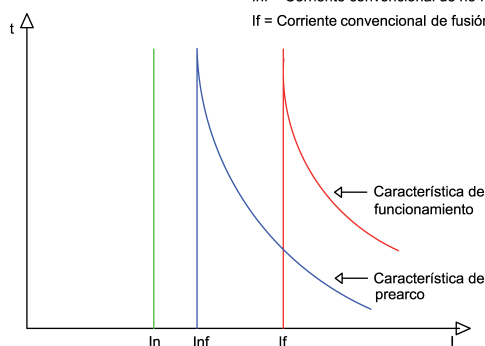


Figura A.22. Característica tiempo-corriente de un cartucho fusible «g».

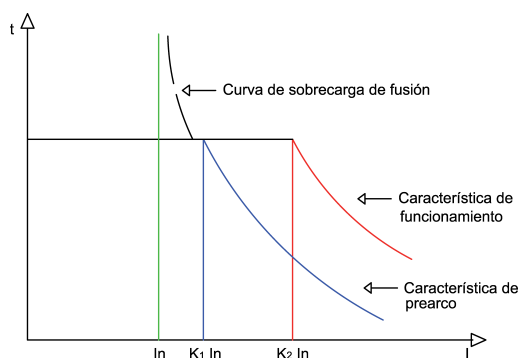


Figura A.23. Característica tiempo-corriente de un cartucho fusible «a».

Normalmente un fusible de tipo «gG» viene marcado con color negro y un fusible de tipo «aM» viene marcado con color verde.



Figura A.24. Cartucho fusible de tipo «gG».



Figura A.25. Cartucho fusible de tipo «aM».

En general:

- Los fusibles no son adecuados para pequeñas sobrecargas
- Es necesario tomar una sección superior de conductor a la correspondiente a la de la intensidad de empleo, a fin de evitar el deterioro del conductor con sobrecargas pequeñas de larga duración, en las que el fusible no actúa.
- Por otra parte, para prever los peligros de sobrecargas esporádicas, las líneas no se refuerzan con conductores de una sección mayor, sino que se protegen con fusibles.
- Los fusibles son adecuados en el caso de cortocircuitos importantes.
- Los fusibles de clase aM se utilizan sobre todo en asociación con otros aparatos (relés térmicos, interruptores automáticos) a fin de asegurar la protección contra las sobrecargas menores de normalmente $4 I_n$. Por tanto no son autónomos.

Las corrientes convencionales de fusión y no fusión no son valores fijos, funcionan a partir de $4 I_n$ y el tiempo de fusión depende de las características de fabricación y de su envejecimiento.

b) Según su forma

Los fusibles pueden ser de varias formas:

- 1) Fusibles destinados a ser utilizados por personas autorizadas, según la norma UNE 21103 – 2 – 1:

Fusibles con cartuchos de cuchillas (NH)



Corriente asignada In (A)		
Tamaño	Base	Cartucho
000/00	100/160	2 – 4 – 6 – 10 – 16 – 20 – 25 – 32 – 35 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100 – 125 – 160
0	160	6 – 10 – 16 – 20 – 25 – 32 – 35 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100 – 125 – 160
1	250	200 – 250
2	400	315 – 400
3	630	500 – 630
4	1.000	500 – 630 – 800 – 1.000
4a	1.250	1.250

Figura A.26. Fusibles de tipo cuchillas (NH).

En la figura A.27 se indica la forma de marcado de un fusible de tipo cuchillas

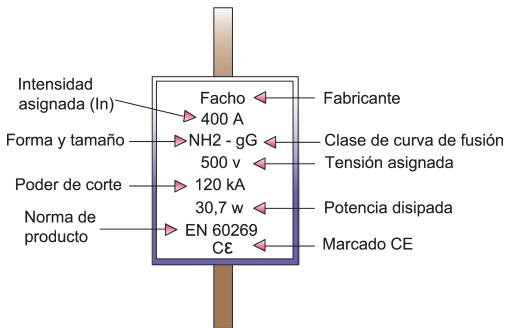
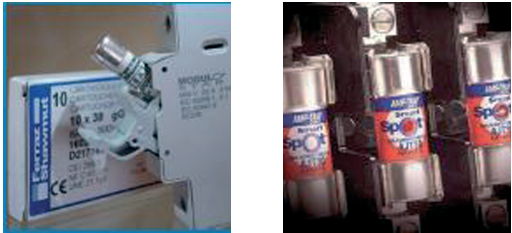


Figura A.27. Marcado de un fusible de tipo cuchillas (NH).

Fusibles con cartuchos cilíndricos:



Corriente asignada In (A)		
Tamaño	Base	Cartucho
10 x 38	25	2 – 4 – 6 – 10 – 16 – 20 – 25
14 x 51	50	2 – 4 – 6 – 10 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 – 50
22 x 58	100	2 – 4 – 6 – 10 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100

Figura A.28. Fusibles cilíndricos y bases portafusibles seccionables..

- 2) Fusibles destinados a ser utilizados por personas no cualificadas, según la norma UNE 21103- 3 – 1:

Fusibles de tipo D:



Corriente asignada In (A)		
Tamaño	Base	Cartucho
D01	16	2 – 4 – 6 – 10 – 16
D02	63	20 – 25 – 35 – 50 – 63
D03	100	80 – 100

Figura A.29. Fusibles DO «NEOZED».



Corriente asignada In (A)		
Tamaño	Base	Cartucho
DII	25	2 – 4 – 6 – 10 – 16 – 20 – 25
DIII	63	35 – 50 – 63
DIV	100	80 – 100

Figura A.30. Fusibles D «DIAZED».

3) Fusibles de tipo miniatura

Protegen la alimentación de los equipos electrónicos de baja potencia

Pueden ser según su característica de fusión:

- Fusibles muy rápidos (FF) y rápidos (F) para la protección de convertidores con semiconductores (diodos, tiristores, triacs).
- Fusibles semitemporizados (M) para la protección de circuitos y de equipos que presenten puntas de corriente a la puesta en marcha o sobreintensidades transitorias.
- Fusibles temporizados (T) para la protección de circuitos y equipos que presentan fuertes puntas de corriente al conectarlos a la tensión (motores, transformadores)
- Fusibles muy temporizados (TT) para la protección de circuitos y equipos que están sometidos a importantes puntas de corriente a su puesta en marcha (de manera muy repetitiva y con un descenso lento de la corriente)



Figura A.31. Fusibles de tipo miniatura.

7.1.2. Interruptores automáticos

En general un interruptor automático es un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales del circuito, así como de establecer, soportar durante un tiempo determinado e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas del circuito, como las de cortocircuito

Aplicación

Principalmente los interruptores automáticos se utilizan para la protección contra sobreintensidades (sobrecargas + cortocircuitos). También garantizan:

- El control de un circuito, manual o automático
- El seccionamiento de corte evidente y de corte visible para los aparatos extraíbles y desembornables.
- El corte de urgencia
- La protección diferencial
- La protección por falta de tensión

Principio de funcionamiento

En este apartado se indican las distintas tecnologías utilizadas en los interruptores automáticos. La detección de sobreintensidades se realiza mediante tres dispositivos diferentes: térmicos para sobrecargas, magnéticos para cortocircuitos y electrónicos para ambos. Los interruptores térmicos y magnéticos, generalmente asociados

(interruptores automáticos magnetotérmicos), poseen una técnica probada y económica, si bien ofrecen menos facilidades de regulación que los interruptores electrónicos.

Relé térmico:

Está constituido por un termoelemento (bimetal) cuyo calentamiento por encima de los valores normales de funcionamiento provoca una deformación que libera el cierre de bloqueo de los contactos. El tiempo de reacción de un termoelemento es inversamente proporcional a la intensidad de la corriente. Debido a su inercia térmica, cada nueva activación del circuito disminuirá su tiempo de reacción

Relé magnético:

Está constituido por un bucle magnético (bobina) cuyo efecto libera el cierre de bloqueo de los contactos, provocando así el corte en caso de sobreintensidad elevada (cortocircuito). El tiempo de respuesta es muy corto.

Relé electrónico:

Un toroidal situado en cada conductor, mide permanentemente la corriente en cada uno de ellos. Esta información es tratada por un módulo electrónico que acciona el disparo del interruptor cuando se sobrepasan los valores de ajuste. La curva del interruptor presenta tres zonas de funcionamiento:

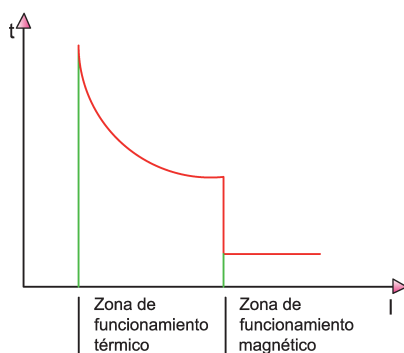
- **Zona de funcionamiento instantáneo.** Garantiza la protección contra cortocircuitos de alta intensidad.
- **Zona de funcionamiento de retardo corto.** Garantiza la protección contra cortocircuitos de intensidad menor, generalmente en el extremo de línea. El umbral de regulación suele ser regulable.
- **Zona de funcionamiento de retardo largo.** Es asimilable a la característica de un interruptor térmico. Permite garantizar la protección de los conductores contra sobrecargas.

El interruptor automático puede ser:

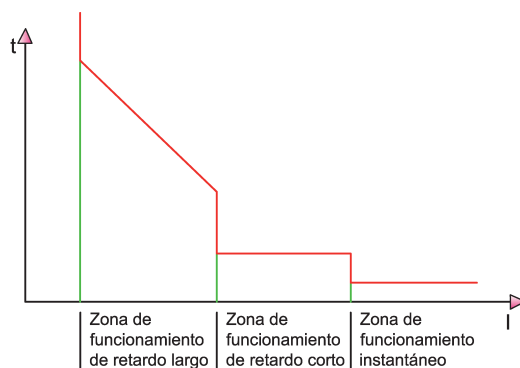
Magnetotérmico: El funcionamiento se basa en la combinación de un relé térmico y un relé magnético.

El relé térmico es un bimetal que se dilata por el paso de la corriente de sobrecarga y se curva accionando un disparador. Para intensidades de sobrecarga bajas, el calentamiento del bimetal se realiza mediante una resistencia que rodea al bimetal. El tiempo de reacción del bimetal es menor cuanto mayor sea la sobrecarga

El relé magnético es una bobina que, al ser recorrida por la intensidad de cortocircuito, provocará el accionamiento del disparador por efecto del campo magnético. El tiempo de respuesta es muy corto.



Activador automático



Activador electrónico

Figura A.32. Curvas típicas de disparo.

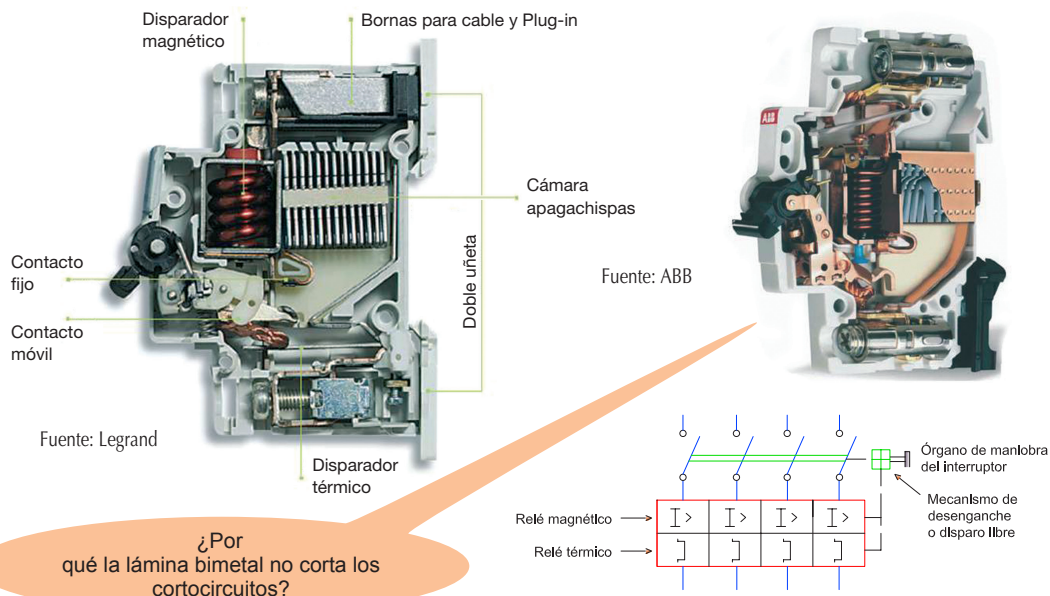


Figura A.33. Interruptor automático magnetotérmico.

Electrónico: El funcionamiento se basa en sistemas de estado sólido. El circuito electrónico controla los valores de intensidad y determina el tiempo de actuación del disparador

La alimentación de este circuito electrónico se obtiene de secundarios de transformadores de intensidad montados sobre los conductores del circuito principal del interruptor automático, que transforma la intensidad que circula por estos en otra de reducido valor, para ser analizada por el circuito electrónico

Tienen mayor capacidad de regulación de tiempos e intensidades de actuación que los relés magnetotérmicos.

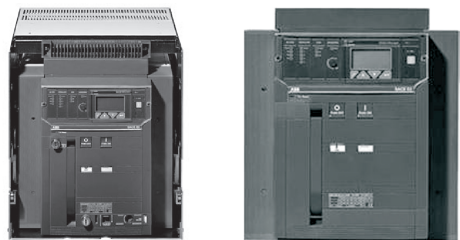


Figura A.34. Interruptores automáticos electrónicos.
Fuente: ABB.

Las distintas formas que pueden tener los interruptores automáticos son:

a) *Modulares:*

Tienen una medida normalizada de 18 mm de ancho en cada polo para instalación en carril DIN.

No son regulables ni en intensidad ni en tiempo.

Intensidades nominales normalmente hasta 125 A

Poder de corte normalmente hasta 25 kA

Utilización por personas no expertas

Disparador magnetotérmico

Regulados por UNE – EN 60898 (domésticos) y por UNE – EN 60947 - 2 (industriales)



Figura A.35. Interruptores magnetotérmico de tipo modular. Fuente: Delixi.

Hoy en día existen interruptores automáticos con telemando integrado que tienen una gran aplicación en:

- Protección y control en circuitos de iluminación eléctricos en infraestructuras y edificios comerciales e industriales.
- Protección y control remoto de circuitos no prioritarios como parte de un proceso de deslastre de carga
- Protección y control remoto de la mayoría de las cargas eléctricas con muy pocas operaciones de conmutación.
- Particularmente adecuado para señalización convencional y de control remoto de 230 VCA o mediante un interfaz de muy baja tensión con un PLC o BMS.



Figura A.36. Interruptor automático con telemando integrado. Fuente: Shneider Electric.

b) Caja moldeada:

Tienen una carcasa soporte de material aislante que forma parte del interruptor automático.

Regulables en intensidad y tiempo

Intensidades nominales normalmente hasta 3.200 A

Poder de corte superior a los modulares

Tensiones asignadas de hasta 1.000 v en ca y 1.500 v en cc

Regulados por UNE – EN 60947 – 2 (industriales)

Disparador magnetotérmico o electrónico

Puede ser seccionable o extraíble

Extraíble: Los aparatos extraíbles (o desconectables), que pueden insertarse o retirarse sin desconectar la tensión del circuito en cuestión. Las operaciones de conexión / desconexión sólo pueden efectuarse cuando el aparato está abierto; en caso contrario la desconexión implica mecánicamente el corte del aparato. En casos sencillos, los aparatos extraíbles pueden garantizar el seccionamiento y la puesta en seguridad, si bien se utilizan generalmente por su capacidad de intercambio, que facilita mucho el mantenimiento.

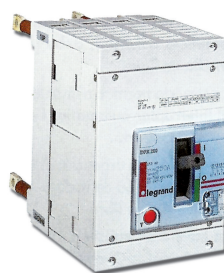


Figura A.37. Interruptor automático de caja moldeada extraíble. Fuente: Legrand.

Seccionables: Además de las ventajas de los aparatos extraíbles (intercambiabilidad y seccionamiento de corte visible) permiten, con ayuda de un mecanismo asociado, controlar las maniobras de conexión / desconexión, realizar las pruebas y mediciones, conservando la continuidad de los circuitos auxiliares al tiempo que cortan los circuitos principales, visualizar el estado de los circuitos y mediante diferentes sistemas (candados, cerraduras....) realizar el cierre del aparato para llevar a cabo las operaciones de puesta en seguridad.

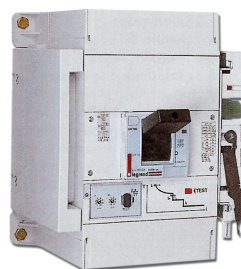


Figura A.38. Interruptor automático de caja moldeada seccionable. Fuente: Legrand.

c) *Bastidor abierto*

- Son los que tienen una carcasa soporte de material aislante sólo por la parte frontal del interruptor automático.
- Regulables en intensidad y tiempo
- Intensidades nominales normalmente hasta 6.200 A

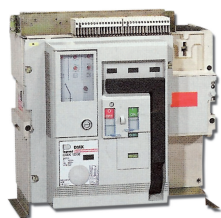
Poder de corte superior a los modulares

Tensiones asignadas de hasta 1.000 v en ca y 1.500 v en cc

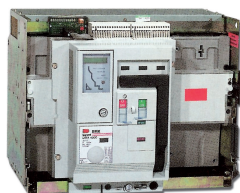
Regulados por UNE – EN 60947 – 2 (industriales)

Disparador magnetotérmico o electrónico

Pueden ser fijos o seccionables. En los fijos las conexiones sólo pueden establecerse o cortarse cuando su alimentación está sin tensión (por ejemplo, conexiones mediante bornes o terminales). En general, su montaje y desmontaje requiere cierto tiempo y unas herramientas mínimas.



Fijo

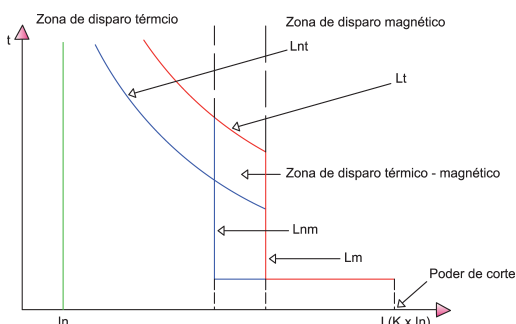


Seccionable

Figura A.39. Interruptor automático de bastidor abierto en versión fija y seccionable. Fuente: Legrand.

Característica tiempo/corriente de un interruptor automático

En la figura A.40 se puede apreciar la representación los distintos valores de intensidad y tiempo, así como, las distintas zonas de un interruptor automático magnetotérmico.



- Lnt = Límite de corriente convencional de no desconexión del disparador térmico (Int).
- Lt = Límite de corriente convencional de desconexión del disparador térmico (It o I2).
- Lnm = Límite de corriente convencional de no desconexión del disparador magnético (Int).
- Lm = Límite de corriente convencional de desconexión del disparador magnético (It o I2).

Figura A.40. Característica tiempo/corriente de un interruptor automático magnetotérmico.

Curvas características de interruptores automáticos

Para los interruptores automáticos no regulables (generalmente los modulares), la corriente magnética se ajusta en fábrica según las siguientes normas:

Tabla A.24. Tipos de curvas características de interruptores automáticos

Tipo	Norma	Ajuste magnético	Aplicaciones
B	UNE 60898 (domésticos)	3 a 5 In	- Protección de circuitos con cargas resistivas (alumbrado incandescente, calefacción por radiadores de termofluido, etc.)
	UNE 60947 (industriales)	3,2 a 4,8 In	- Circuitos con intensidades débiles de cortocircuito (gran longitud, régimen IT y TN, alternador, etc.)
			- Protección de circuitos en los que no se producen transitorios

(continúa)

Tipo	Norma	Ajuste magnético	Aplicaciones
C	UNE 60898 (domésticos)	5 a 10 In	- Aplicaciones usuales de distribución - Protección de circuitos con cargas mixtas y habitualmente en las instalaciones de uso doméstico o análogo.
	UNE 60947 (industriales)	7 a 10 In	- Protección de circuitos con cargas inductivas y capacitivas - Protección de pequeños motores.
D	UNE 60898 (domésticos)	10 a 20 In	- Protección de circuitos con cargas inductivas o capacitivas importantes (motores, baterías de condensadores, etc.) - Evita los disparos intempestivos, especialmente en el arranque de motores
	UNE 60947 (industriales)	10 a 14 In	- Corrientes elevadas como transformadores - Cuando se prevén transitorios importantes.
MA (solamente magnético)	UNE 60947 (industriales)	$12 I_n \pm 20 \%$	- Protección en el arranque de motores - Posee un umbral de funcionamiento destinado a una continuidad máxima de servicio. Por esa razón se utiliza en los servicios de seguridad
ICP – M	UNE 20317	5 a 8 In	- Interruptor de control de potencia y uso general como interruptor automático magnetotérmico
Z		2,4 a 3,6 In	- Es particularmente apto para el mando y la protección de alimentación de circuitos electrónicos con semiconductores y en circuitos secundarios de medida

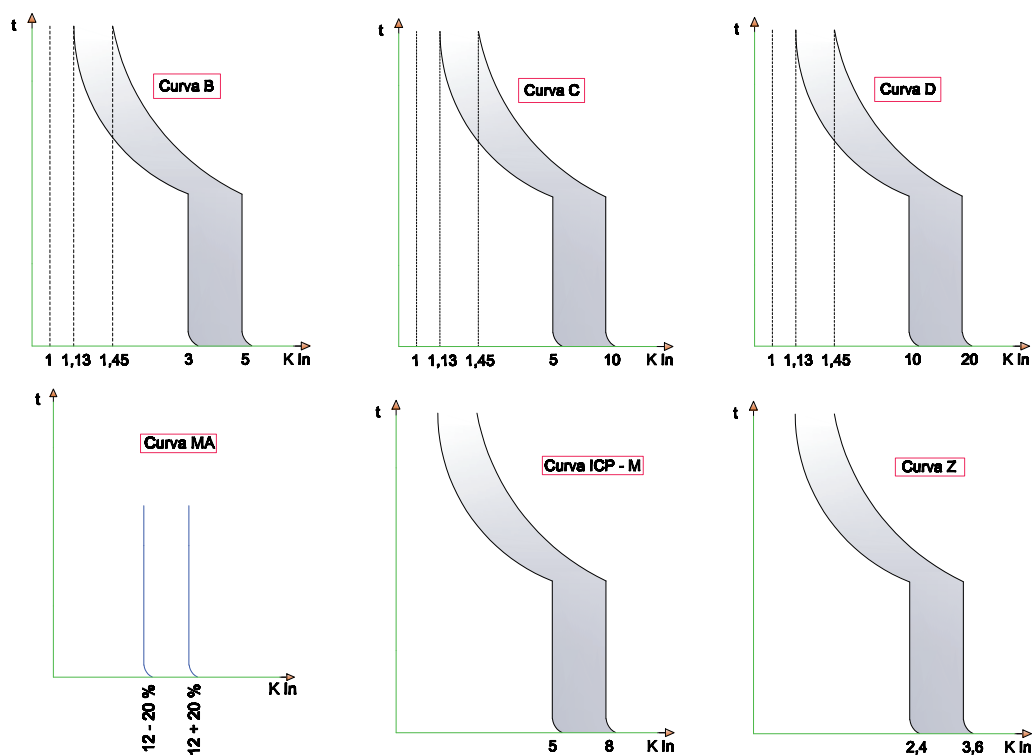


Figura A.41. Curvas de interruptores automáticos magnetotérmicos.

Marcado de interruptores automáticos

En la figura A.42 se puede apreciar la forma de identificar un interruptor automático

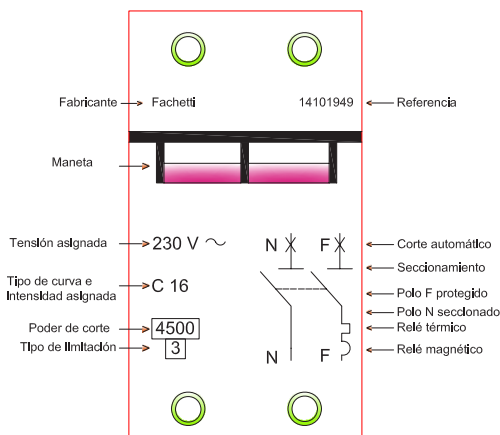


Figura A.42. Marcado de un interruptor magnetotérmico de tipo modular.

En la figura A.43 se puede apreciar la forma de identificar un interruptor automático de tipo bastidor abierto

5.1.3. Interruptor - seccionador de corte en carga

Este interruptor de control se suele accionar manualmente (aunque a veces dispone de disparo eléctrico para mayor comodidad del usuario) y es un dispositivo no automático de dos posiciones (abierto/cerrado)

Se utiliza para cerrar y abrir circuitos cargados en condiciones normales de circuitos sin defectos. Por tanto, no proporciona ninguna protección a los circuitos que controla

Siempre existe la posibilidad, de que al cerrar un circuito, haya un cortocircuito en el mismo. Por este motivo se asigna a los interruptores de corte en carga un índice de conexión de corrien-

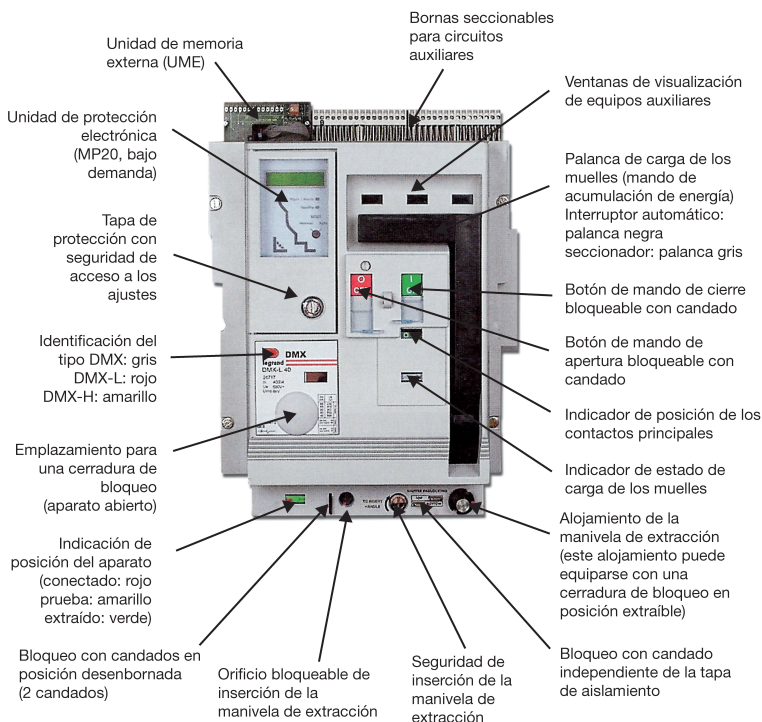


Figura A.43. Identificación de las distintas partes de un interruptor automático de tipo bastidor abierto. Fuente: Legrand

te de defecto, es decir, se asegura el cierre correcto frente a las fuerzas electrodinámicas de la corriente de cortocircuito. Tales interruptores se denominan habitualmente como «de carga con conexión de defecto». Los dispositivos de conexión situados aguas arriba son los encargados de eliminar el cortocircuito.

En las siguientes figuras se puede apreciar un interruptor de corte en carga motorizado y otro para corriente continua.



Figura A.44. Interruptor de corte en carga motorizado. Fuente: ABB.



Figura A.45. Interruptor de corte en carga de CC (mercado fotovoltaico). Fuente: ABB.



SABÍAS QUE

Los interruptores automáticos para ser usados con alimentación 230/400 V CA, también se pueden usar con alimentación en CC. En este caso, el valor máximo del umbral de disparo magnético debe multiplicarse por 1,4.

Ejemplo: Un interruptor automático con curva C con umbral de disparo 5 a 10 In para CA, tendrá un umbral de disparo en CC de 7 a 14 In.

Los interruptores automáticos para ser usados con alimentación 230/400 V CA, también se pueden usar con alimentación en CC. En este caso, el valor máximo del umbral de disparo magnético debe multiplicarse por 1,4.

Ejemplo: Un interruptor automático con curva C con umbral de disparo 5 a 10 In para CA, tendrá un umbral de disparo en CC de 7 a 14 In.

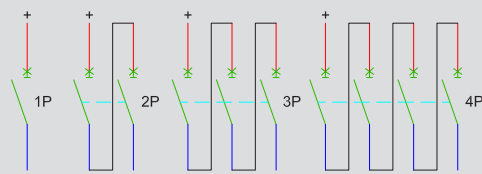


Figura A.46. Interruptores para CC.

7.1.3. Interruptores diferenciales

En esta apartado se analizan las principales características de los interruptores automáticos diferenciales, así como sus distintos tipos.

Aplicación

El interruptor diferencial se emplea como dispositivo de protección contra contactos indirectos, asociado a la puesta a tierra de las masas metálicas.

En determinadas condiciones, los interruptores diferenciales también proporcionan una protección contra contactos directos.

Conviene destacar que los interruptores diferenciales, aportan una protección muy eficaz contra incendios, al limitar a energías muy bajas las eventuales fugas de corriente eléctrica por defecto de aislamiento.

En general los diferenciales (dispositivos de corriente residual diferencial) pueden usarse en los siguientes casos:

- Como medida de protección complementaria contra contactos directos si la corriente diferencial residual asignada es inferior a 30 mA.

- Como medida de protección contra contactos indirectos en el esquema TT, TN e IT.
- Como medida adicional de prevención de incendios por defecto de aislamiento, si la intensidad diferencial residual asignada es ≤ 300 mA.

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento se basa en que la suma fasorial de las intensidades de línea de un circuito eléctrico es igual a cero.

Se observa por ejemplo que en un sistema monofásico la corriente que circula por el conductor neutro es exactamente igual a la que circula por el conductor de fase, por tanto en situaciones normales su suma es igual a cero.

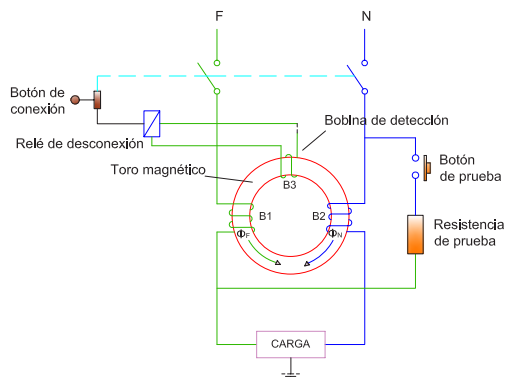
Cuando el neutro o la fase tienen una pérdida o derivación de corriente a tierra, se produce un desequilibrio que hace actuar al interruptor diferencia

El interruptor diferencial consta de un núcleo toroidal (toro magnético) en forma de anillo y sobre él dos bobinas ubicadas en extremos opuestos cuya cantidad de vueltas y sección de alambre es exactamente la misma. Una tercera bobina ubicada en forma equidistante de las anteriores es la encargada de accionar el mecanismo de desconexión.

En el momento que entre los bornes se produzca una derivación a tierra, circulará una intensidad mayor por una de las bobinas (o por B1 o B2). Esto provocará que el campo magnético que genere una de ellas sea mayor al que genere la otra; con lo que la sumatoria ya no será cero. En consecuencia la bobina B3 será cortada por un campo magnético resultante induciéndose una tensión en ella.

Cuando la suma fasorial de las corrientes de línea alcanza un valor superior al de la corriente diferencial nominal del interruptor, la tensión secundaria en B3 provoca la apertura del circuito afectado por medio de un disparador.

El pulsador de prueba provoca un desequilibrio secundario seccionando el sistema de conexión y permitiendo probar el interruptor del mismo.



Fuente: ABB

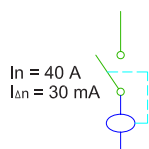
Figura A.47. Principio de funcionamiento de un interruptor diferencial.

Sensibilidad y corriente asignada

Los principales valores que define a un interruptor diferencial son la sensibilidad y la corriente asignada

La *sensibilidad* ($I_{\Delta n}$) es el valor de la corriente diferencial de funcionamiento atribuido por el fabricante al interruptor diferencial, para el cual debe funcionar en las condiciones especificadas.

La *corriente asignada* (I_n) es el valor de la corriente, atribuido al interruptor diferencial por el fabricante, que el interruptor diferencial puede soportar en servicio ininterrumpido.

Ejemplo

No debe pasar una corriente superior a 40 A y actúa a partir de 30 mA de corriente de fuga

Figura A.48. Símbolo de interruptor diferencial.

Tipos de interruptores diferenciales

Los principales tipos de interruptores diferenciales son:

- 1) Los que integran en una misma envoltente, el relé de protección diferencial, el transformador
- 2) Interruptores magnetotérmicos diferenciales que integran bajo una misma envoltente el relé de protección diferencial, el relé de protección contra sobrecargas, el relé de protección contra cortocircuitos, el transformador toroidal de detección de corrientes de defecto y el interruptor de corte del circuito protegido. Realizan funciones de protección contra sobrecargas, cortocircuitos y corrientes de defecto.
- 3) Bloques diferenciales modulares que integran el relé de protección diferencial y el



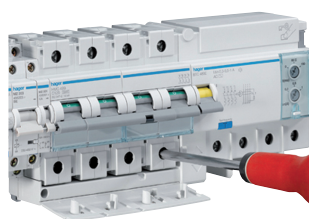
Diferencial puro



Magnetotérmico diferencial



Bloque diferencial



Interruptor automático y bloque diferencial con regulación en tiempo y sensibilidad



Relé diferencial separado del transformador toroidal

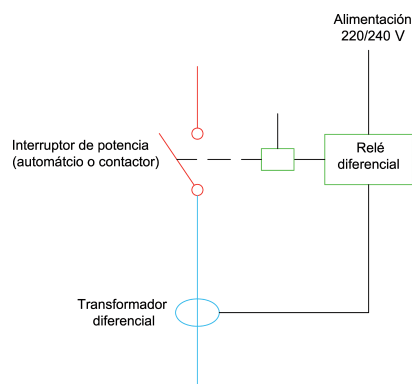


Figura A.49. Tipos de interruptores diferenciales. Fuente: Hager.

transformador toroidal de detección de corrientes de defecto. Están diseñados para ser conectados a un dispositivo de protección contra sobrecargas y cortocircuitos que lleva asociado el interruptor de corte del circuito protegido.

- 4) Para potencias elevadas se utiliza el relé diferencial separado del transformador toroidal de detección de corrientes de defecto. Ambos elementos están conectados eléctricamente a un magnetotérmico o a un contactor que realiza las funciones de interruptor de apertura del circuito protegido.

Los interruptores diferenciales también pueden ser:

Immunizados (Hpi)

Básicamente, están formados por tres bloques:

- Bloque de captación de señal
- Bloque de filtrado electrónico
- Bloque de relé de disparo.

En la figura A.50 se indica, de forma resumida, las distintas partes de un diferencial inmunizado

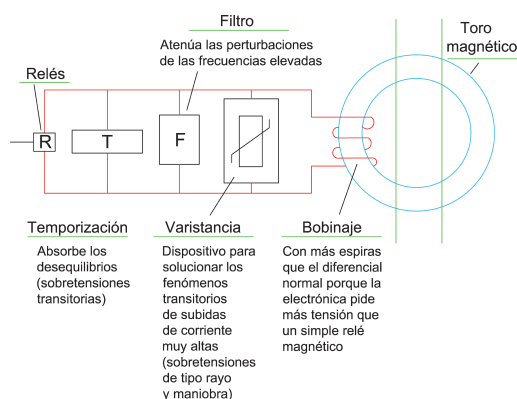


Figura A.50. Elementos de un interruptor diferencial inmunizado.

Estos interruptores diferenciales se utilizan principalmente en instalaciones con balastos electrónicos para iluminación fluorescente, equipos informáticos y de oficina, variadores de veloci-

dad, SAI (sistema de alimentación ininterrumpida), entre otros.

Nota: En las instalaciones (con balastos electrónicos o bien ordenadores) el problema más frecuente es el disparo del interruptor diferencial al conectar o desconectar el equipo. Se recomienda que, en el caso de que haya instalado varios dispositivos en la misma línea, la suma de todas las corrientes de fuga no supere 1/3 de la del diferencial, ya que cualquier perturbación en la línea puede provocar el disparo del interruptor diferencial.

Para este tipo de instalación se recomienda subdividir los circuitos o utilizar interruptores diferenciales de tipo inmunizado.

Diferencial con reconexión automática

Los sistemas de reconexión automática están especialmente concebidos para instalaciones no vigiladas o de difícil acceso y donde se precise la máxima continuidad de servicio preservando siempre una máxima seguridad y evitando ante todo desplazamientos costosos en cuanto a tiempo y dinero.

Es conveniente instalar sistemas de reconexión, por ejemplo:

- Estaciones repetidoras de radio, TV y telefonía fija y móvil
- Estaciones meteorológicas
- Estaciones de medida y control de embalses y de transporte de gas
- Alumbrado público y zonas de reposo en las autopistas
- Alumbrado de túneles y parkings
- Semáforos
- Riego automático y bombeo de agua de instalaciones agrícolas
- Cajeros automáticos
- Señalización de carreteras, ferrocarriles y aérea.
- Cámaras frigoríficas de instalaciones industriales.



Figura A.51. Interruptor con reconexión diferencial.

Fuente: Hager.

Diferencial con ciclo de autotest

Los diferenciales pueden llevar esta opción para realizar un control periódico de la eficiencia de la protección diferencial. Durante el test, un circuito bypass asegura la continuidad del servicio, mientras que una protección diferencial garantiza la seguridad de la instalación. Por tanto se realiza un test automático sin quitar la alimentación, lo que permite realizar los controles obligatorios sin dejar de prestar servicio.

Diferencial con programación del número de rearmes y contador de número de disparos que ha realizado

Se trata de un diferencial con reconexión automática que se caracteriza por disponer de contactos auxiliares y posibilidad de apertura o cierre de forma remota.

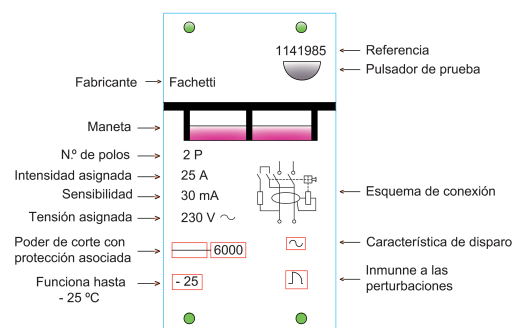
Permite programar el número de rearmes y también el tiempo entre rearmes, indicando en su pantalla led el número de disparos que ha realizado



Figura A.53. Interruptor diferencial con rearme con apertura y cierre de forma remota. Indica en el número de disparos que ha realizado. Fuente: CHINT.

Marcado de interruptores diferenciales

En la figura 4.54 se puede apreciar la forma de identificar un interruptor diferencial



Dispositivos con rearme diferencial



Dispositivos con rearme y autotest semanal

Figura A.52. Interruptores diferenciales con reconexión y ciclo autotest. Fuente: Gewiss.

Otros esquemas de conexión de interruptores diferenciales pueden ser:

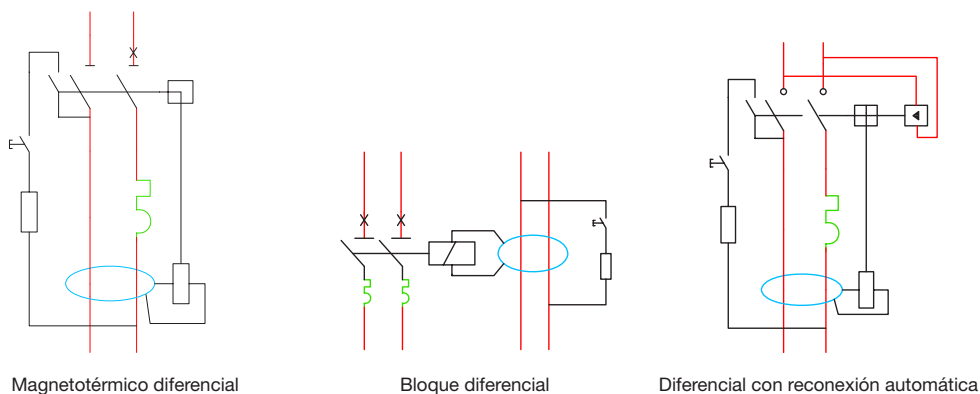


Figura A.54. Marcado de interruptores diferenciales.

Curvas características de los interruptores diferenciales

En las siguientes figuras se indica las curvas características de disparo de un interruptor diferencial.



Figura A.55. Curva de disparo ($I\Delta n$ / t) de un interruptor diferencial.

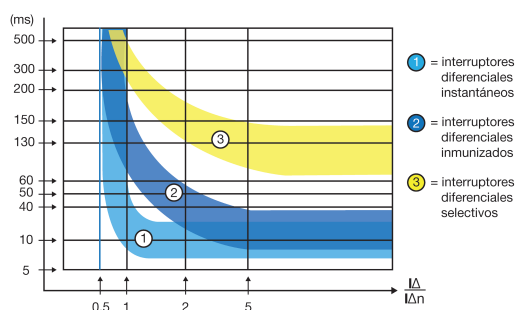


Figura A.56. Curvas de disparo diferencial. Fuente: Gewiss.

7.1.4. Clasificación de interruptores diferenciales

La clasificación de los interruptores diferenciales se puede realizar desde distintos puntos de vista:

- Con o sin protección contra sobrecorrientes
 - **AD** = Interruptor diferencial con dispositivo de protección contra sobrecorrientes incorporado
 - **ID** = Interruptor diferencial con dispositivo de protección contra sobrecorrientes no incorporado
- Con funcionamiento independiente o con funcionamiento dependiente de la tensión de alimentación, estos últimos a su vez puede ser:
 - **Abrirse automáticamente**, con o sin retardo, en caso de fallo de la tensión de alimentación, pero no se vuelven a cerrar cuando la tensión de alimentación se restablece.
 - **No abrirse automáticamente** en caso de fallo de la tensión de alimentación, pudiendo o no ser capaces de desconectar en caso de aparición de una situación que presente riesgo (por ejemplo debido a un defecto a

tierra) en caso de fallo de la tensión de alimentación.

- Según el número de polos:
 - Para un ID:
 - Bipolares
 - Tripolares
 - Tetrapolares
 - Para un AD:
 - Bipolares con un polo protegido contra las sobreintensidades
 - Bipolares con dos polos protegidos contra las sobreintensidades
 - Tripolares con tres polos protegidos contra sobreintensidades
 - Tetrapolares con tres polos protegidos contra sobreintensidades
 - Tetrapolares con cuatro polos protegidos contra sobreintensidades

- Según la clase:

– **Clase AC**

Para las corrientes diferenciales alternas senoidales que se apliquen bruscamente o que aumenten lentamente. Son instantáneos

– **Clase A**

Para las corrientes diferenciales alternas senoidales, así como para corrientes diferenciales pulsantes con componente continua hasta 6 mA, que se apliquen bruscamente o que aumenten lentamente. Son instantáneos

– **Clase B**

Detecta corriente residual alterna hasta 1 kHz, pulsante y pura continua. La presencia de fugas en corriente continua sobre los sistemas de protección diferencial puede acarrear una total ineficiencia de las protecciones si no son del tipo adecuado. Aunque las fugas a corriente continua pueden ser menos nocivas para el cuerpo humano,

en combinación con fugas a corriente alterna y pulsante, pueden suponer el bloqueo o encefado de la propia protección diferencial, haciendo que el disparo se produzca con corrientes superiores a las que debería realizarse, con lo que no se puede garantizar la correcta protección de personas y equipos de las instalaciones.



SABÍAS QUE

En países como Bélgica, Suiza o Alemania no se pueden instalar los diferenciales de tipo AC, siendo como mínimo a instalar el de tipo A.

– **Clase selectivo**

Incorporan retardo en el disparo. Para asegurar una total protección de las personas en instalaciones eléctricas y garantizar el servicio, en el caso de defecto a tierra en uno de los circuitos o para evitar disparos no deseados debido a la existencia de armónicos, intensidades de conexión en el arranque de motores, cargas reactivas, entre otros, deben utilizarse diferenciales selectivos en el nivel superior de la instalación. Cualquier interruptor diferencial de tipo S es selectivo respecto a cualquier otro interruptor diferencial instantáneo instalado aguas abajo con sensibilidad inferior.

- Según su sensibilidad:

- **Alta sensibilidad (AS):** Normalmente de 10 – 30 mA
- **Media sensibilidad (MS):** Normalmente de 100 – 300 y 500 mA
- **Baja sensibilidad (BS):** Normalmente de 1 – 3 – 5 – 10 y 20 A

Los de alta sensibilidad se utilizan con más frecuencia contra los contactos directos, mientras que los de media sensibilidad y baja sensibilidad se utilizan para todas las otras necesidades de protección contra contactos indirectos, riesgos de incendio y de destrucción de las máquinas.

- Según su curva de disparo:
 - **Curva (G)** para diferenciales instantáneos
 - **Curva (S)** para los diferenciales selectivos del nivel de la temporización más baja.

Los diferenciales electrónicos, utilizados sobre todo en la industria y en el sector terciario tienen un umbral y una temporización regulable.

Por tanto los diferenciales desde este punto de vista pueden ser instantáneos, con temporización fija o selectivos y con temporización regulable.

La norma UNE 20460 prevé los tiempos máximos de corte en los circuitos terminales para los esquemas TN e IT. Para el esquema TT, el tiempo de funcionamiento de los diferenciales se elige en función de la tensión de contacto, en la práctica, los diferenciales de tipo (G) y (S) son adecuados en los circuitos terminales para tensiones de red $\leq 230/440$ v. La norma precisa también que un tiempo de 1 segundo está admitido en el esquema TT para los circuitos de distribución, con el fin de establecer los niveles de selectividad adecuados para asegurar la continuidad de servicio.

- Con y sin toma de tierra:
 - Con toma de tierra: El diferencial dispara en el momento que se origina el defecto de

aislamiento y en consecuencia la intensidad de fuga.

- Cuando no existe la toma de tierra: El diferencial dispara en el momento en que se origina la corriente de contacto (si se supera $I_{\Delta n}$) pues el circuito se cierra a través de la persona



SABÍAS QUE

Un interruptor diferencial comienza a actuar a partir de $0,5 I_{\Delta n}$

Ejemplo: Un diferencial de 30 mA, comienza a actuar a los 15 mA y tiene que haber actuado a los 30 mA

$I_{\Delta n}$ = Sensibilidad = Corriente diferencial de funcionamiento

7.1.5. Tipología de soluciones con interruptores diferenciales y magnetotérmicos

Las distintas soluciones para las diferentes tipos de aplicaciones se indican en la figura A.57

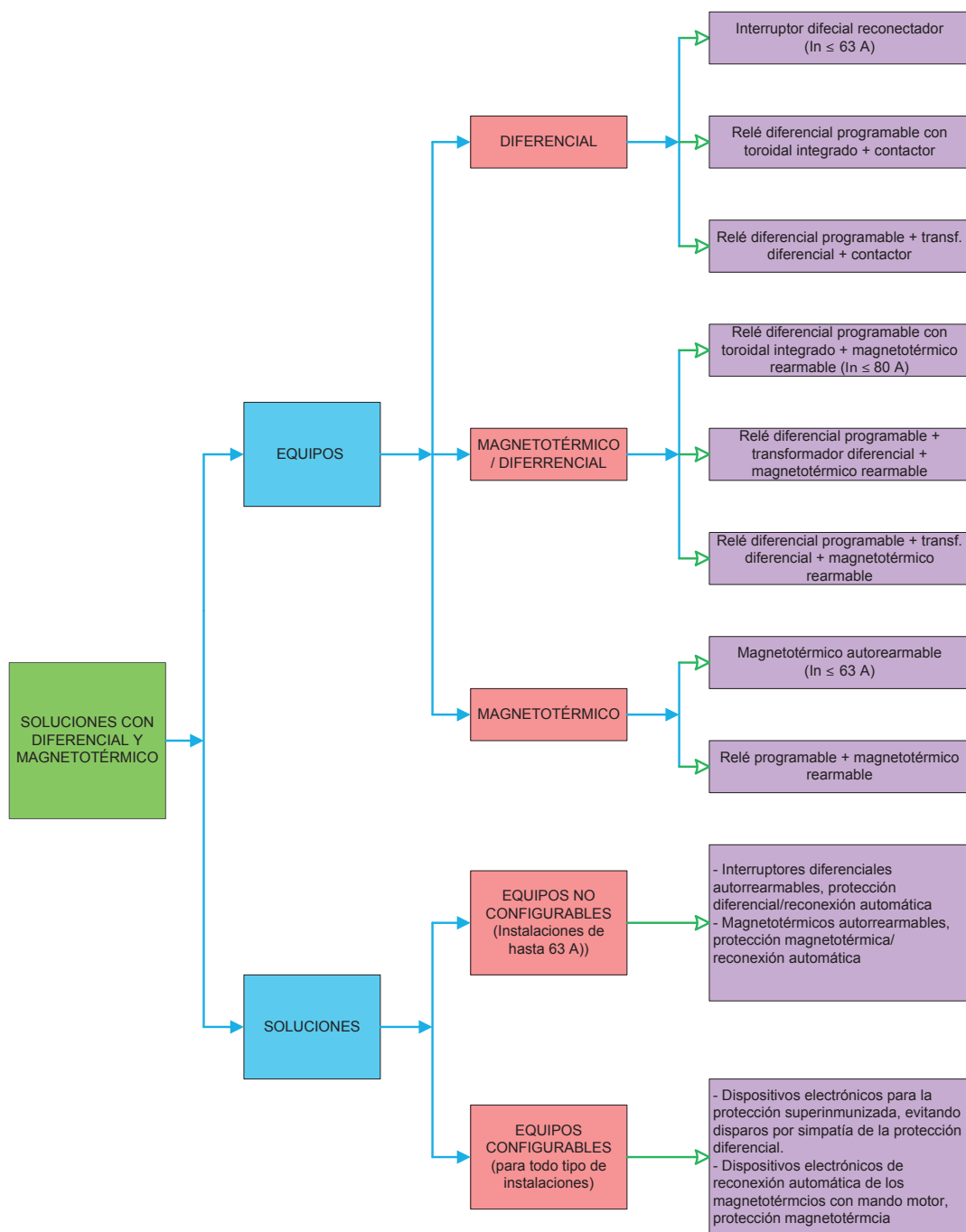


Figura A.57. Distintas soluciones con interruptores diferenciales y magnetotérmicos.

7.1.6. Limitadores de sobretensiones transitorias

Una sobretensión es una tensión elevada que aparece en la instalación y que se superpone a la nominal de la red. Esta sobretensión puede superar la tensión máxima admisible tanto en los cables como en los receptores.

Las sobretensiones pueden ser:

Sobretensiones transitorias

Se caracterizan por su corta duración, crecimiento rápido y valores de cresta muy elevados.

Son producidas por fenómenos atmosféricos (rayos) o por conmutaciones de máquinas de gran potencia, conmutaciones de las compañías eléctricas, descargas electrostáticas, condensadores, entre otros.

Los principales tipos de onda que se producen en las sobretensiones transitorias son la onda de corriente 8/20 μ s y 10/350 μ s y onda de tensión 1,2/50 μ s.

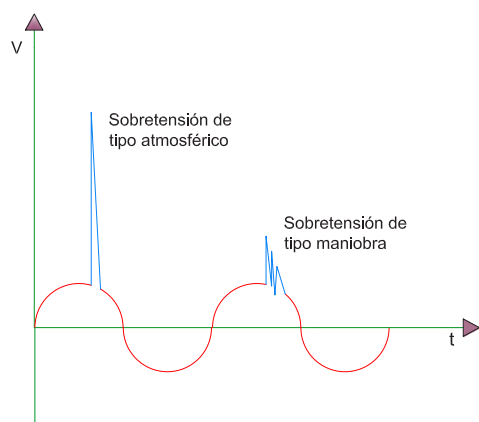


Figura A.58. Sobretensión transitoria.

En la figura A.59 se indica una onda de corriente del tipo 8/20 μ s

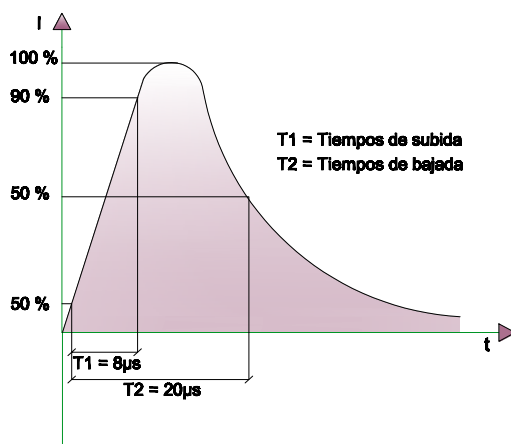


Figura A.59. Onda de corriente 8/20 μ s.

Sobretensiones permanentes

Una sobretensión temporal o permanente es originada por incrementos en la tensión de la red, generalmente superiores al 10 % de su valor nominal y duraciones variables entre décimas de segundo y minutos.

Son variaciones lentas de tensión y de larga duración

Se producen por un diseño inadecuado de la instalación, regulación de tensión, interrupción del conductor neutro con cargas desequilibradas, entre otros

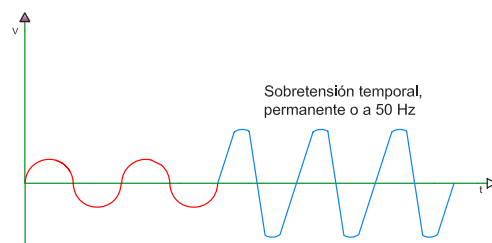


Figura A.60. Sobretensión permanente.

Sobretensiones asociadas a huecos de tensión

Se producen por cortocircuitos a tierra: monofásicos, bifásicos o doble falta a tierra

Sobretensiones de resonancia

Se producen en presencia de armónicos y en resonancia en serie y paralelo

Clases de protección:

En el proceso de selección de los elementos de protección, rige el principio de «protección escalonada», en el que se distinguen tres clases de protección:

Protección basta (protección contra corriente de rayo):

Según la normativa:

- Clase B (VDE 0675)
- Clase I (IEC 61643 -1)
- Tipo 1 (EN 61643 - 11)

Protección de sistemas de baja tensión contra los daños por corrientes de rayo causados por efectos directos de la caída de rayo. Protección alta, 10/350 μ s. Estos efectos en el sistema de protección contra el rayo (pararrayos) o en la línea aérea de alimentación de energía alrededor del edificio.

Son aconsejables cuando es de esperar una descarga directa del rayo: casas rurales e industrias

con sistema de protección externa, hospitales, edificios públicos o de patrimonio cultural, etc. con distancia inferior a 50 m, de una instalación con protección externa

Si la vivienda está equipada con un sistema de protección contra rayos (pararrayos) o tiene un suministro de energía desde una línea aérea, deberá ser instalado un descargador de clase B

Estos aparatos descargan una parte importante de la corriente de rayo hacia tierra. En este sentido se prevé una entrada mayor de corriente de rayo.

Se ha de instalar en lo más cerca de la acometida

Se requiere además una protección adicional de clase C. El protector ideal, debe derivar toda la intensidad máxima (I_{max}) generada por la sobretensión y que en sus extremos la tensión residual sea menor que la soportada por el equipo a proteger.

En la práctica no existe un protector que cumpla ambos criterios

Conseguir alto poder de descarga y bajo valor de tensión residual en un mismo protector es irrealizable, por lo que la utilización de un úni-

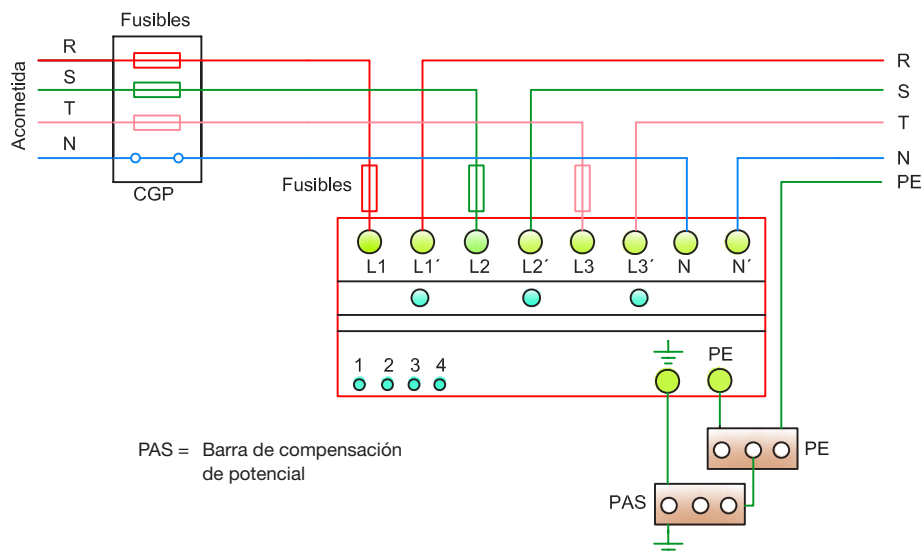


Figura A.61. Descargador de corriente de rayo de clase B. Esquema de instalación en serie.

co protector no asegura la protección de toda la instalación. Para ello debemos colocar 2 o más protectores de forma coordinada

Protección media (protección contra sobretensiones de sistemas de distribución de baja tensión):

Según la normativa:

- Clase C (VDE 0675)
- Clase II (IEC 61643 -1)
- Tipo 2 (EN 61643 – 11)

Protector con capacidad de descarga alta. Protección media, 8/20 μ s

Protección de sistemas de baja tensión contra los daños por sobretensión causados por efectos indirectos del rayo y operaciones de conmutación. Estos efectos son causados por caídas de rayo lejanas en las líneas aéreas que consiguen entrar en los edificios a través de las líneas de alimentación de energía y por las operaciones de conmutación (cargas de conexión y desconexión, cortes por defecto, etc.) pueden originar elevados picos de tensión.

Son los más ampliamente utilizados porque ofrecen un nivel de protección compatible con la mayoría de equipos que se conectan a la red de alimentación.

Su utilización es adecuada como protección media cuando tenemos protectores instalados de Tipo 1 o como primer escalón en viviendas, comercios, entre otros.

Aguas abajo del cuadro de distribución donde está instalado el descargador de clase B existe todavía una elevada tensión residual en la línea de distribución.

Algunos equipos eléctricos no resisten esta sobretensión y son destruidos.

Mediante un aparato protector de clase C se logra una drástica reducción de la sobretensión.

Los protectores de Tipo 2 deben instalarse siempre aguas abajo de los protectores Tipo 1 en todas las instalaciones con protección externa, en el cuadro de baja tensión. Su instalación

en cabecera será suficiente cuando no exista protección externa

En general, la distancia entre un descargador de clase B y uno de clase C es de 10 metros. Si la distancia ha de ser menor (por ejemplo en un mismo cuadro eléctrico) debe utilizarse un conjunto descargador de corriente de rayo y de sobretensión de clase B + C, o bien aplicar otras opciones.

Los descargadores de sobretensiones deben incorporar dispositivos termodinámicos de separación que aseguren la desconexión del descargador cuando éste llegue a un valor de corriente de fuga determinado como consecuencia de su natural envejecimiento (fugas en el material semiconductor) que pueda ser peligroso para la instalación.

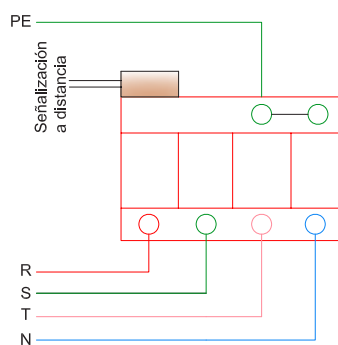


Figura A.62. Descargador de sobretensión de clase C.

Protección fina (Protección contra sobretensiones para equipo final):

Según la normativa:

- Clase D (VDE 0675)
- Clase III (IEC 61643 -1)
- Tipo 3 (EN 61643 – 11)

Protector con capacidad de descarga media. Protección baja, 8/20 μ s

Protección de los equipos consumidores en sistemas de baja tensión contra daños por sobretensiones causadas por efectos indirectos del rayo y perezos de conmutación.

También protege contra sobretensiones no conducidas:

- Campos electromagnéticos
- Descargas electrostáticas

La sobretensión remanente «aguas abajo» del descargador de clase C es aún peligrosa para algunos elementos del equipo eléctrico.

Se puede añadir una protección adicional para equipos sensibles o valiosos tales como sistema HiFi, ordenadores o TV mediante aparatos protectores de clase D

Existe la posibilidad del acoplamiento de sobretensiones en los conductores entre el cuadro de distribución y el equipo a proteger, entre otros casos, cuando el cable tiene una longitud superior a 10 metros y está tendido sin blindaje.

En la figura 4.64 Se puede apreciar una centralización de contadores con descargadores de sobretensión



Figura A.63. Protección de clase D. Fuente: DEHN.



Figura A.64. Descargadores de sobretensión en una centralización de contadores.

7.1.7. Contactores

El contactor es un aparato que tiene una sola posición de reposo, de mando no manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecargas en servicio.

No soporta corrientes de cortocircuito. Cuando la bobina del electroimán está bajo tensión, el contactor se cierra, estableciendo a través de los polos un circuito entre la red de alimentación y el receptor.



Figura A.65. Contactor. Fuente: Siemens.

El contactor tiene las siguientes ventajas:

- Interrumpir las corrientes monofásicas o polifásicas elevadas accionando un auxiliar de mando recorrido por una corriente de baja intensidad.
- Funcionar tanto en servicio intermitente como en continuo.
- Controlar a distancia de forma manual o automática, utilizando cables de sección pequeña o acortando significativamente los cables de potencia.
- Aumentar los puestos de control y situarlos cerca del operario.
- Ser robusto y fiable, ya que no incluye mecanismos delicados.

Un contactor consta básicamente de:

- Contactos de potencia (principales)
- Contactos auxiliares (maniobra). Realizan las funciones de autoalimentación, mando, enclavamiento y señalización.
- Hierro móvil y fijo
- Muelle antagonista
- Bobina
- Espira de sombra (para alimentación de la bobina en corriente alterna)
- Alimentación de la bobina

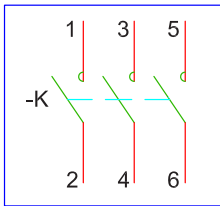


Figura A.66. Símbolo asociado al contactor.

Marcado de un contactor

a) Bornes de bobinas:

Se identifican con una letra y un número que para la bobina de un contactor con un devanado es A1 y A2

b) Contactos principales:

Se representan con cifras de un solo dígito

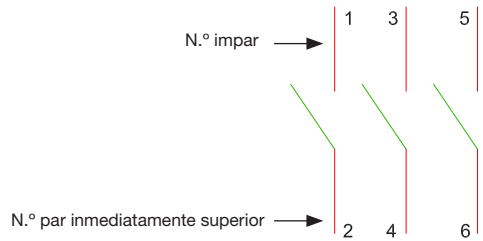


Figura A.67. Designación de contactos principales.

c) Contactos auxiliares:

Se representan con cifras, dependiendo de su estado en reposo y de la función que cumplen.

En la tabla 4.25 se pueden apreciar cual es el marcado de los contactos auxiliares

En la figura A.68 se indica un ejemplo de marcado de bornes de un contactor.

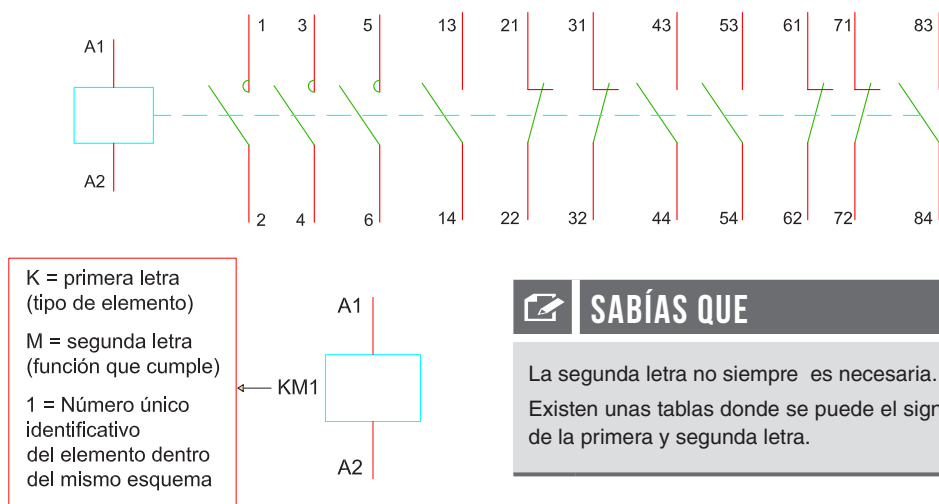


SABÍAS QUE

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

Tabla 4.25. Marcado de bornes en contactos auxiliares

Tipo de contacto	Estado en reposo	Designación	
		Primera cifra	Segunda cifra
Instantáneo	NC	Número correlativo (de 1 a 8) que indica el orden del contacto en el dispositivo al que estén asociados	1 – 2
	NO		3 – 4
Temporizado	NC		5 – 6
	NO		7 – 8
Perteneciente a un relé térmico	NC	9	5 – 6
	NO		7 - 8



SABÍAS QUE

La segunda letra no siempre es necesaria. Existen unas tablas donde se puede el significado de la primera y segunda letra.

Figura A.68. Marcado de un contactor.



SABÍAS QUE

Los contactos auxiliares pueden ser NO (normalmente abierto) en estado de reposo o NC (normalmente cerrado) en estado de reposo.

La mayoría de los contactores tienen por defecto un contacto auxiliar NO y otro NC.



SABÍAS QUE

Los contactores cuya bobina (electroimán) se alimentan en AC monofásica deben disponer en su interior de un componente llamado **espira de sombra o anillo de desfase** que, colocada en el núcleo de la bobina, previene de ruidos y vibraciones en los momentos en los que la tensión pasa por cero, provocando un desfase auxiliar que mantiene la armadura atraída en todo momento por el núcleo.

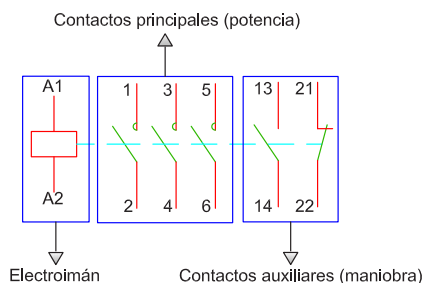


Figura A.69. Representación gráfica de un contactor en estado de reposo.

Por supuesto si la alimentación de la bobina se realiza en DC, ya no se necesita instalar la espira de sombra.

¿Te recuerdas de alguna otra máquina que utilice la espira de sombra?

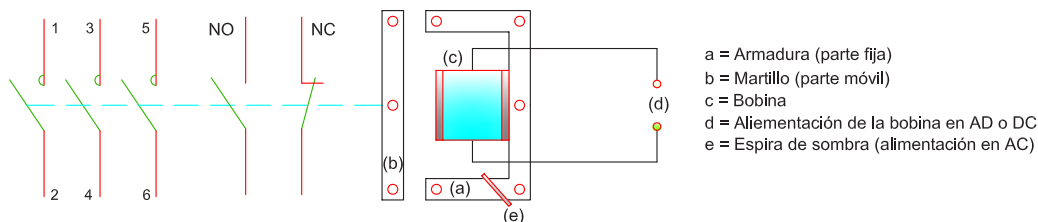


Figura A.70. Esquema de principio de un contactor.

En la figura A.71 se indica un esquema de un contactor con alimentación de DC de su bobina.



SABÍAS QUE

El contacto 1 se utiliza para la llamada realimentación.

Consiste en cortocircuitar el pulsador de conexión, colocando en paralelo a este un contacto auxiliar normalmente abierto perteneciente al contactor que deba permanecer activo durante el tiempo que dure el proceso. De esta manera, mientras la bobina del electroimán reciba corriente, el contacto auxiliar del contactor permanecerá cerrado, permitiendo el paso de la corriente. En esta situación la única forma de abrir el circuito será mediante el accionamiento del pulsador de desconexión.

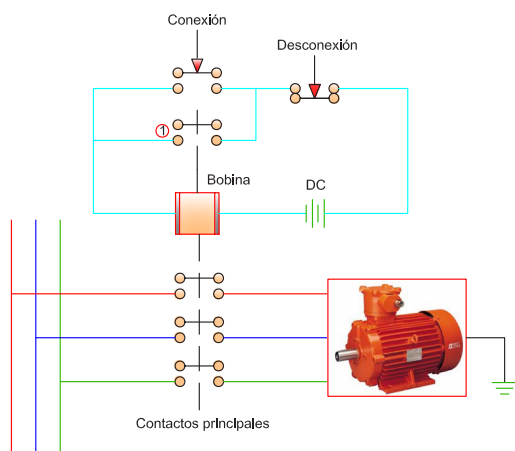


Figura A.71. Contactor con bobina alimentada en DC.

Referencias cruzadas

Consiste en distribuir cada uno de los planos en varias columnas y filas, facilitando la localización de los componentes incluidos en ellas. Además pueden aprovecharse las columnas para indicar la función que cumple cada rama del esquema.

Para indicar con precisión la posición de distintos elementos del esquema se utilizan dos métodos:

1) **Referencias cruzadas directas:** están asociadas a un electroimán, normalmente de un contactor o de un temporizador, siendo ubicadas debajo de este. Indican la posición de los contactos auxiliares asociados a este por el número de página o plano y columna/fila, siguiendo el esquema plano – columna – fila o plano – fila – columna.

Pueden expresarse en forma de tabla o de manera gráfica. En algunas ocasiones también pueden indicar la posición de los contactos de potencia del contactor.

En las siguientes figuras se indica un ejemplo de referencias cruzadas en formato tabla y en formato gráfico.

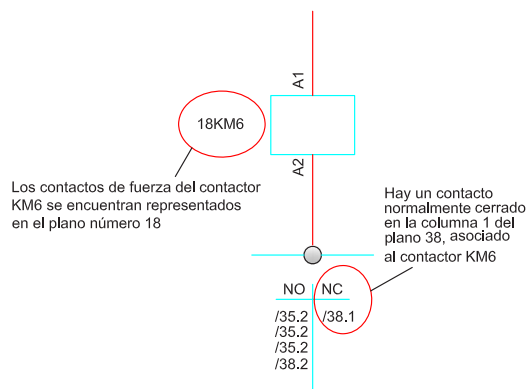


Figura A.72. Ejemplo de referencias cruzadas directas en formato tabla, por plano y columna-

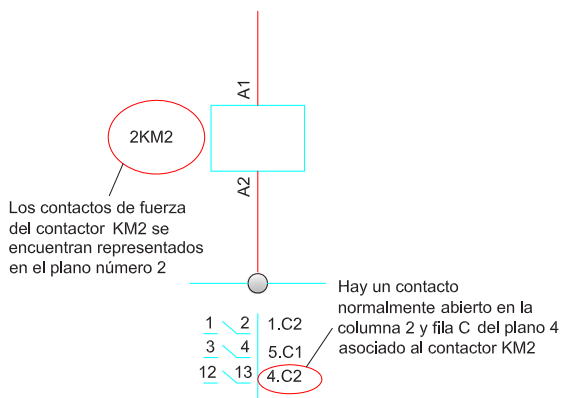


Figura A.73. Ejemplo de referencias cruzadas directas en formato gráfico, por plano, columna y fila.

- 2) **Referencias cruzadas inversas:** permiten la localización del componente, normalmente un electroimán, que hace accionar a un determinado contacto, y en consecuencia, a su tabla de referencias cruzadas directas.

Su interpretación y representación es similar a la de las referencias cruzadas directas, pero en este caso el código se ubica junto al propio contacto

En la figura A.74 se indica un ejemplo de referencias cruzadas inversas.



Figura A.74. Ejemplo de referencias cruzadas inversas.

Parámetros característicos de un contactor

En la figura 4.75 se indican los parámetros típicos de un contactor de potencia



SABÍAS QUE

Los contactores se dividen en dos grupos, que dependen básicamente de si los receptores que van a ser controlados a través del dispositivo son alimentados en corriente alterna o en corriente continua. Dentro de cada grupo, y en función del tipo de carga recomendada, existe una clasificación más específica que subdivide los contactores en categorías de empleo.

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

Nota: En los Anexos de este libro que figurae en la web de Paraninfo puedes ver las categorías de los contactores en corriente alterna y en corriente continua.

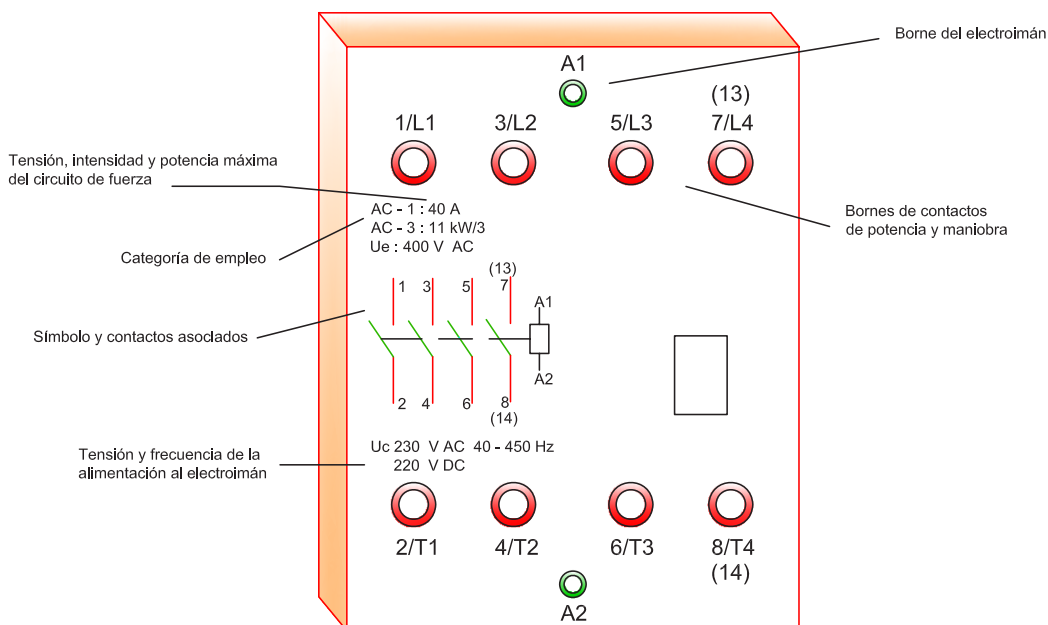


Figura A.75. Parámetros típicos de un contactor.

7.1.8. Criterios de elección de un dispositivo de protección

En la tabla A.26 se indica, de forma resumida, un resumen de las características de la principal aparamenta de BT

Tabla A.26. Características de la principal aparamenta de BT

Aparato	Protección contra sobrecargas	Protección contra cortocircuitos	Aislamiento	Protección diferencial
Interruptor automático	si	si	no	no
Seccionador	no	no	si	no
Interruptor diferencial	no	no	si (resulta adecuada)	si
Fusible	si	si	si	no
Contactor	si (asociado a un relé térmico)	no	no	no
Interruptor diferencial + automático	si	si	si	si
Seccionador de corte en carga	no	no	si	no

7.2. Coordinación de protecciones. Selectividad

El diseño del sistema de protección de una instalación eléctrica, es fundamental, tanto para

garantizar un correcto desempeño económico y funcional de toda la instalación así como para minimizar los problemas causados por las condiciones anómalas de operación y de mal funcionamiento.

Las técnicas de coordinación en BT tienen por objeto optimizar la distribución eléctrica con tres acciones durante el diseño del plan de protección:

- 1) Limitación para reducir los esfuerzos
- 2) Selectividad para garantizar la continuidad de servicio.
- 3) Filiación para optimizar el rendimiento.

7.2.1 Limitación de corriente

La componente unidireccional de la corriente de cortocircuito provoca un incremento del valor de cresta de la primera semionda que depende del factor de potencia de cortocircuito.

Este valor de cresta, en ausencia de interrupción, produciría elevadas solicitaciones electro-mecánicas de los elementos de la instalación, siendo por ello importante que la corriente de cortocircuito sea interrumpida antes de que alcance su valor máximo.

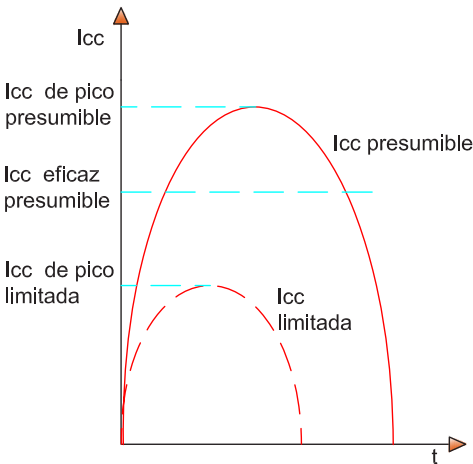


Figura A.76. Limitación de la corriente de cortocircuito presumible.

Un dispositivo de protección es limitador cuando por el tiempo particularmente breve de corte (interruptores automáticos) o por su funcionamiento dentro de una determinada zona de corrientes (cartuchos fusibles), limita la intensidad de corriente de cortocircuito a un valor sensiblemente inferior al valor de cresta de la corriente prevista, es decir, evita que la corriente de cortocircuito alcance su máxima amplitud.

La limitación de corriente puede conseguirse en un interruptor provocando la repulsión electromagnética entre los contactos o mediante un incremento de la tensión del arco de ruptura que produce el efecto como si intercaláramos una elevada resistencia en el circuito.

7.2.2 Selectividad

Es la coordinación de los dispositivos de corte automático para que un defecto, ocurrido en un punto cualquiera de la red, sea eliminado por el interruptor automático colocado inmediatamente aguas arriba del defecto, y sólo por él.

La selectividad mejora la continuidad de servicio y la seguridad de la instalación

La selectividad de las protecciones es un elemento esencial que debe tenerse en cuenta desde la concepción de una instalación de baja tensión, con el fin de garantizar a los usuarios la mejor disponibilidad de la energía.

La selectividad es importante en todas las instalaciones para el confort de los usuarios, pero es fundamental en las instalaciones que alimentan procesos industriales de fabricación.

Una instalación no selectiva está expuesta a riesgos de diversa gravedad:

- Imperativos de producción no respetados.
- Ruptura de fabricación con pérdida de producción o de productos acabados.
- Riesgo de dañar la herramienta de producción en los procesos continuos.
- Obligaciones de reanudación de procedimientos de arranque máquina – herramienta por

máquina – herramienta, como consecuencia de una pérdida de alimentación general.

- Parada de motores de seguridad tales como una bomba de lubricación, extractor de humos, entre otros.

Selectividad de interruptores automáticos

Como ya se indicó, existe selectividad cuando al aparecer un defecto en una zona, este defecto es eliminado (aislado) por el aparato de protección situado lo más próximo al defecto.

En caso de desconexión, la parte correcta del circuito, permanece en servicio.

La localización del defecto es facilitada por la situación del aparato que dispara.

En caso de una avería en «C» sólo actúa el interruptor automático «B», asegurando de este modo la continuidad de servicio del resto de la instalación alimentada a través del interruptor automático «A»

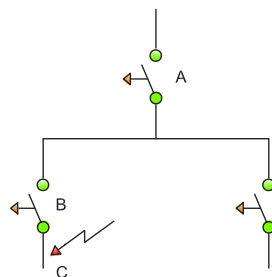


Figura A.77. Principio de la selectividad.

Grados de selectividad

a) Selectividad total

Cuando las condiciones descritas anteriormente se produzcan para todos los valores de corriente, la selectividad es total. Esto supone que se producirá el disparo únicamente del interruptor «B» para todos los valores de corriente menores o iguales que la corriente de cortocircuito máxima prevista en el punto de instalación del interruptor automático

«B». Las curvas A y B no tienen ningún punto en común.

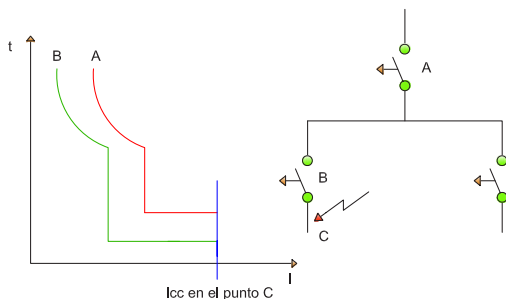


Figura A.78. Selectividad total.



SABÍAS QUE

En caso de asociación de dos interruptores automáticos, la selectividad es total cuando la energía de desconexión del interruptor automático situado aguas abajo es inferior a la energía de desconexión del interruptor automático situado aguas arriba.

b) Selectividad parcial

Por encima de determinados valores de corriente, si se produce un disparo simultáneo de más de un interruptor automático, la selectividad es parcial. La selectividad es parcial si el interruptor automático «B» se abre únicamente para valores de corriente de cortocircuito en «C» inferiores al valor de ajuste de disparo del interruptor automático «A» por encima del cual se produce el disparo simultáneo de «A» y «B».

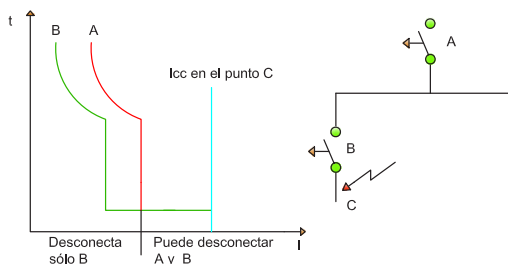


Figura A.79. Selectividad parcial.

Tipos de selectividad

1) Selectividad amperimétrica

Esta técnica se basa en el desfase en intensidad de las curvas de disparo de los interruptores automáticos situados antes y después. Se verifica comparando dichas curvas y comprobando que no se solapen. Se aplica a la zona de sobrecargas y a la de cortocircuitos y es tanto mejor cuanto más difieren entre sí los calibres de los aparatos.

- *En sobrecargas:* Para que haya selectividad en la zona de sobrecargas, el índice de las corrientes de ajuste (I_r) debe ser al menos igual a 2.
- *En cortocircuitos:* Para que haya selectividad en la zona de cortocircuitos, el índice de las corrientes de ajuste magnético (I_m) debe ser al menos igual a 1,5.

El límite de selectividad es pues igual a la corriente de disparo magnético I_{mA} del interruptor automático situado antes. Por tanto, la selectividad es total mientras I_{CCB} sea inferior a I_{mA} .

La selectividad amperimétrica se adapta bien a los circuitos terminales, donde los niveles de cortocircuito son relativamente bajos.

En los otros casos, la selectividad amperimétrica debe completarse a veces con una selectividad cronométrica.

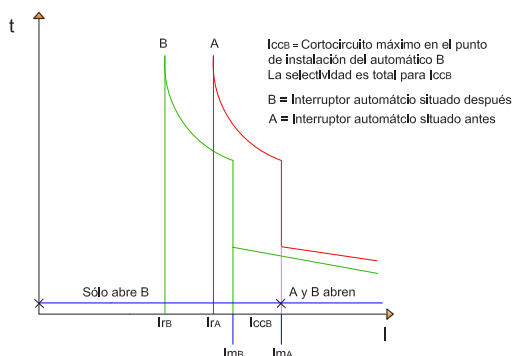


Figura A.80. Selectividad amperimétrica.

2) Selectividad cronométrica

Esta técnica se basa en el desfase de tiempo de las curvas de disparo de los interruptores automáticos en serie. Se comprueba comparando las curvas y se aplica a la selectividad en la zona de cortocircuitos.

Se efectúa empleando disparadores o relés equipados con dispositivos de retardo intencional.

Los retardos se seleccionan de tal manera que cuanto más ascendemos en el nivel jerárquico de la instalación, mayores son estos retardos con el fin de garantizar que se produce el disparo del interruptor automático inmediatamente aguas arriba del punto en que se produce la falta o defecto.

Se utiliza como complemento de la selectividad amperimétrica a fin de obtener una selectividad superior de ajuste magnético del interruptor automático situado antes.

En la figura se muestra cómo actúa el interruptor automático A con un retardo ajustado Δt respecto al interruptor automático B en el caso que ambos dispositivos se vean afectados por una corriente de falta con un valor superior a I_{mA} .

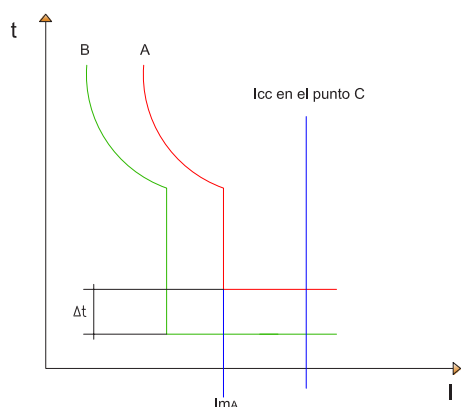


Figura A.81. Selectividad cronométrica.

3) Selectividad de zona (lógica)

Se efectúa entre dos aparatos que se comunican con una conexión específica.

En general, se efectúa mediante el diálogo entre los relés de protección, con lo cual, una vez detectada la superación del umbral establecido, permite identificar correctamente la zona de fallo y desconectar solamente la zona afectada por la falta.

Cuando el interruptor automático situado después detecta un fallo, envía una señal al aparato situado antes, el cual asumirá una determinada temporización (por ejemplo 50 ms).

Si el aparato situado después no ha podido eliminar el fallo en ese lapso de tiempo, intervendrá el aparato situado antes.

4) Selectividad energética

La coordinación energética es un tipo particular de selectividad que aprovecha las características de limitación de los interruptores automáticos en caja moldeada.

En general, debe verificarse que la energía específica pasante a la cual actúa el interruptor automático de aguas abajo sea inferior a la necesaria para completar la apertura del interruptor automático de aguas arriba.



SABÍAS QUE

Algunos interruptores automáticos de potencia con relé electrónico, permiten responder a la selectividad total gracias a 4 tipos de selectividad.

Ejemplo de utilización de las tablas de selectividad

- Si la selectividad entre dos interruptores es total, se indica con la letra «T».
- Cuando la selectividad es parcial se indica el valor máximo de la corriente de cortocircuito (I_s) para la que sólo se desconecta el dispositivo situado aguas abajo. En este caso, y para saber si se produce selectividad, basta comparar el valor que se obtiene de este modo con la intensidad de la corriente de cortocircuito

Aparatos aguas arriba		PF	TR 125	TR 250
Poder de corte		10 kA	25 kA	36 kA
In		100 A	125 A	250 A
Aparatos aguas abajo				
PF	JT			
10 A	10 A	0,75	4,5	T
16 A	16 A	0,75	4,5	T
20 A	20 A	0,75	4,5	T
25 A	25 A	0,75	3,3	T
32 A	32 A	0,75	2,7	T
	40 A	0,75	2,7	T
	50 A	0,75	1,5	T
	63 A	0,75	1,5	T

¿Qué selectividad existe entre un interruptor de 100 A de la serie PF situado aguas arriba y uno situado aguas abajo de 20 A de la serie JT?

Tabla A.27. Selectividad entre interruptores automáticos

prevista y esto en el lugar en que está situado el dispositivo aguas abajo implicado.

- Los espacios en blanco indican que no hay ninguna selectividad.

La selectividad es total entre el interruptor automático 32 A de la serie JT y el TR 250.

Selectividad de interruptores diferenciales

El objeto general de la selectividad diferencial es coordinar las protecciones diferenciales de tal manera que, en caso de defecto en un punto de la instalación, tan sólo dispare la protección diferencial más cercana a dicho defecto, y no lo haga cualquier otro dispositivo diferencial situado en otro punto de la instalación.

Una buena protección de la instalación debe proporcionar:

- Un interruptor diferencial principal para disponer de protección frente a defectos que pueden producirse entre el interruptor automático principal y la distribución.
- Protección individual de cada derivación con un dispositivo diferencial.

En general puede ser selectividad vertical y selectividad horizontal

Selectividad vertical

En una instalación con diferenciales en serie debemos tener en cuenta:

La característica tiempo/intensidad del diferencial situado aguas arriba debe quedar por arriba de la característica del diferencial situado aguas abajo.

El interruptor diferencial situado en la parte superior de la instalación debe ser del tipo S.

La corriente de defecto de actuación del diferencial situado aguas abajo debe ser inferior a la del diferencial situado agua arriba

$$\text{Sensibilidad de A} = 3 \text{ Sensibilidad de B}$$

$$Tr(A) > Tr(B) + Tc(B)$$

¿Si el diferencial situado aguas arriba es de 300 mA, cuál será la sensibilidad del diferencial instalado aguas abajo?

Tr = Tiempo de no funcionamiento = Retardo a la desconexión.

Tc = Tiempo de apertura.

Ejemplos

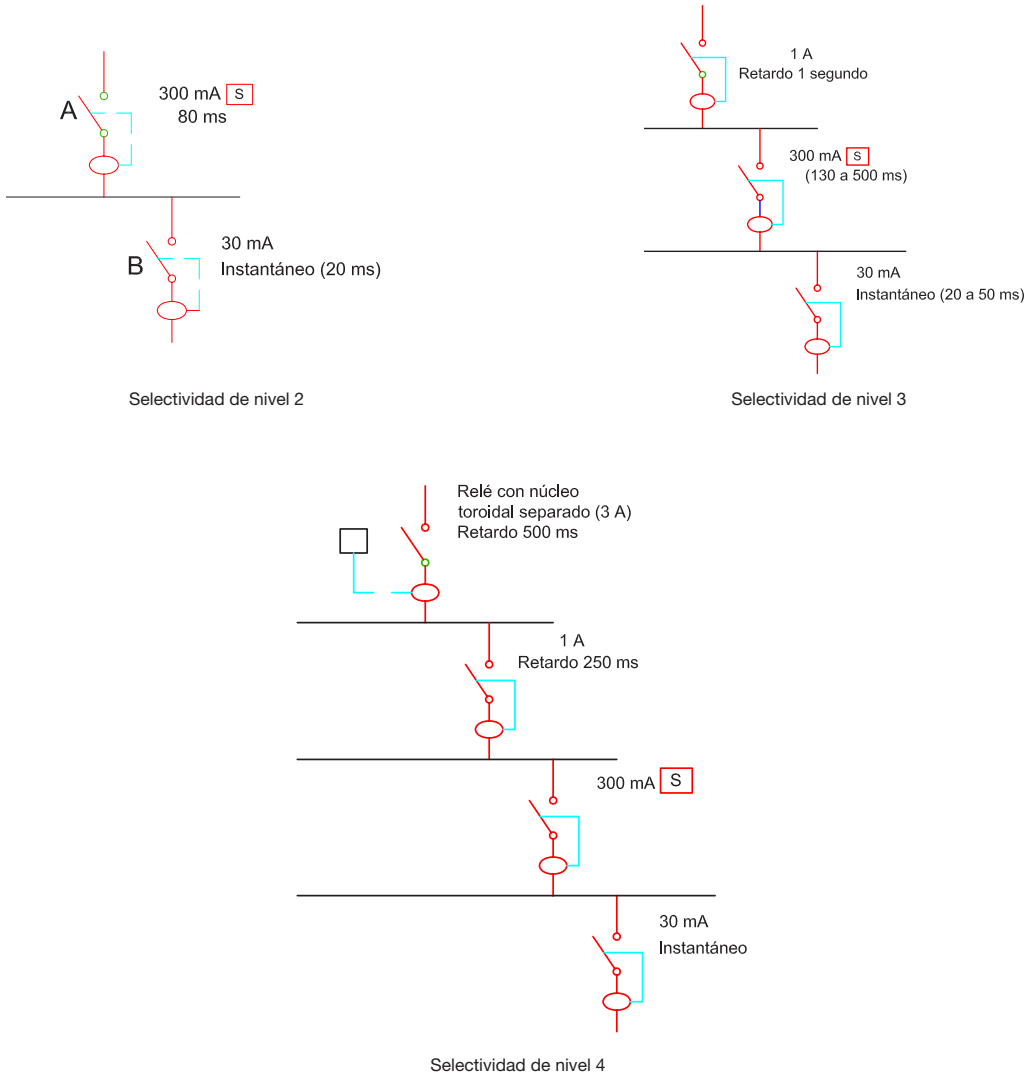


Figura A.82. Selectividad a distintos niveles.

Selectividad horizontal

La selectividad horizontal pretende garantizar que únicamente dispare el diferencial que se ve sometido al defecto o fuga, sin perturbar el comportamiento de los demás diferenciales que estén en paralelo con éste.

Para disponer de selectividad horizontal en una instalación con interruptores diferenciales debe evitarse el uso de interruptores diferenciales en cascada.

Ejemplo

La apertura del diferencial Db, situado sobre el circuito de alimentación de un receptor (R) que pueda generar una sobretensión como por ejemplo en un equipo de soldadura, provoca una sobretensión sobre la red.

Esta sobretensión implica sobre la salida A, protegida por Da, la aparición de una corriente capacitiva a tierra. Una posible solución es que el diferencial Db sea instantáneo y el diferencial Da sea temporizado

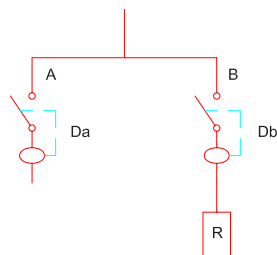


Figura A.83. Selectividad horizontal diferencial.

Tabla A.28. Selectividad entre interruptores diferenciales

Sensibilidad (mA) del diferencial aguas arriba	10 (I)	30 (I)	100 (I)	300 (I)	300 (S)	500 (I)	500 (S)	1000 (I)	1000 (S)
Sensibilidad (mA) del diferencial aguas abajo									
10 (I)		Sa	Sa	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc
30 (I)			Sa	Sa	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc
100 (I)				Sa	Sc	Sa	Sc	Sa	Sc
300 (I)								Sa	Sc
300 (S)								Sa	Sa
500 (I)									
500 (S)									
1000 (I)									
1000 (S)									

I = Instantáneo
S = Selectivo
Sa = Selectividad amperimétrica (parcial)
Sc = Selectividad cronométrica (total)

7.2.3. Filiación

También conocida como protección de acompañamiento, protección serie, protección «back up» o coordinación.

Es la utilización del poder de limitación de los interruptores automáticos, que permite instalar aguas abajo automáticos de menos prestaciones.

El poder de corte de un dispositivo de protección debe ser al menos igual al cortocircuito máximo susceptible de producirse en el lugar en que dicho dispositivo está instalado.

Se admite que el poder de corte sea inferior al cortocircuito máximo presumible, con las siguientes condiciones:

- Que esté asociado a un aparato instalado antes que él con el poder de corte necesario en su propio punto de instalación.
- Que la energía limitada por la asociación de los aparatos pueda ser soportada por el aparato situado a continuación en la instalación, así como por las canalizaciones protegidas.

El interruptor limitador «ayuda» al interruptor situado aguas abajo limitando fuertes corrientes de cortocircuito.

Las normas de instalación imponen que el aparato situado aguas arriba tenga un poder de corte Icu superior o igual a la corriente de cortocircuito asumida en ese punto de la instalación.

Para los interruptores situados aguas abajo, el poder de corte Icu a considerar es el poder de corte reforzado por la coordinación.

Los fabricantes dan y garantizan directamente la Icu reforzada por la asociación formada por los interruptores

Para un cortocircuito superior al poder de corte del dispositivo de protección «C», desconectarán los dos dispositivos de protección «A» y «C» con lo cual la selectividad se considera parcial

La filiación permite:

- Ahorrar en las instalaciones
- Simplificar la elección de las protecciones, con la utilización de interruptores de comportamiento estándar

Puede ser extendida a varios dispositivos consecutivos del mismo o de diferentes cuadros de protección.

La aplicación de esta técnica de filiación comporta la pérdida de la selectividad vertical.

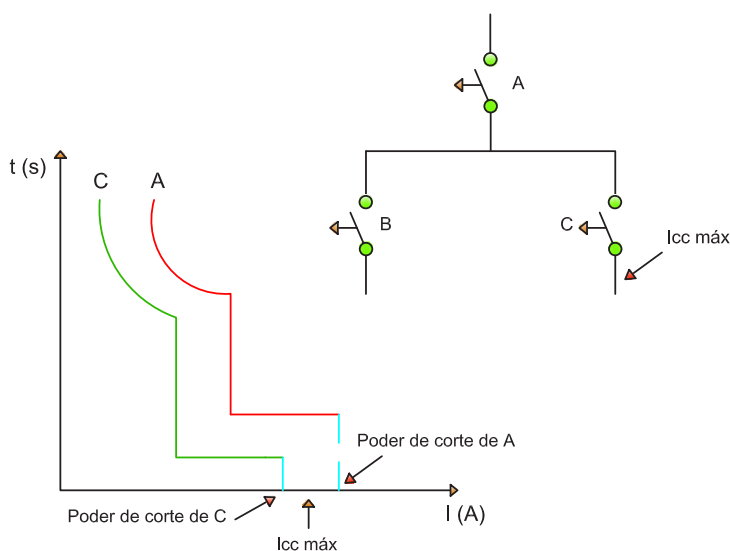


Figura A.84. Principio de la filiación.

Utilizando la técnica de selectividad reforzada por filiación, que se indica más adelante, podemos conseguir una selectividad total de las prestaciones.

a) *Aplicación:*

Se emplea en instalaciones eléctricas en las que la continuidad de servicio de la parte no afectada por la falta no tenga una importancia vital.

Sin embargo pueden existir otros requisitos de prioridad tales como limitar las dimensiones totales del equipo eléctrico, la necesidad de mantener las instalaciones existentes

como están, aun cuando ya no sean idóneas para las nuevas corrientes de falta o la necesidad económica de la instalación eléctrica o, también, en aquellos casos en que la parada de una máquina requiera la parada simultánea de otros componentes del proceso de producción.

b) *Tabla característica de filiación*

La filiación puede ser controlada únicamente mediante tests de laboratorio y las combinaciones posibles sólo pueden ser precisadas por el fabricante de los interruptores automáticos.

Ejemplo

Asociación: Interruptor automático (aguas arriba) e interruptor automático (aguas abajo)

Tensión: 230/240 v

Icc máx. en kA

Tabla A.29. Asociación de interruptores

Aguas abajo			Aguas arriba					
CP60	Serie		EP60	EP100	EP250	EP250	EP250	Hti
	Icu (kA)		20 kA	30 kA	50 kA	40 kA	30 kA	16 kA
	In (A)		0,5 ... 63	0,5 ... 63	< 25	32 ... 40	50 ... 63	80 ... 125
	6	2 ... 32	20	30	50	40	30	16
DP60	10	6 ... 40	--	30	50	40	30	--
DP100	15	6 ... 40	--	--	50	40	30	--
EP60	20	0,5 ... 63	--	30	50	40	30	--
EP100	30	0,5 ... 63	--	--	50	40	30	--



SABÍAS QUE

La selectividad y la filiación solo pueden ser garantizadas por el fabricante del equipo.

Anexo 8. Causas y soluciones de las perturbaciones eléctricas

Tabla A.30. Causas y soluciones de las perturbaciones eléctricas

Causas y soluciones de los principales tipos de perturbaciones eléctricas			
Perturbación	Causas	Equipos sensibles	Soluciones
Hueco de tensión	• Son debidos a incrementos bruscos de corriente, ocasionados fundamentalmente por cortocircuitos en la red eléctrica, a cualquier nivel de tensión, y por arranque de grandes cargas. Este incremento de corriente, provoca una caída de tensión, que desaparece bien al actuar algún mecanismo de protección, o bien al llegar la carga al régimen permanente: • Cortocircuitos en CT • Averías en trafos de medida o de potencia. • Actuación defectuosa de pararrayos. • Fallos de aislamiento • Situaciones meteorológicas adversas, incidentes por obras, incendios, animales, actos vandálicos y otros.	• Dispositivos electrónicos de potencia. • Circuitos electrónicos de control. • Circuitos de medida eléctricos o electrónicos. • Protecciones (actuación errónea). • Circuitos de mando y control, que contengan relés o contactores. • Sensores (señalización errónea). • Lámparas de descarga. • Equipamiento informático.	• Arrancadores suaves • Arranque escalonado de cargas importantes. • La alimentación eléctrica, a los circuitos de control y a los circuitos de potencia, ha de ser independiente. • Alimentación de los circuitos de control con fuentes de muy alta calidad, tales como: • Alimentación en corriente continua con condensadores o baterías. • Alimentación en corriente alterna a través de sistemas de alimentación ininterrumpida (rectificador, baterías e inversor). • Alimentación en corriente alterna a través de un grupo motor eléctrico-generador con volante de inercia. • Alimentar contactores y relés, de los circuitos de mando que sean afectados, en corriente continua con condensador de almacenaje. • Temporizar contactores y relés cuya velocidad de respuesta no sea crítica en los procesos.

Causas y soluciones de los principales tipos de perturbaciones eléctricas			
Perturbación	Causas	Equipos sensibles	Soluciones
Corte de tensión (interrupción)	- Los cortes, si no son programados, se producen en la mayoría de las ocasiones por la actuación de elementos de protección debido a cortocircuitos, de forma que queda sin alimentación una parte de la red eléctrica. Están íntimamente relacionados con los huecos de tensión, en cuanto a que un cortocircuito en una línea, supone un hueco de tensión en todas las líneas conectadas a barras del mismo transformador. - La actuación incorrecta o demasiado sensible de protecciones. - La conmutación entre fuentes de energía internas y externas.	- Los equipos sensibles a huecos de tensión lo son, en general, a los cortes breves. - Cuando el corte es debido a la actuación del interruptor automático de la línea de MT, en la subestación de la compañía eléctrica, el tiempo de duración del mismo viene impuesto por la secuencia de desconexión-reenganche de las protecciones.	Son de aplicación todas las recomendaciones indicadas, en su correspondiente apartado, para huecos de tensión.
Sobretensión	- Mala regulación de tensión en la red de distribución de MT. - La selección incorrecta de la toma de regulación de los transformadores de MT/BT. - La utilización de transformadores MT/BT sin posibilidad de regulación. - Excesiva caída de tensión en la red de BT que obligue a mantener una tensión elevada en el cuadro general. - Cambio a una alimentación de seguridad (por ejemplo a un grupo electrógeno), teniendo en cuenta que además, durante la conmutación, puede producirse un corte o hueco de tensión. - En el caso de una generación propia (autogeneradores), en paralelo con la red, se produce en general, una sobretensión cuando el generador se desconecta de la red y se queda en isla, con la carga propia del cliente.	- Los dispositivos electrónicos de potencia. - Fuentes de alimentación de los circuitos de control, autómatas programables, ordenadores y equipos similares. - Los transformadores, máquinas giratorias, contactores y relés, alimentados directamente desde la red, sufren calentamientos anormales que ocasionan una reducción de su vida útil.	- Utilizar transformadores, en los centros de transformación de cliente, con tomas de regulación apropiadas. Elegir la toma que proporcione la tensión de salida adecuada. - En caso de que fuese posible (CT de cliente con varios transformadores), alimentar con distinto transformador, los equipos receptores sensibles con márgenes de tensión más estrictos, de manera que estén separados de otros equipos que puedan producir en su funcionamiento sobretensiones. - No interrumpir el conductor neutro, bajo ninguna circunstancia, en sistemas que alimenten circuitos monofásicos.

(continúa)

Causas y soluciones de los principales tipos de perturbaciones eléctricas			
Perturbación	Causas	Equipos sensibles	Soluciones
	En el caso de tener instalados equipos de regulación automática de tensión, pueden producirse sobretensiones debido a la desconexión de grandes cargas, durante el tiempo de respuesta de los citados equipos.		- Instalación de autotransformadores o transformadores, con regulación automática de la tensión de salida. - Instalación de relés de máxima tensión que desconecten, en caso necesario, los equipos de la red. - Alimentación de los equipos especialmente sensibles con las fuentes de alta calidad referidas en el caso de huecos de tensión.
Subtensión	- Son análogas a las expuestas en el caso de sobretensiones, tanto en lo relativo a la relación de transformación de los transformadores MT/BT, como en los transitorios de funcionamiento de elementos de generación propios (autogeneradores). - La subtensión será mayor si los conductores de alimentación a distintos sectores de fábrica presentan caídas de tensión importantes.	- Los transformadores y máquinas giratorias en general, sufren calentamientos anormales debido al incremento de corriente que aparece, asociado a una subtensión, cuando se alimentan cargas que consumen potencia o par constante. Este efecto puede agravarse en presencia de líneas de alimentación insuficientemente dimensionadas. - Las lámparas de descarga reducen su flujo luminoso y pueden apagarse o modificar su reproducción cromática.	- Utilizar transformadores en los centros de transformación de cliente con tomas de regulación apropiadas. Elegir la toma que proporcione la tensión de salida adecuada. - En caso de que fuese posible (CT de cliente con varios transformadores), alimentar con distinto transformador, los equipos receptores sensibles con márgenes de tensión más estrictos, de manera que estén separados de otros equipos que puedan producir en su funcionamiento subten-siones. - Diseño y ejecución correcta de las líneas de distribución interiores evitando caídas de tensión elevadas. Es preciso considerar en este diseño la presencia, en múltiples cargas, de puntas de corriente, especialmente en el momento de arranque, que pueden aumentar notablemente las caídas de tensión. - No sobrecargar las líneas conectando más potencia de la prevista inicialmente.

Causas y soluciones de los principales tipos de perturbaciones eléctricas			
Perturbación	Causas	Equipos sensibles	Soluciones
			• No interrumpir el conductor neutro bajo ninguna circunstancia en sistemas que alimenten circuitos monofásicos. • Instalación de autotransformadores o transformadores, con regulación automática de la tensión de salida. • Instalación de relés de mínima tensión que desconecten, en caso necesario, los equipos de la red. • Alimentación de los equipos especialmente sensibles con las fuentes de alta calidad referidas en el caso de huecos de tensión.
Fluctuaciones de tensión (parpadeo – Flicker)	Se deben al funcionamiento de receptores que presentan una variación de la carga, relativamente rápida, en su funcionamiento. Estas variaciones de la carga se traducen en una distinta caída de tensión en la red en cada caso, y por tanto, en una fluctuación de la tensión. Entre los equipos más perturbadores cabe destacar: • Hornos de arco. • Instalaciones de soldadura por arco. • Máquinas de soldadura por resistencia. • Grandes motores con variación rápida de cargas importantes, tales como molinos de trituración. • Grandes cargas con elevada frecuencia de conexión y desconexión.	• Lámparas incandescentes y de descarga que parpadean provocando sensación molesta a los usuarios.	• Diseño correcto de la maquinaria reduciendo al máximo las puntas transitorias de corriente. En algún caso esto puede conseguirse mediante la inserción de reactancias en serie; en otros mediante sistemas de acumulación energética. • Alimentación eléctrica independiente de la maquinaria que requiera corrientes transitorias importantes. • Evitar la coincidencia de las puntas de corriente consumidas por las cargas. • Utilización de compensadores estáticos que, mediante interruptores electrónicos y reactancias, permiten compensar las fuertes oscilaciones de corriente en las cargas. • Alimentar las cargas, especialmente sensibles, mediante fuentes de alimentación independiente de muy alta calidad. • Sustitución de las lámparas existentes por otras que sean menos sensibles.

(continúa)

Causas y soluciones de los principales tipos de perturbaciones eléctricas			
Perturbación	Causas	Equipos sensibles	Soluciones
Impulso (sobretensión transitoria)	• Maniobras de conexiones y desconexiones de elementos o partes de la instalación. • Conmutación de los escalones de la batería de condensadores para la compensación del factor de potencia. • Conmutación de los semiconductores, en equipos como rectificadores controlados, variadores de frecuencia y convertidores en general. • Por caídas de rayos en zona cercana o en el pararrayos de la instalación.	• Los transformadores y conductores aislados soportan impulsos importantes sin repercusión directa, sin embargo, la aparición con cierta frecuencia de estas perturbaciones repercute negativamente en la vida de estos elementos. • Los equipos de electrónica de potencia pueden destruirse por la superación de la tensión máxima que pueden soportar. • Las fuentes de alimentación a los equipos de control y ordenadores pueden permitir el paso de los impulsos a los circuitos lógicos originando alteraciones en los programas de funcionamiento de los procesos. • Las tarjetas de comunicación entre elementos de control son muy sensibles a la aparición de impulsos, sobre todo si las tierras de referencia que utilizan son distintas.	• Instalación de pararrayos de calidad, conectados a una toma de tierra de valor óhmico reducido. Esta tierra, estará unida a la puesta a tierra de herrajes del CT del cliente, y separada una distancia mínima de 50 m. de la puesta a tierra del neutro de BT del transformador de potencia. Para que esta protección se mantenga efectiva es preciso realizar el debido mantenimiento. • Diseño adecuado de la protección frente a sobretensiones, instalando supresores de sobretensiones de forma escalonada. • Disposición de filtros y redes RC, en la alimentación a circuitos electrónicos. • Alimentación de las cargas críticas mediante transformadores de aislamiento apropiados. • Utilización de las fuentes de muy alta calidad referenciadas en el caso de huecos de tensión. • Transmisión de datos y comunicación entre centros de control y maquinaria por fibra óptica. En caso contrario, conexión equipotencial entre las tomas de tierra y apantallamiento de conductores de los circuitos de control, junto con conducciones separadas para los circuitos de potencia y los de control

Causas y soluciones de los principales tipos de perturbaciones eléctricas

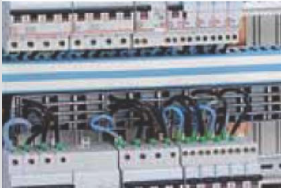
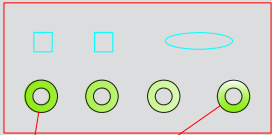
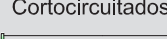
Perturbación	Causas	Equipos sensibles	Soluciones
Armónicos	- Se deben fundamentalmente a la conexión de equipos cuya característica tensión-corriente no es lineal. Al consumir una corriente no senoidal, las caídas de tensión tampoco son senoidales y pueden originar armónicos en la tensión de suministro. Los equipos más perturbadores son: - Equipos electrónicos: rectificadores, controlados o no, fuentes de alimentación de diversos tipos, variadores electrónicos de velocidad, reguladores electrónicos de carga, balastos electrónicos, etcétera - Equipos de arco eléctrico: lámparas de descarga, hornos de arco, etcétera. - Equipos ferromagnéticos: aque-llos con corriente de magnetización claramente no lineal. - Los armónicos de corriente introducidos en la red de distribución, por otro cliente, pueden ocasionar armónicos de tensión en la alimentación de la propia fábrica. - El efecto de los armónicos se puede incrementar, de forma importante, si se producen resonancias, entre la batería de condensadores de corrección del factor de potencia, y las inductancias de la red interior y el transformador.	- Las baterías de condensadores consumen corrientes mayores en presencia de armónicos de tensión que pueden provocar la actuación de sus protecciones. - Pueden aparecer fenómenos de resonancia local entre la reactancia de dispersión de los transformadores u otra maquinaria y la capacidad de las baterías de condensadores originando sobretensiones peligrosas. - Fallos en circuitos de control que utilicen la forma senoidal de la tensión de red como referencia. - Tensión de salida menor en algunos tipos de fuentes de alimentación. - Interferencias en comunicaciones telefónicas. - Efectos de calentamiento y envejecimiento prematuro de maquinaria (motores, transformadores, condensadores, etcétera.) e instalaciones. - Circulación de corriente importante por el conductor neutro, incluso en sistemas trifásicos equilibrados. - Actuación de las protecciones frente a sobreintensidad, principalmente de neutro, de forma aparentemente injustificada.	- Sobredimensionar condensadores (en tensión y potencia). - Sobredimensionar transformadores de potencia. - Sobredimensionar conductores. La sección del conductor neutro debe ser igual o mayor a la sección de las fases. - Alimentar separadamente las cargas generadoras de corrientes armónicas del resto de la instalación. - Estudiar cuidadosamente la posibilidad de resonancia entre baterías de condensadores y reactancias de transformador de potencia y red. - Inserción de filtros antiarmónicos. - Transformador con un devanado en triángulo, para evitar los armónicos homopolares.

(continúa)

Causas y soluciones de los principales tipos de perturbaciones eléctricas			
Perturbación	Causas	Equipos sensibles	Soluciones
Desequilibrio de tensión	Se deben fundamentalmente a la conexión de cargas monofásicas, si estas no se distribuyen convenientemente entre las fases, especialmente cuando son de potencia elevada, como es el caso de los hornos de inducción monofásicos.	- El principal efecto es el calentamiento de los devanados de las máquinas eléctricas, que al estar alimentadas por una tensión desequilibrada, se ocasionan mayores pérdidas. - También pueden producir efectos indeseados en equipos de electrónica de potencia, por ejemplo un rizado en la tensión continua de salida de un rectificador polifásico. - Si la distribución es trifásica a cuatro hilos, las corrientes de neutro pueden aumentar significativamente.	- Reparto adecuado entre las tres fases de las cargas monofásicas. - Compensación del desequilibrio mediante la instalación de componentes inductivos y capacitivos de la manera adecuada. - Alimentación separada de las cargas especialmente problemáticas.
Variación de frecuencia	- Están directamente relacionadas con la utilización de generadores independientes de la red de suministro eléctrico: autogeneradores y cogeneradores en isla, autogeneradores internos y grupos electrógenos. - Se deben a fallos en la regulación de la frecuencia o a variaciones bruscas de la carga, durante el tiempo de respuesta a la nueva situación de consumo.	- Modificación de la velocidad de las máquinas rotativas. - Errores en los equipos que utilizan la frecuencia de la red como base de tiempos. - Posible desintonización de los filtros de armónicos.	Utilización de un sistema de regulación adecuado, acompañado, si es necesario, de la apropiada secuencia de conexión y desconexión de cargas.

Anexo 9. Verificaciones y ensayos en instalaciones eléctricas según el REBT

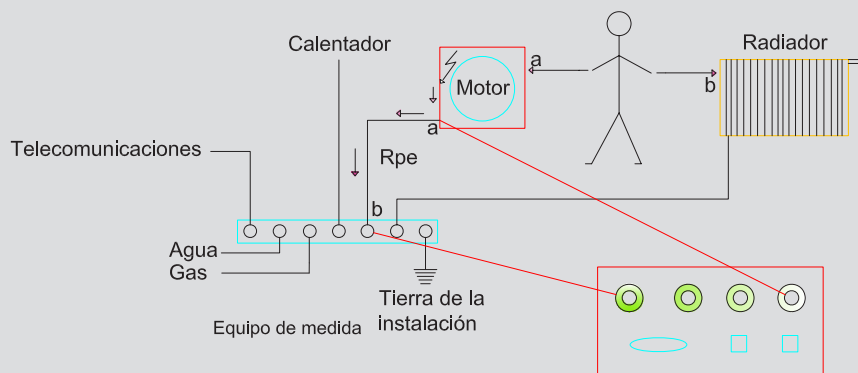
En este apartado se indican las principales verificaciones y ensayos que se deben realizar en las instalaciones eléctricas de BT, según se indica en la norma UNE 20460-6-61 y en el REBT

MEDIDA DE CONTINUIDAD DESDE UNA TOMA DE CORRIENTE	
Cuadro eléctrico  Equipo de medida  Cortocircuitados  Conductor de protección  Enchufe 	
Finalidad	Comprobar que no existen desperfectos o cortes en el cableado durante la instalación del mismo.
Condición	Los circuitos a ensayar deben estar libres de tensión.
Equipo	Fuente interna del equipo de medida de 4 a 24 V en vacío en CC o CA y con una intensidad mínima de ensayo de 200 mA.
Procedimiento	La medida se puede realizar desde el cuadro eléctrico (cortocircuitando en la toma de corriente) o desde la toma de corriente (cortocircuitando en el cuadro eléctrico).
Valores óptimos	La discontinuidad supone valores de resistencia elevados (superiores a 1 MΩ). Son extraños valores superiores a 2 Ω o 3 Ω. Lo ideal es calcular la resistencia del conductor ($R = \rho \cdot L/S$) y luego comprobar con la medida.
Recomendaciones	Al tratarse de valores muy pequeños de resistencia (< 1 Ω), es conveniente que el instrumento de medida sea capaz de compensar la resistencia de la puntas de prueba, que normalmente es de 0,2 Ω. Además, cuando se utilice en quirófanos y salas de intervención, el equipo de medida debe disponer de al menos una resolución de 0,1 Ω.

MEDIDA DE CONTINUIDAD EN UNA RED EQUIPOTENCIAL

En caso de que la protección equipotencial principal no sea suficiente para evitar la aparición de tensiones peligrosas de defecto, es necesario aplicar protección equipotencial suplementaria.

Si V_{ab} no es la adecuada y la distancia entre el motor y el radiador es pequeña, en este caso existe peligro. Se debe poner una conexión equipotencial suplementaria



$$R_{pe} \leq U / I_a$$

R_{pe} = Resistencia del conductor medida

U = Tensión de contacto (normalmente de 50 V)

I_a = Corriente que garantiza la actuación de la protección:

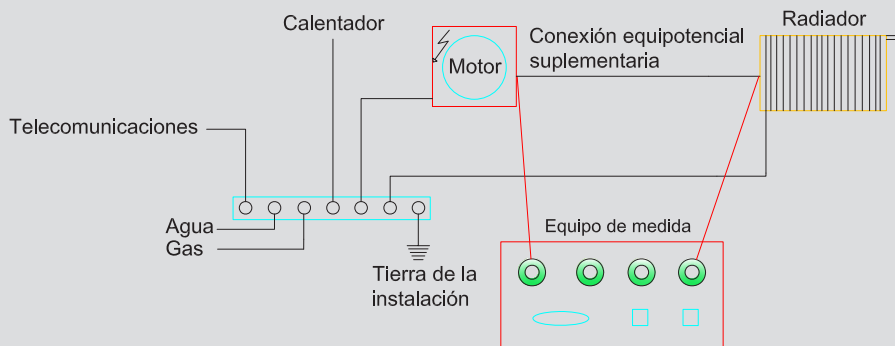
Para interruptores diferenciales $I_a = I_{\Delta N}$

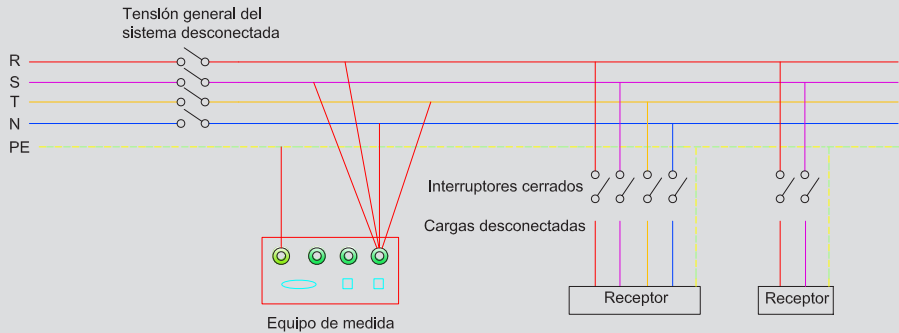
Para interruptores magnetotérmicos $I_a = I_n$

La carcasa del motor es una parte conductora accesible activa.

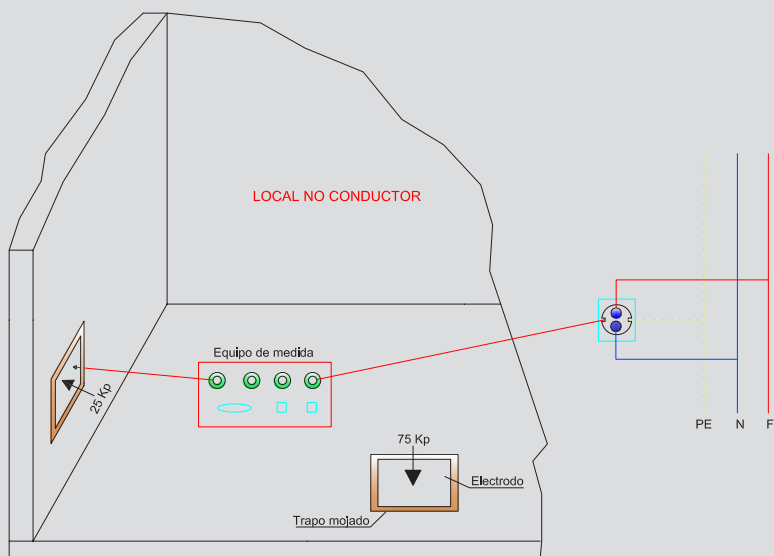
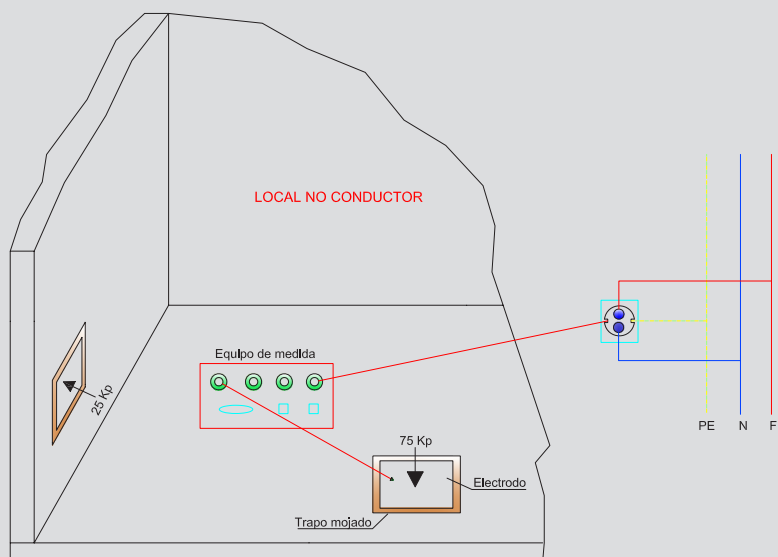
El radiador es una parte conductora accesible pasiva.

Una vez realizada la conexión equipotencial suplementaria se debe medir su valor y confirmar que también cumple la ecuación anterior.



MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ENTRE CONDUCTORES	
	
Finalidad	La medida de resistencia de aislamiento es esencial para asegurar la integridad de los conductores y sus aislantes, y posibles choques eléctricos por contacto directo con los conductores. La verificación de una correcta instalación ayuda a excluir la posibilidad de un cortocircuito o de una derivación a tierra que representa un peligro (por descarga eléctrica), o para la propia instalación (incendio de origen eléctrico).
Condición	Los circuitos a ensayar deben estar libres de tensión.
Equipo	Debe proporcionar una tensión de hasta 1.000 V en CC y una corriente de 1 mA.
Procedimiento	La medida se debe realizar entre todos los conductores activos (unidos entre sí) y el conductor de protección y entre los conductores activos: • Cada fase R, S y T con el conductor neutro. • Cada fase R, S y T con el conductor de protección. • La fase R con la S y la T. • La fase S con la fase T. • El conductor neutro con el de protección.
Valores óptimos	Para instalaciones de 230/400 V, la tensión de prueba será de 500 V CC y un valor mínimo de aislamiento de 0,5 MΩ.
Recomendaciones	Debido a que en la medida los conductores se cargan (efecto condensador), por tanto existe posibilidad de descarga eléctrica en caso de contacto. Por tanto, es fundamental que el equipo de medida disponga de una función de descarga automática del circuito al acabar la prueba. Los mejores resultados se consiguen cuando: • La instalación se pone fuera de servicio y se desconecta de todos los elementos de su entorno (condensadores, protecciones, entre otros), que pueden provocar fugas de la corriente de prueba y, por tanto, falsear la prueba. • La temperatura del conductor está por encima del punto de rocío del aire ambiente. De lo contrario se forma una capa de humedad sobre la superficie aislante, que puede ser absorbida por el material. • La superficie del conductor debe estar limpia de carbonilla y otras sustancias que puedan ser conductoras en ambiente húmedo. • Cuando se verifican sistemas MBTP (muy baja tensión de protección), MBTS (muy baja tensión de seguridad) e ICT (infraestructuras comunes de telecomunicaciones), una tensión excesiva puede dañar el aislamiento. • El sistema a verificar se debe descargar por completo antes y después de la prueba conectándolo a tierra. • Se recomienda realizar las pruebas con el conductor a una temperatura de 20 °C.

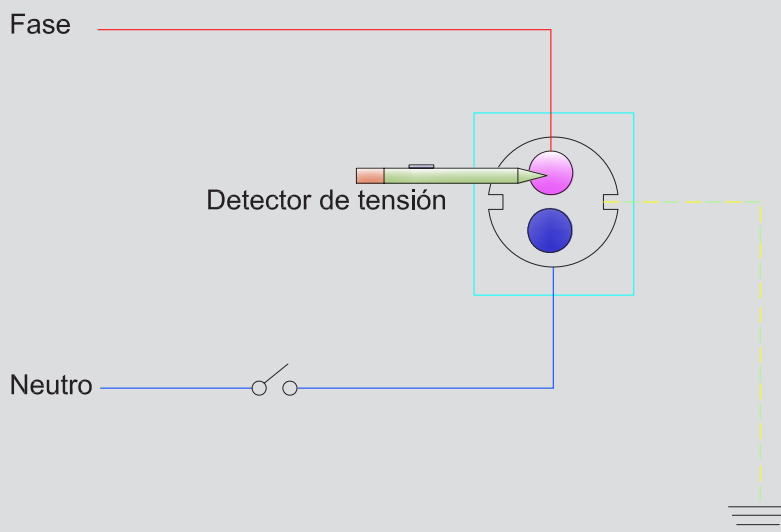
MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE SUELOS Y PAREDES EN LOCALES O EMPLAZAMIENTOS NO CONDUCTORES



MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE SUELOS Y PAREDES EN LOCALES O EMPLAZAMIENTOS NO CONDUCTORES

Finalidad	Cuando las partes conductoras accesibles activas de las cargas con aislamiento básico, debido a, por ejemplo, procedimientos de medida en un laboratorio, hospitales, salas de intervención, entre otros, no pueden ser conectadas al conductor de protección (PE), el local o emplazamiento con suelos y paredes no conductoras pueden usarse como medida de seguridad.
Condición	Locales o emplazamientos no conductores. La disposición de los equipos (cargas) debe hacerse de modo que: • No sea posible tocar de forma simultánea dos partes conductoras accesibles activas con diferentes potenciales, en caso de un defecto básico de aislamiento. • No sea posible tocar de forma simultánea cualquier combinación de partes conductoras accesibles activas y pasivas. El conductor de protección (PE), el cual puede generar tensiones de defecto peligrosas hasta el potencial del suelo, no está permitido en habitaciones no conductoras. Las paredes y suelos no conductores protegen al operario en caso de defecto básico de aislamiento.
Equipo	Se utilizan electrodos de tipo chapa metálica de 250 mm x 250 mm aplicando una fuerza de 75 o 25 Kp. Otro tipo de electrodo es el constituido por un triángulo metálico equilátero de 5 mm de grosor. El equipo de medida de resistencia de aislamiento debe ser capaz de suministrar una tensión en vacío de unos 500 V en CC (1.000 V, si la tensión nominal de la instalación es superior a 500 V).
Procedimiento	La medida se efectuará entre el electrodo de medida y un conductor de protección de tierra de la instalación. El conductor de protección (PE) debe ser accesible fuera de la habitación no conductora. Según el REBT se puede utilizar otro procedimiento de medida que consiste en medir la tensión por medio de un voltímetro, multímetro o similar de resistencia interna no inferior a 3.000 Ω. La tensión se mide entre el conductor de fase y la placa metálica y entre este mismo conductor y una toma de tierra de la instalación. El valor de la resistencia del suelo o pared viene dada por la siguiente fórmula: $R_s = R_i \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$ R_s = Resistencia del suelo (de la vivienda o local). R_i = Resistencia interna del voltímetro. U_1 = Tensión entre el conductor de fase y la toma de tierra. U_2 = Tensión entre el conductor de fase y la placa metálica. Deben efectuarse al menos tres medidas, de las cuales al menos una se hará a 1 metro de un elemento conductor, si existe, en el local o vivienda. Si el neutro de la instalación está aislado de tierra, es necesario, para realizar la medida, poner temporalmente a tierra una de las fases de la instalación no utilizada para la prueba.
Valores óptimos	El valor medio y corregido será igual o superior a 50 kΩ si la tensión de la instalación es inferior a 500 V; e igual o superior 100 kΩ si es mayor de 500 V.
Recomendaciones	• Los circuitos del recinto a medir deben estar libres de tensión. En el supuesto de utilizar el método del voltímetro es necesario que los circuitos se encuentren alimentados. Por ello, este segundo método es especialmente recomendado para aquellos sitios donde sea problemático para el uso de la misma el corte de la alimentación. • La medición se debe realizar usando ambas polaridades en la tensión de prueba (invertir puntas) y tomar el valor medio como el válido.

ENSAYO DE POLARIDAD



En las instalaciones con dispositivos de corte unipolares se debe efectuar un ensayo de polaridad para verificar que estos dispositivos son instalados únicamente en el conductor de fase y no en el neutro.

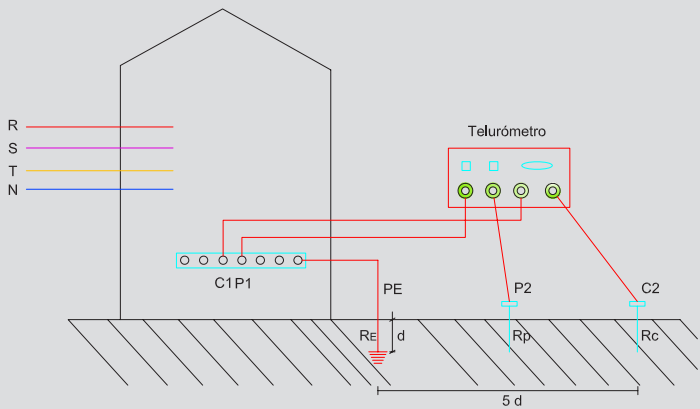
El ensayo consiste en la comprobación, por ejemplo con un detector de tensión, de que los interruptores unipolares están correctamente conectados, es decir, en el conductor de fase. De esta manera, puede garantizarse que estando el interruptor abierto no existe potencial en las tomas de corriente sobre las que actúa dicho elemento de corte.

Por motivos de seguridad, es recomendable realizar esta prueba con un detector de tensión con materiales no conductores. Por otra parte, dicho detector, es útil, no solo para distinguir la fase del neutro (detecta tensión en la fase y se ilumina), sino también para localizar dónde se ha producido la rotura de un cable eléctrico o para detectar que la masa de un receptor no está conectada a tierra.



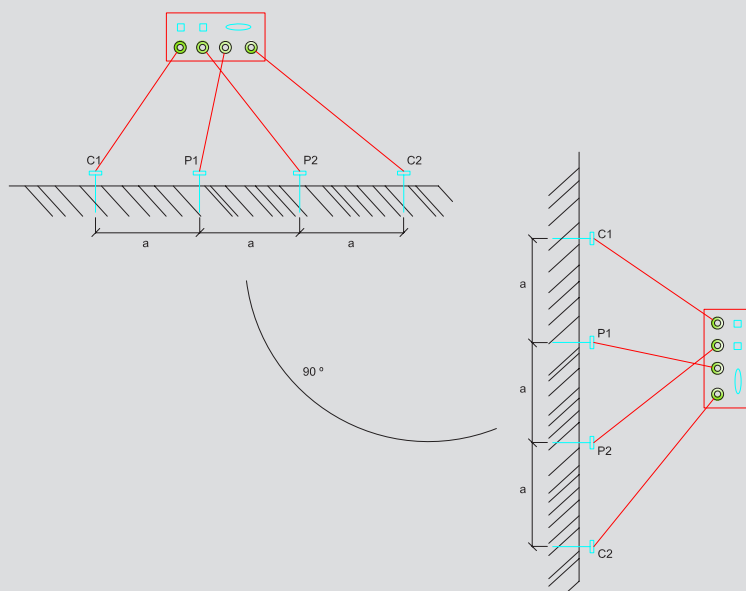
Detector de tensión

MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA



Finalidad	Averiguar el valor de la resistencia de tierra (R_e) para comprobar que no supera el máximo permitido.
Condición	Los circuitos a ensayar deben estar libres de tensión.
Equipo	La medida de la resistencia de tierra se mide con telurómetro, el cual inyecta en la toma de tierra de la instalación una intensidad de corriente alterna conocida, y mide la tensión resultante en bornes del electrodo bajo prueba. El cociente entre la tensión medida y la corriente inyectada proporciona el valor de la resistencia de puesta a tierra (R_e).
Procedimiento	La primera medición se debe hacer con la pica auxiliar de tensión (P2) clavada a la distancia de $0,62 \cdot C2$ ($5d$). La medición se debe repetir a las distancias de $0,52 \cdot C2$ ($5d$) y $0,72 \cdot C2$ ($5d$). Si los dos resultados obtenidos no difieren en más de un 10 % con respecto de la primera medida ($0,62 \cdot C2$), entonces el primer resultado se considera correcto. En caso de una diferencia superior al 10 %, ambas distancias ($C2$ y $P2$) deberán aumentarse proporcionalmente y repetir la medición. d = Profundidad del electrodo.
Valores óptimos	Según el REBT, el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a: • 24 V en local o emplazamiento conductor. • 50 V en los demás casos, mientras no se especifique otro valor (por ejemplo, 25 V en establecimientos agrícolas, 24 V en instalaciones de alumbrado exterior, 12 V en los volúmenes 0 y 1 de las piscinas, entre otras). Por ejemplo, si en una instalación se utiliza un interruptor diferencial de 30 mA de sensibilidad, el valor máximo de la resistencia de tierra para una instalación en local o emplazamiento conductor, será: $R_e = 24/0,030 = 800 \Omega$. Sin embargo, con el objeto de facilitar la rápida desconexión del interruptor diferencial, y para asegurar una baja tensión de defecto antes de que esta desconexión se produzca, es conveniente limitar el valor de la resistencia de tierra muy por debajo del valor reglamentario (en general $\leq 20 \Omega$).
Recomendaciones	Es frecuente encontrar perturbaciones en los sistemas de puesta a tierra que se miden, especialmente en industria, centros de transformación, entre otros, donde fuertes corrientes de fuga fluyen hacia el terreno. Por tanto, se deben utilizar picas auxiliares con una resistencia que no sea elevada.

MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO



El valor de la resistividad del terreno viene dado por:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot U}{I}$$

ρ = Resistividad específica del terreno.

a = Distancia entre electrodos de prueba.

U = Tensión entre electrodos P1 y P2.

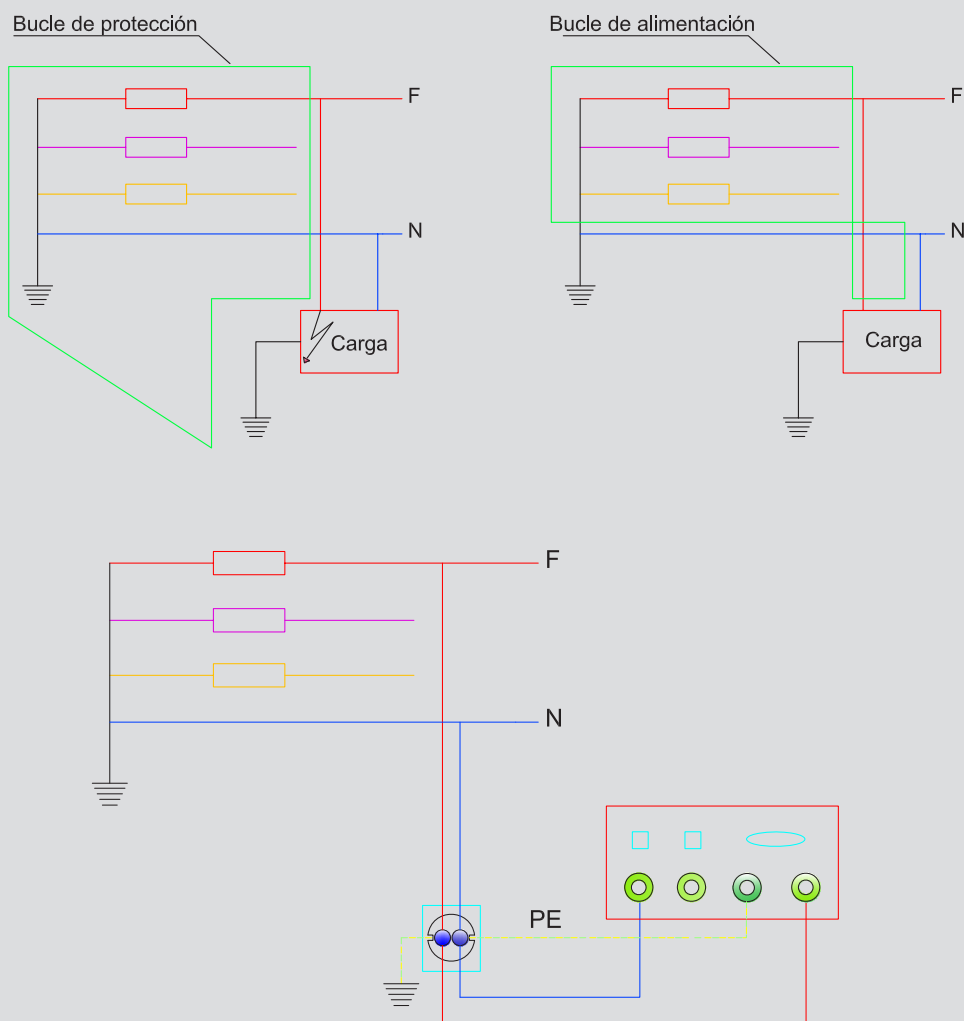
I = Corriente de prueba producida por el generador de AC.

Se debe usar tensión de prueba en AC, para evitar posibles procesos electroquímicos en el material del terreno a medir, como podrá ocurrir con CC.

La ecuación anterior es válida si los electrodos de prueba se clavan en el terreno a una profundidad máxima de $a/20$.

Para obtener mejores resultados se recomienda realizar la prueba en distintas direcciones (90° y 180° con respecto a la primera medición) y tomar como resultado final el valor medio de ellos.

MEDIDA DE LA IMPEDANCIA DE BUCLE ENTRE EL CONDUCTOR DE FASE-PROTECCIÓN



MEDIDA DE LA IMPEDANCIA DE BUCLE ENTRE EL CONDUCTOR DE FASE-PROTECCIÓN	
Finalidad	Conocer el valor de la resistencia del bucle de protección para que su valor sea lo suficientemente bajo y así permitir que las posibles corrientes de defecto produzcan la actuación de los elementos de protección. El efecto inmediato debe ser la actuación del interruptor diferencial. Sin embargo, en el caso de que este no exista, o no funcione correctamente, debemos de asegurarnos de que la impedancia de bucle o circuito cerrado creado sea lo suficientemente baja para que la corriente de defecto (cortocircuito) sea lo suficientemente alta para hacer actuar el dispositivo de corte (magnetotérmicos o fusibles).
Condición	La medida de impedancia de bucle requiere la circulación de una corriente de prueba por el bucle de protección.
Equipo	Los medidores de impedancia pueden también medir la resistencia del bucle de alimentación (R_{fn}). Conocido este valor y teniendo en cuenta la tensión de alimentación, el medidor puede proporcionar el valor de la corriente previsible de cortocircuito. Los medidores de impedancia pueden medir de forma aproximada la resistencia de tierra sin utilizar picas. Para un valor más exacto de la resistencia de tierra debemos usar el telurómetro.
Procedimiento	El medidor de impedancia se conecta en una toma de corriente al conductor de fase, neutro y protección.
Valores óptimos	Ejemplo: El medidor de impedancias da el siguiente resultado: - Resistencia de bucle = 12,86 Ω. - Intensidad de defecto = $230/12,86 = 17,8 \Omega$. - Resistencia de tierra = 10,5 Ω. Por tanto, si el interruptor diferencial es de 30 mA tiene el suficiente poder de corte para esa corriente de defecto. La tensión máxima de contacto será $U = 10,5 \cdot 0,030 = 0,315 \text{ V}$ (permitida).
Recomendaciones	Se debe realizar la medición en la última toma de corriente de cada circuito y verificar que dichos circuitos están protegidos por las protecciones existentes. Se debe utilizar un medidor de impedancia que al inyectar la corriente de defecto no haga actuar al interruptor diferencial (si es este el sistema de protección).

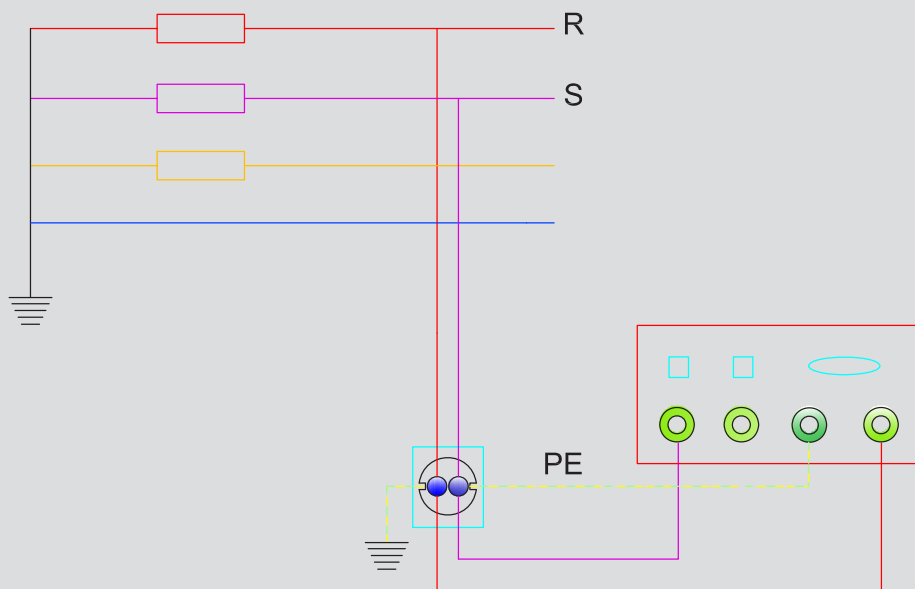
MEDIDA DE LA IMPEDANCIA DE LÍNEA ENTRE FASE Y FASE

La impedancia de línea es la impedancia medida entre los terminales de fase y neutro en sistemas monofásicos y entre los terminales de dos fases en sistemas trifásicos.

La impedancia de línea se debe medir para verificar la protección de los circuitos por parte de las protecciones instaladas, en caso de un posible cortocircuito, así como cuando se desee comprobar la capacidad de un circuito o de la instalación entera para alimentar determinadas cargas.

En muchas ocasiones se presenta la duda de si podemos añadir más cargas a un circuito determinado, aumentando la corriente de carga de dicho circuito, sin necesidad de aumentar la sección del mismo. Dicha duda se puede solucionar mediante la medición de la impedancia de línea y posible corriente de cortocircuito. El valor de la corriente de cortocircuito obtenida en el punto de medición nos determina cuál es el mayor calibre de interruptor magnetotérmico que podemos colocar sin modificar la sección del conductor. La corriente de cortocircuito medida deberá ser siempre mayor que la mínima necesaria para provocar la actuación del magnetotérmico.

El principio de medición es exactamente el mismo que para medir la impedancia de bucle de defecto entre fase y protección.



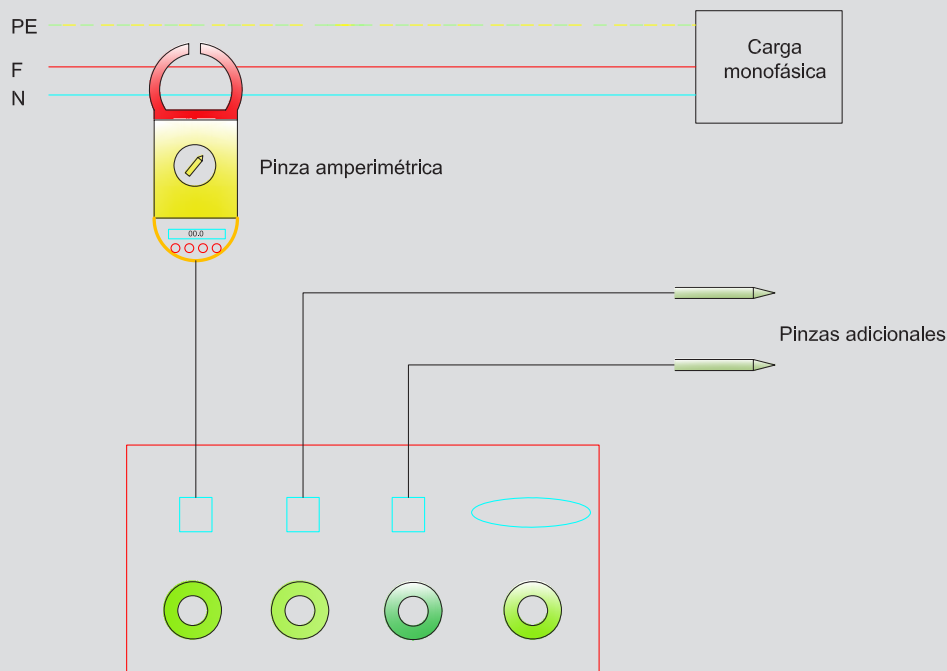
MEDIDA DE CORRIENTES DE FUGA

Las corrientes de fuga son habituales en muchos receptores, sobre todo los de tipo electrónico, que en condiciones normales de funcionamiento derivan una cierta intensidad desde los conductores de alimentación hacia el conductor de protección. Esta derivación tiene lugar en la etapa de entrada de estos receptores, a través de los condensadores a tierra de sus filtros contra las perturbaciones eléctricas conducidas.

La suma de las corrientes de fuga y de defecto es la que provoca el disparo de las protecciones ante contactos indirectos de la instalación. Por ello, puede darse el caso de que, sin la existencia de defecto en la instalación, se produzca el disparo de su interruptor diferencial por exceso de corrientes de fuga. Por todo esto, se debe medir la corriente de fuga, a la tensión de servicio de la instalación, para cada uno de los circuitos protegidos con interruptores diferenciales. Los valores medidos deben ser, desde luego, inferiores a la mitad de la sensibilidad de dichos interruptores diferenciales.

La medida de corriente de fuga se efectúa con una pinza amperimétrica específica que puede medir corrientes muy pequeñas.

La medida se produce abrazando con la mordaza todos los conductores activos. Si la suma vectorial de las corrientes que circulan por estos conductores no es nula, la pinza medirá la intensidad de la diferencia, que es, precisamente, la corriente de fugas aguas abajo del punto de medida.



COMPROBACIÓN DE INTERRUPTORES DIFERENCIALES

El comprobador de diferenciales inyecta a través del interruptor bajo prueba una corriente de fuga específica y conocida que, según su valor, deberá hacer actuar al diferencial en un tiempo máximo definido.

Para hacer la prueba, el comprobador se conecta a cualquier toma de corriente aguas abajo del diferencial a prueba, estando la instalación en servicio. Cuando se dispare el diferencial, el comprobador debe ser capaz de medir el tiempo que tardó en actuar desde el instante que se inyectó la corriente.

La prueba se debe realizar con corrientes de defecto que comienzan en la semionda positiva (prueba a 0°), y con corrientes de defecto que comienzan en la semionda negativa (prueba a 180°). Esto se debe a que los interruptores diferenciales pueden responder con distinta celeridad dependiendo de la fase de la corriente de defecto.

En general, los pasos a seguir para la comprobación de diferenciales del tipo AC y A con sensibilidades iguales o superiores a 30 mA son los siguientes:

1. Se inyecta una intensidad diferencial igual a la mitad de la corriente normal de disparo del diferencial, con un ángulo de fase de 0° . El interruptor diferencial no debe actuar.
Nota: Se recuerda que la mayoría de los interruptores diferenciales comienzan a actuar entre la mitad y la totalidad de la sensibilidad.
2. Se repite la prueba anterior con un ángulo de fase de 180° . El interruptor no debe actuar.
3. Se inyecta una intensidad igual a la intensidad nominal de disparo con un ángulo de fase de 0° . El interruptor diferencial debe actuar en menos de 300 ms.
4. Se repite la prueba anterior con un ángulo de fase de 180° y el diferencial debe disparar en menos de 300 ms.
5. Se inyecta una intensidad igual a 5 veces la nominal de disparo, con un ángulo de fase de 0° . El diferencial debe disparar en menos de 40 ms.
6. Se repite la prueba anterior con un ángulo de fase de 180° . El diferencial debe disparar en menos de 40 ms.

Finalmente, se requiere que el diferencial sea comprobado mecánicamente forzando su disparo con el botón de test. Se debe realizar esta prueba de forma mensual. Existen diferenciales que realizan de forma automática y programada este tipo de test.

