

TEMA 5. PROTECCIONES

Índice

1. Introducción
2. Sistemas de protección
3. Estructura del sistema de protección
4. Funciones de protección
5. Clasificación de las protecciones
6. Ajuste y coordinación de protecciones
7. Fusibles
 - 7.1. Componentes
 - 7.2. Funcionamiento
 - 7.3. Curva característica I-t
8. Protecciones de BT
 - 8.1. Fusibles de baja tensión
 - 8.2. Interruptor automáticos
 - 8.3. Interruptor diferencial

1. Introducción

Las principales perturbaciones de los SEP son:

- **Cortocircuito:** conexión directa entre dos ó más conductores de distinta fase. Aumento extraordinario de la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito eléctrico. Tienen efectos desastrosos sobre las máquinas y líneas eléctricas, deterioran las líneas eléctricas fundiendo los conductores y llegan a destruir las máquinas eléctricas
- **Sobrecarga:** el circuito trabaja con mayor intensidad de corriente que aquella para la que está diseñado. Provocan calentamientos indeseados que a la larga pueden producir perforaciones en los aislamientos y cortocircuitos.
- **Subtensión:** debida a un aumento de demanda o por arranque de un motor de gran potencia.
- **Sobretensión:** tensión superior a la mas tensión más elevada de la red. Supone riesgo de perforación de los aislantes, peligro para el personal,...

1. Introducción

Las consecuencias de una FALTA

- Las magnitudes asociadas al SEP alcanzan valores situados fuera de sus rangos de funcionamiento normales.
- Áreas del sistema trabajando en condiciones desequilibradas \Rightarrow RIESGO.
- Resentimiento de la Continuidad y la Calidad del suministro.

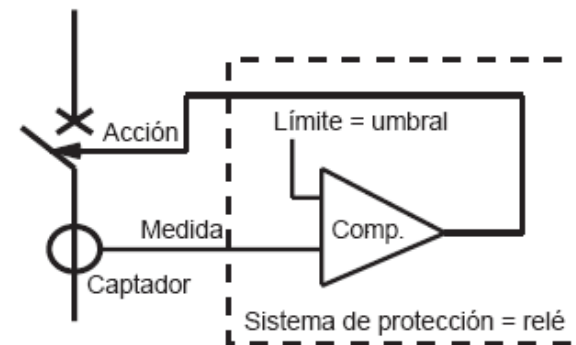
Alternativas:

- Diseñar un SEP a prueba de faltas: una falta no elimina el funcionamiento de ninguna parte del sistema \longrightarrow Implica duplicar las instalaciones, exige inversiones prohibitivas.
- Duplicar instalaciones allí donde sea más necesario y más económico, tanto desde el punto de vista de los consumidores (alimentación de quirófanos, centros de procesos de datos,...), como para el conjunto del sistema (fundamentalmente transporte y parte de la generación), y controlar y minimizar los efectos de las faltas, cuando éstas se produzcan.

Las **protecciones** se engloban dentro de la segunda alternativa permitiendo un desarrollo óptimo del sistema desde el punto de vista técnico y económico.

2. Sistemas de protección

- **Definición:** conjunto de equipos necesarios para detectar y aislar una perturbación en la red.
- **Objetivo:** minimizar los efectos derivados de los diferentes tipos de faltas manteniendo en lo posible la continuidad y calidad del suministro.
- **Actuación:**
 1. Desconectar circuito en falta
 2. Restituir el sistema a sus condiciones iniciales
- Un sistema de protección incluye todos aquellos **componentes** que permiten detectar, analizar y despejar la falta:
 - ◆ **Dispositivos de medida:** miden las variables del sistema (tensión e intensidad).
 - ◆ **Protección:** en función del valor de las variables discrimina si existe una falta y envía una orden de disparo al elemento de corte, una señal de alarma,..
 - ◆ **Interruptor:** recibe la orden de disparo y abre los contactos cortando la fuente que alimenta la falta.
 - ◆ **Alimentación auxiliar:** fuente de alimentación necesaria para los circuitos de disparo y control.



Esquema básico de una cadena de protección eléctrica.

2. Sistemas de protección



2. Sistemas de protección

Beneficios de un sistema de protección

Los beneficios derivados de una buena protección son:

- Seguridad en la red.
- Estabilidad de la red.
- Disminución en tiempo y coste de reparación de los equipos al ser el daño menor.
- Disminución en la necesidad de equipos de reserva.
- Mayor disponibilidad de los elementos ya que las protecciones desconectarán sólo los imprescindibles para aislar la falta.

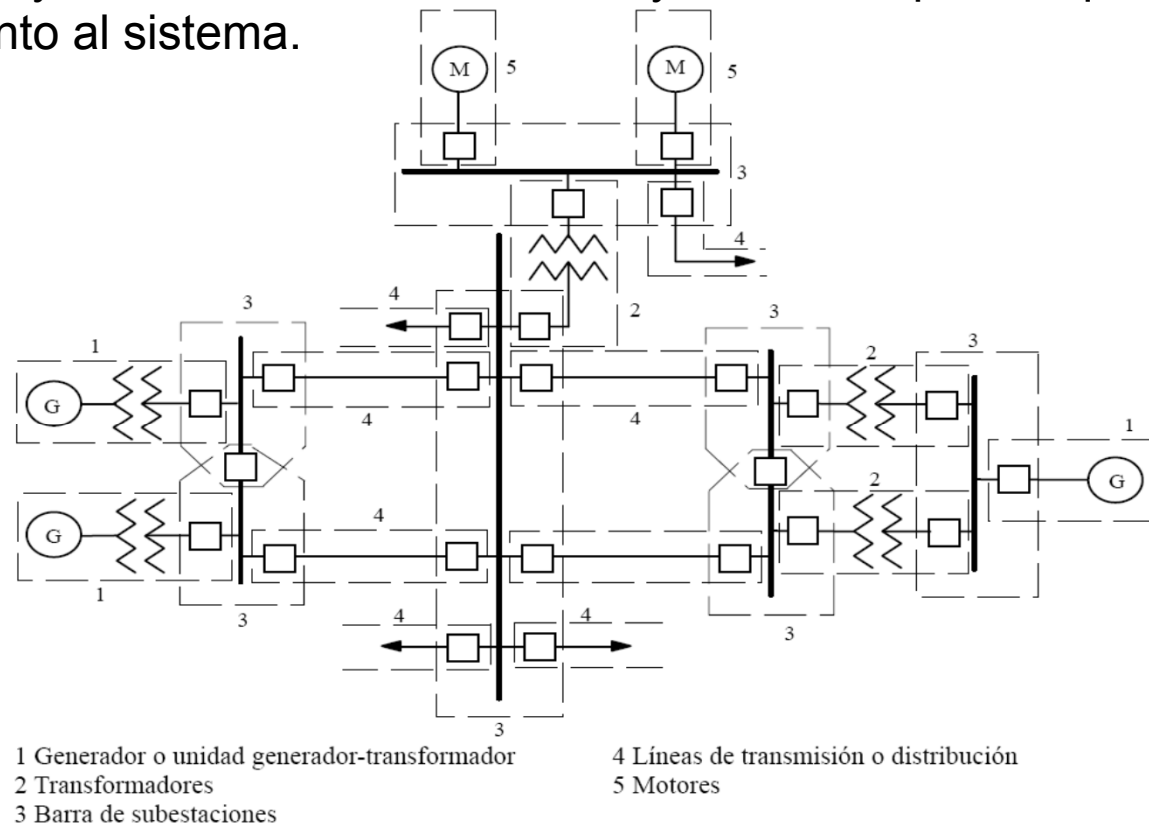
2. Sistemas de protección. Requisitos

A todo sistema de protección se le exigen **cuatro** requisitos fundamentales para que realice su función correctamente. Estos requisitos son:

- **Sensibilidad:** el relé debe ser lo suficientemente sensible para operar en las condiciones de mínima falta que se puedan dar en la parte del sistema que tenga encomendada.
- **Selectividad:** los relés deben de seleccionar entre aquellas faltas para las que deben de operar, por haberse producido en los propios equipos que protegen, de las faltas que se produzcan en otros equipos para las que no deben de operar.
- **Rapidez:** el relé debe de operar con la rapidez adecuada. La rapidez es esencial en la separación del elemento dañado de la red. Evita que se produzcan mayores desperfectos reduciendo los costes de reparación y la permanencia fuera de servicio.
- **Fiabilidad:** es el grado de confianza de que la protección actuará correctamente y se desdobra en dos conceptos:
 - ◆ **Obediencia (Dependability):** grado de certeza de que una protección actúe cuando debe operar.
 - ◆ **Seguridad (Security):** grado de certeza de que la protección no va a operar incorrectamente ante una falta para la que no debe actuar.

3. Estructura de sistemas de protección. Zonas de protección

- Filosofía general de implantación de las protecciones: dividir el SEP en zonas que puedan ser protegidas adecuadamente por equipos apropiados.
- La zona incluye el elemento del sistema y los interruptores que conectan dicho elemento al sistema.



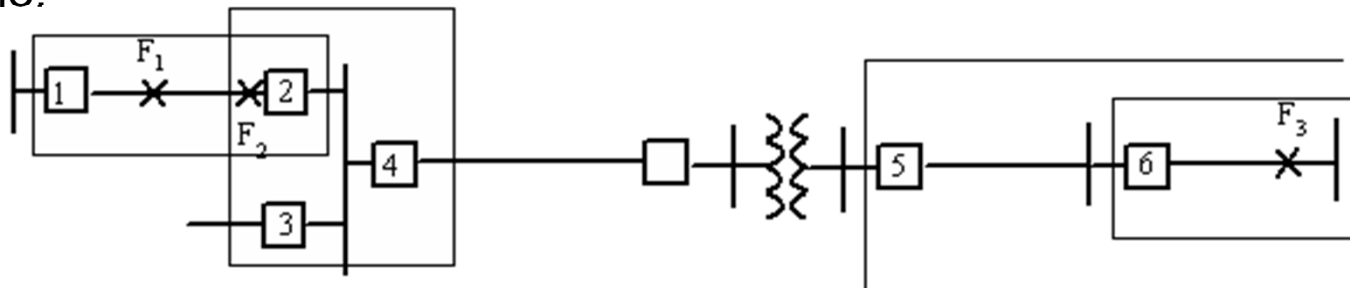
- Las zonas de protección están dispuestas de forma que haya un solape alrededor de los interruptores  eliminar espacios muertos.

3. Estructura de sistemas de protección. Zonas de protección

Los equipos de protección que comprenden cada zona podemos dividirlos en dos tipos:

- **Protecciones primarias:** son aquellas que tienen la responsabilidad de despejar la falta en primera instancia.
- **Protecciones de apoyo:** actuará cuando la falta no haya sido despejada por la protección primaria en un tiempo prudencial.

Ejemplo:



- ◆ Falta en F1: la despejan las protecciones primarias abriendo los interruptores 1 y 2.
- ◆ Falta en F2: como antes, abriendo 1 y 2, y 3 y 4 por solape.
- ◆ Falta en F3: la despeja la protección primaria abriendo el interruptor 6, si hay fallo la despejará la protección del interruptor 5 que actúa de apoyo.

3. Estructura de sistemas de protección.

Protecciones de apoyo

Como justificante del respaldo a las protecciones se muestra un resumen estadístico del tipo de fallo de las protecciones

Faltas de las protecciones	43%	Contactos sucios, bobinas cortadas, ajustes erróneos, calibración incorrecta
Faltas de interruptores	20%	Bobinas quemadas, faltas mecánicas, faltas de los contactos, ...
Faltas de transformadores de medida	10%	Fusibles quemados, saturación de núcleos, problemas de bobinados, faltas de aislamiento
Faltas de dispositivos auxiliares	9%	Contactos sucios, conexiones incorrectas
Faltas de cableado	12%	Mal aislamiento, conexiones sueltas e incorrectas
Faltas de la alimentación	6%	Fusibles quemados, tensión baja

3. Estructura de sistemas de protección.

Protecciones de apoyo

- Función de respaldo de la protección primaria. Opera cuando una falta no ha sido eliminada en su debido tiempo por:
 - ◆ Fallo o incapacidad de las protecciones primarias
 - ◆ Fallo del interruptor o interruptores asociados

Condición básica: la protección de apoyo no debe operar hasta que la primaria haya tenido la oportunidad de hacerlo \longrightarrow demora asociada a la operación:

- ◆ Falta: arrancan ambas protecciones para operar. Si la primaria despeja la falta la de apoyo debe reponerse antes de completar su ciclo de disparo.
- ◆ Si la falta no es despejada por la primaria al de un tiempo actuará la protección de apoyo, disparando los interruptores necesarios para despejar la falta y aislar el elemento del sistema.

Tipos de protección de apoyo:

- ◆ **Protección de apoyo local:** las faltas se despejan a través de relés de la instalación.

Protección de apoyo remoto: protección instalada en otra subestación, distinta de aquella en la que se encuentra la protección principal.

Celda de protecciones



Celda de protecciones



Celda de protecciones

CELDA DE PROTECCIÓN - VISTA INTERIOR

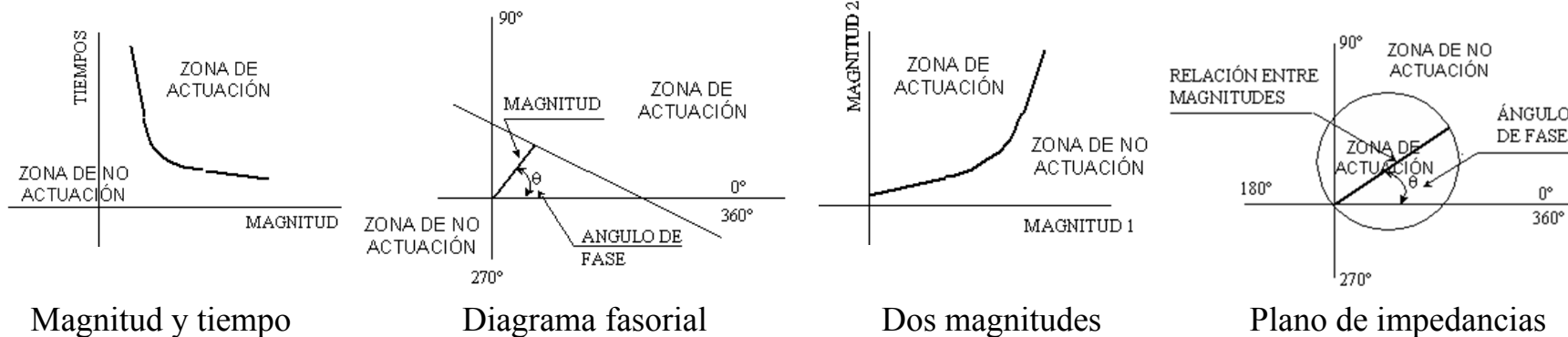


4. Funciones de protección. Curvas características

Un relé ó función de protección puede actuar por medida de:

- ♦ una sola magnitud eléctrica: I, V, f
- ♦ acción simultánea de dos magnitudes: I y/o V. Pudiendo intervenir, el ángulo de fase, la relación entre las magnitudes eléctricas, o bien, la combinación de ambas

Curva característica de operación: gráfico que muestra la relación entre las magnitudes que van a hacer actuar al relé.



Son de especial interés a la hora de establecer los valores de respuesta y para coordinación de protecciones.

4. Funciones de protección. Funciones básicas

Clasificación de funciones de protección:

- ◆ **Funciones de una sola magnitud:** responden ante una sola magnitud de entrada (intensidad, tensión y frecuencia), comparadores de nivel.
- ◆ **Funciones direccionales:** responden al ángulo de fase entre dos magnitudes de entrada de corriente alterna, comparadores de fase. Unidad direccional de sobreintensidad, unidad direccional de potencia.
- ◆ **Funciones cociente de dos magnitudes:** responden a la relación entre dos magnitudes expresadas por fasores. Unidades de distancia.
- ◆ **Funciones diferenciales:** responden a la suma vectorial de dos ó más magnitudes de entrada, comparadores de magnitud. Unidad diferencial.
- ◆ **Funciones diversas:** se integran junto con otros dispositivos para completar equipos de protecciones. Comprobación de sincronismo, reenganche, fallo de interruptor...
- ◆ **Teleprotecciones:** función de protección con comunicación de extremos. Utilizan como una de las señales de entrada, la información facilitada por un canal de comunicaciones desde uno o varios extremos remotos.

4. Funciones de protección. Funciones básicas

Todas las funciones de protección se caracterizan por un número ANSI, los más utilizados son los siguientes:

ANSI	Funciones	ANSI	Funciones
21	Protección de distancia	51	Protección de sobreintensidad temporizada
24	Protección de sobreexcitación	52	Interruptor
25	Sincronización	59	Protección de sobretensión
27	Protección de subtensión	64	Protección de sobretensión homopolar
32	Protección contra inversión de potencia	66	Protección contra arranques sucesivos
37	Protección de subintensidad	67	Protección de sobreintensidad direccional
40	Protección de pérdida de campo	79	Reenganchador (Automatismo)
46	Protección de desequilibrio de intensidades	81	Protección de frecuencia
47	Protección de desequilibrio de tensiones	85	Esquemas de Teleprotección
48	Protección contra arranque largo	86	Función de bloqueo
49	Imagen térmica	87	Protección diferencial
50	Protección de sobreintensidad instantánea		

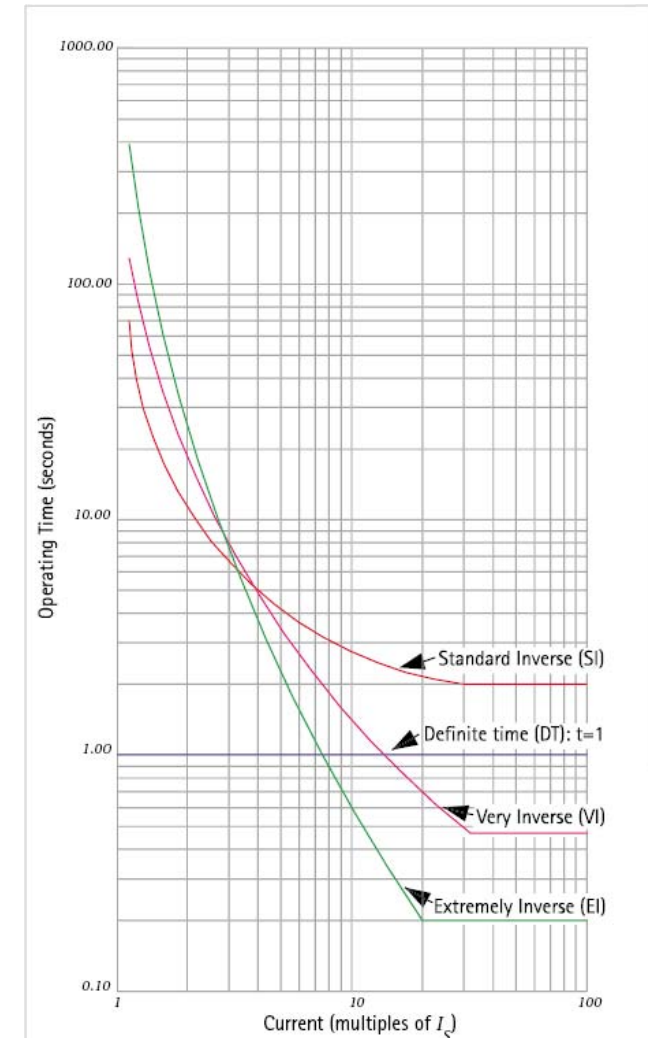
4. Funciones de protección. Función 50/51

La función opera cuando la intensidad de la corriente en el elemento protegido sobrepasa un nivel previamente seleccionado (ajuste, pick-up, setting).

Dos tipos básicos:

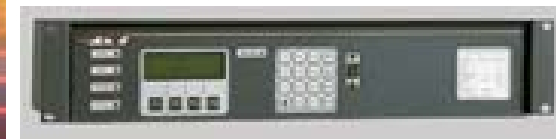
- **Sobreintensidad instantánea (50).** La actuación es inmediata (sin demora intencionada)
- **Sobreintensidad de tiempo diferido (51).** La actuación esta temporizada:
 - ◆ Tiempo fijo: tiempo de operación fijo aunque seleccionable, pero independiente del valor de la intensidad que circula por la unidad.
 - ◆ Tiempo inverso: tiempo de operación disminuye a medida que aumenta la corriente que circula por la unidad. Existen curvas:
 - Inversa
 - Muy inversa
 - Extremadamente inversa

} → NORMALIZADAS



4. Funciones de protección. Función 50/51

- Individualmente no son selectivas ya que no tienen en cuenta:
 - ◆ Sentido de circulación de la intensidad
 - ◆ Punto en el que ha ocurrido la falta
- La selectividad requiere la coordinación de varias protecciones.
- Es la protección de uso más común.
- Se emplea en todos los elementos:
 - ◆ las líneas de redes de distribución
 - ◆ máquinas eléctricas (generadores, transformadores, motores)
 - ◆ baterías de condensadores
 - ◆ reactancias de compensación
 - ◆ rectificadores de potencia



4. Funciones de protección. Función 67

La función de sobreintensidad direccional es el resultado de la combinación de dos funciones:

- ◆ Una función de sobreintensidad, que controla su magnitud
- ◆ Una función direccional, que controla el sentido de la intensidad.

Actúa cuando

- ◆ la intensidad supera el valor ajustado
- ◆ y circula en el sentido definido de operación.

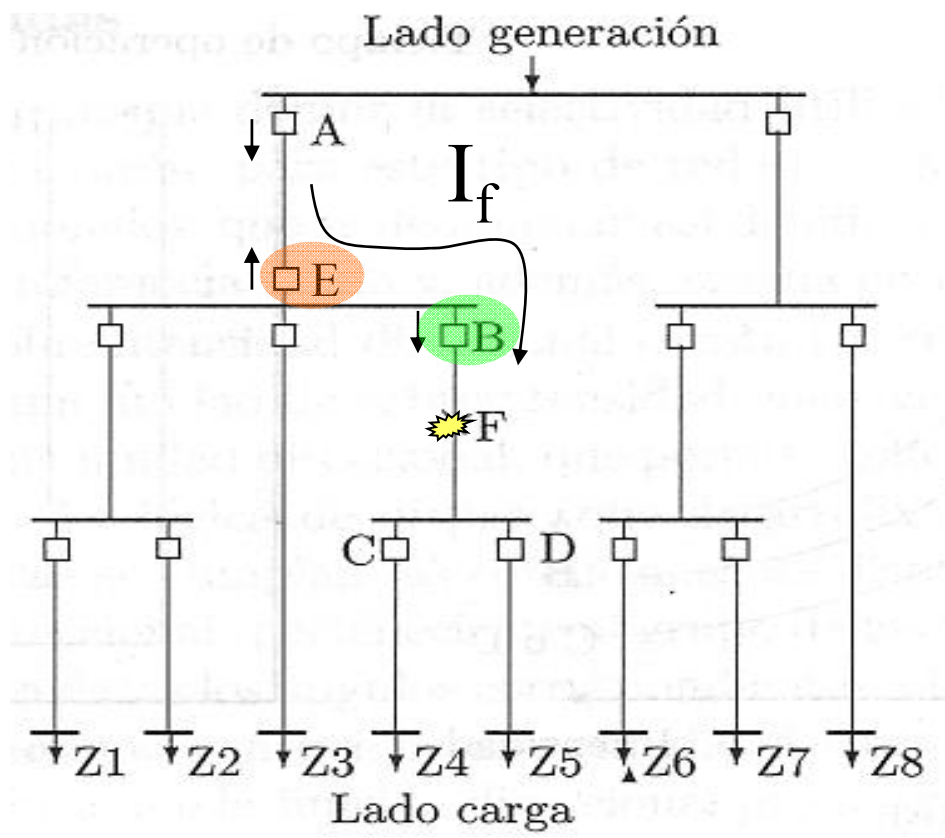
El sentido de circulación de la intensidad para el cual opera viene definido por el desfase existente entre

- ◆ la intensidad que se quiere medir (magnitud de operación)
- ◆ una magnitud de referencia (magnitud de polarización): tensión o intensidad

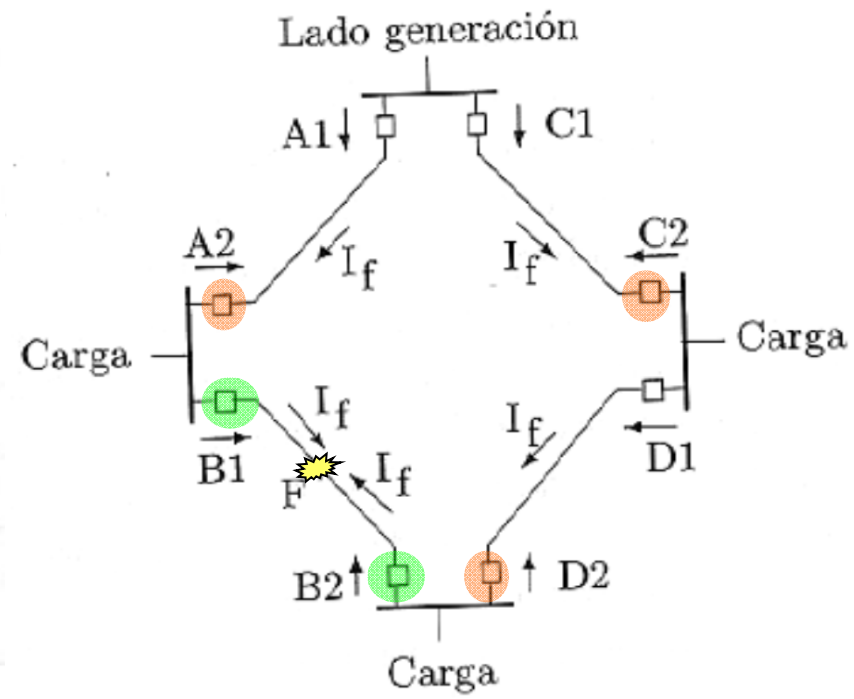
La magnitud de polarización debe ser tal que:

- ◆ no varíe significativamente su argumento si cambia el sentido de circulación de la corriente
- ◆ no se anule en las situaciones de falta

4. Funciones de protección. Función 67



Red radial



Red mallada

Ante una falta en F,
deberán actuar las protecciones B1 y B2

4. Funciones de protección. Función 67

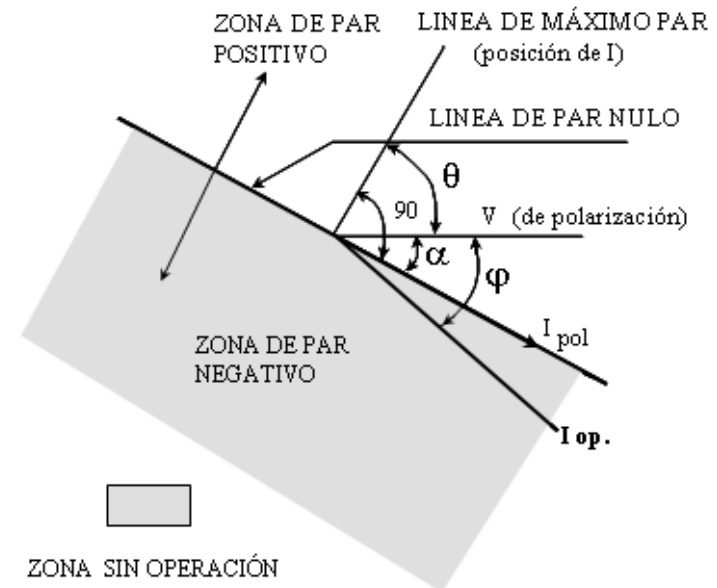
Ajustes

- ◆ Los propios de la función de sobreintensidad
- ◆ “Control de par” activa o inhibe la acción de la característica direccional
- ◆ “Ángulo de máximo par” o ángulo característico define la zona de operación ($\pm 90^\circ$ en su entorno)

Característica de operación

- ◆ Opera si la magnitud de operación está desfasada $\pm 90^\circ$ respecto a la línea de máximo par
- ◆ Zonas muertas: en torno a la perpendicular a la línea de máximo par (línea de par nulo) la operación es incierta

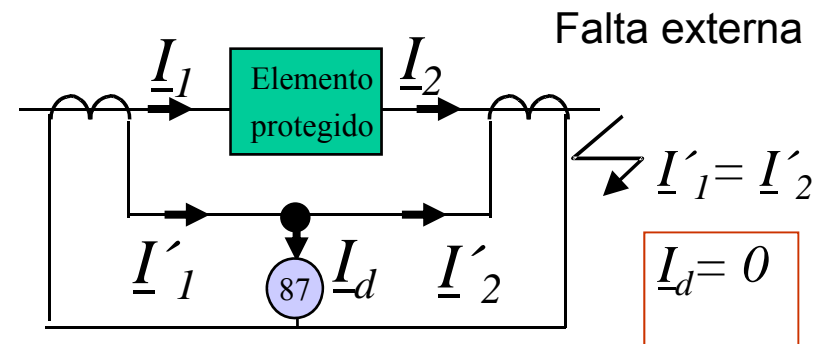
Aplicación: líneas de distribución



4. Funciones de protección. Función 87

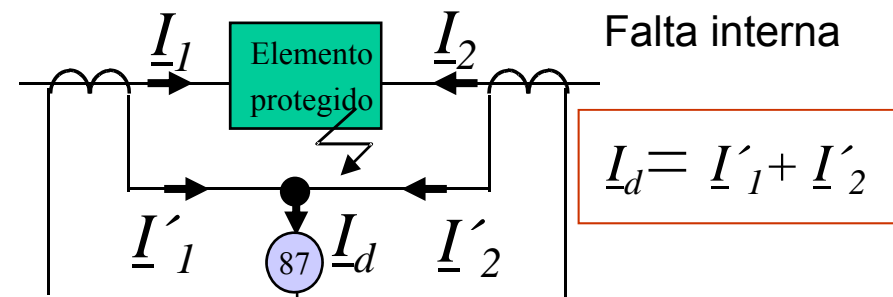
- La protección diferencial se basa en la primera ley de Kirchhoff: la suma vectorial de las corrientes que concurren a un nudo debe de ser cero.
- Compara las corrientes de entrada y de salida al elemento protegido, actuando para una determinada diferencia entre ellas:

- ◆ Para faltas externas \underline{I}_1 e \underline{I}_2 son iguales y, por tanto, $\underline{I}_d = 0$. **No opera.**
- ◆ Para faltas internas \underline{I}_1 e \underline{I}_2 son diferentes y, por tanto, $\underline{I}_d \neq 0$. **Opera.**



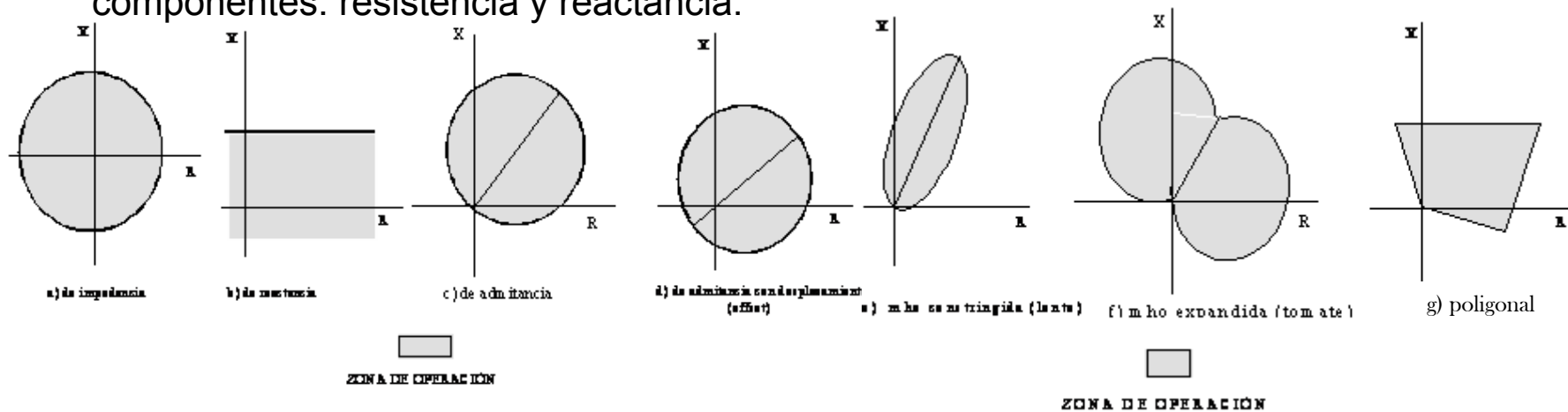
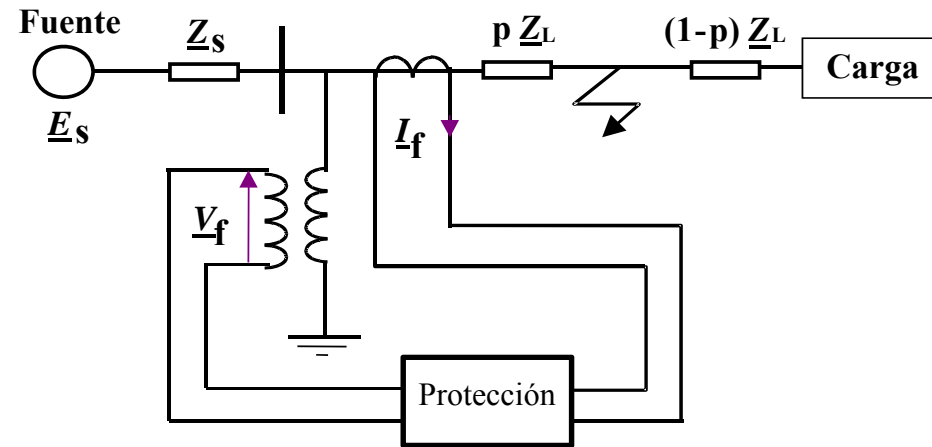
Se emplea en:

- ◆ Barras
- ◆ Generadores
- ◆ Transformadores
- ◆ Motores de gran potencia
- ◆ Líneas de transporte mediante comunicaciones por fibra óptica entre sus extremos



4. Funciones de protección. Función de distancia 21

- La función de distancia responde al cociente de la tensión entre la intensidad, es decir, a la impedancia o a una componente de la impedancia.
- Como la impedancia es proporcional a la longitud de una línea se les denomina funciones ó protecciones de distancia
- Los valores de operación se expresan en términos de impedancia, o de sus componentes: resistencia y reactancia.



Si la impedancia medida cae dentro de la zona de operación, la protección actúa.

- Se emplea fundamentalmente en líneas de transmisión

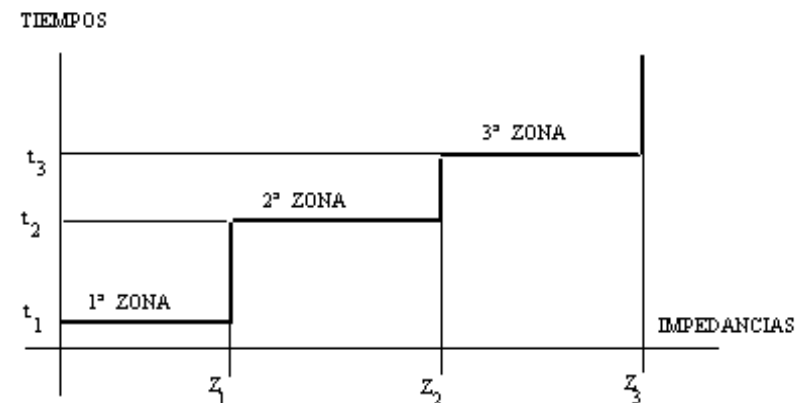
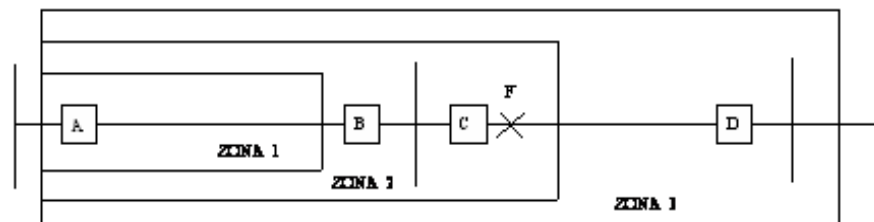
4. Funciones de protección. Función de distancia 21

La protección de distancia no se puede ajustar para cubrir el 100% de la línea, ya que se producirían disparos para faltas fuera de la línea por:

- ◆ Errores en medidas
- ◆ Errores en el algoritmo de medida
- ◆ Errores en el cálculo de la impedancia de línea utilizada para el ajuste
- ◆ Otros

Como es necesario proteger el 100% de la línea el esquema básico utilizado es la protección de distancia escalonada por zonas, consistente en:

- ◆ 3 unidades de distancia con alcances crecientes
- ◆ La primera unidad es instantánea y las otras dos temporizadas



4. Funciones de protección. Función de distancia 21

Ajuste zona 1:

- Para evitar problemas de sobrealcance por errores, la primera zona se ajusta entre el 80% (electromecánicos) y el 95% (numéricos) de la impedancia de la línea.
- El disparo es instantáneo.

Ajuste zona 2:

- Debe cubrir con seguridad la totalidad de la línea, por lo que debe ajustarse como poco al 120% de la impedancia de la línea.
- Normalmente se utiliza como ajuste el 100% de la impedancia de línea más el 50% de la impedancia de la línea adyacente más corta.
- El disparo debe estar temporizado para asegurar la coordinación con la unidad de zona 1 (0,3 – 0,6 s).

Ajuste zona 3:

- Proporciona protección de apoyo remoto para faltas en todas las líneas adyacentes, por lo que se ajusta al 100% de la impedancia de la línea más el 120% de la impedancia de la línea adyacente más larga.
- El disparo está temporizado para asegurar la coordinación con las unidades de zonas 1 y 2 (0,8 - 1,5 s).

4. Funciones de protección. Otras funciones de protección

- ◆ 27 Subtensión: actúa cuando la tensión de alguna de las fases baja de un valor ajustado
- ◆ 59 Sobretensión: actúa cuando la tensión en alguna de las fases supera un valor ajustado.
- ◆ 25 Sincronización: asegura que la estabilidad del Sistema no sea dañado ante el reenganche de una línea
- ◆ 79 Reenganchador: tras un tiempo de espera tras el acaecimiento de la falta, vuelve a cerrar el interruptor reenergizando la línea
- ◆ 81 m Subfrecuencia: produce un disparo si la frecuencia está por debajo del valor ajustado durante un tiempo igual al programado.
- ◆ 81M Sobrefrecuencia: produce un disparo si la frecuencia está por encima del valor ajustado durante un tiempo igual al programado.
- ◆ 81 df/dt (81R) Derivada de frecuencia: debe disparar si se da una variación brusca de frecuencia. Es una protección de generador.

4. Funciones de protección. Otras funciones de protección

- ◆ 24 Sobreexcitación: protege generadores, transformadores y grupos generador-transformador ante sobreexcitaciones.
- ◆ 32 Inversión de potencia: protección contra motorización del generador, más concretamente del sistema de accionamiento primario del generador.
- ◆ 40 pérdida de excitación: protege generadores ante marcha asíncrona
- ◆ 37 Subintensidad: Ej: protección del motor ante situaciones de pérdida de carga (marcha en vacío).
- ◆ 47 Desequilibrio de tensiones: protección de motores.
- ◆ 48 Arranque largo: protección del motor ante el sobrecalentamiento producido por la prolongación de la duración del arranque.
- ◆ 51RB Rotor bloqueado: protección contra bloqueo mecánico del rotor de motores.
- ◆ 49 Imagen térmica: reproduce el comportamiento térmico de la máquina.

5. Clasificación de las protecciones

Tipos de sistemas de protección **según el mecanismo de actuación sobre el interruptor**:

- **Directos:** El elemento de medida y el de corte son el mismo o aparecen juntos.
Protecciones BT.
- **Indirectos:** La detección y el corte se realizan en elementos distintos.
Protecciones AT/MT.

Tipos de protecciones **según el tiempo de actuación**:

- **De acción instantánea:** no tienen dispositivo de retardo. Entran en funcionamiento en el mismo instante en que la magnitud eléctrica controlada sobrepasa el nivel previamente ajustado.
- **De acción diferida:** tienen un dispositivo de temporización de forma que el relé entra en funcionamiento después de cierto tiempo de haber alcanzado la magnitud eléctrica controlada su valor de funcionamiento.

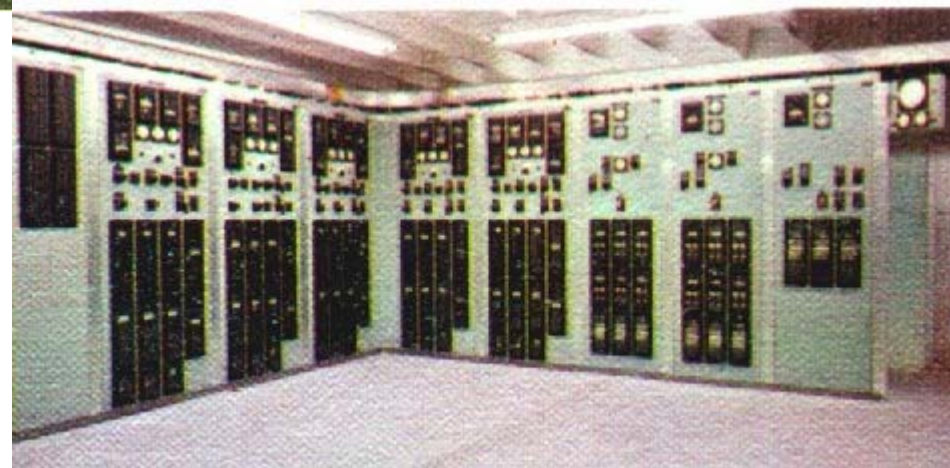
Tipos de protecciones **según la tecnología**:

- Relés electromecánicos
- Relés estáticos analógicos
- Relés estáticos digitales o numéricos

5.1 Relés electromecánicos

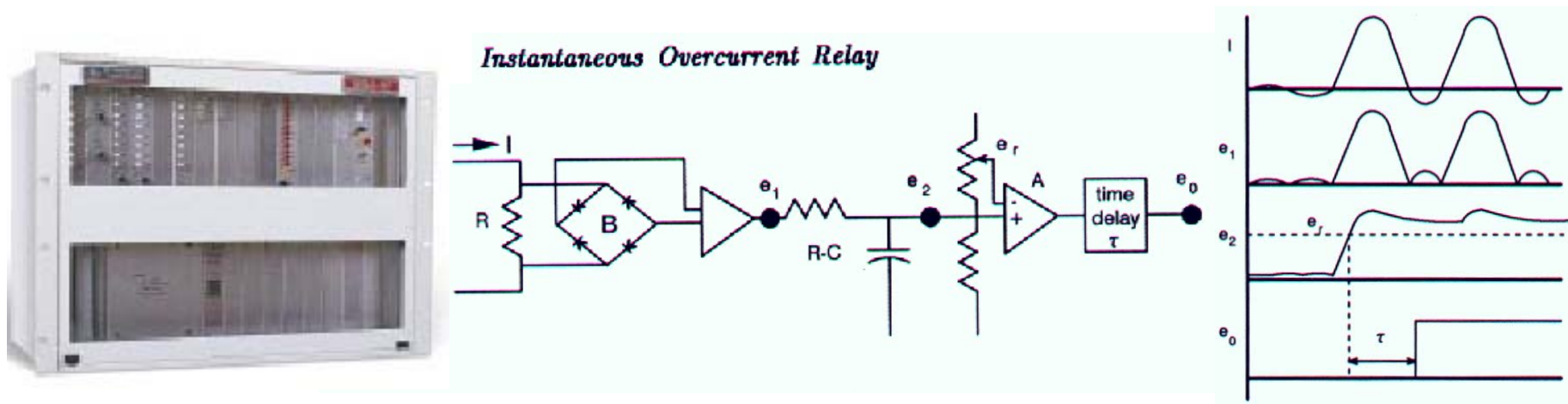
- Es la tecnología más antigua pero la que tiene mayor número de unidades instaladas a nivel mundial.
- Está constituido por dos partes, una fija y otra móvil, entre las que se ejercen fuerzas o pares motores cuyos orígenes pueden ser de distinta naturaleza: electromagnética, mecánica o térmica.
- Sigue existiendo demanda (mantenimiento y reposición)
- Su fiabilidad es superior a los relés numéricos: un diseño más sencillo implica menos oportunidades de fallo.
- Menos funcionalidad por dispositivo
- La vida útil es mucho mayor que la del resto de tecnologías
- Aplicaciones en las que siguen dominando:
 - ◆ Excesivo ruido electromagnético, radiointerferencias, etc.
 - ◆ Ambientes con temperaturas superiores a 80°
 - ◆ Necesidad de equipos autoalimentados (ausencia de alimentación auxiliar)
 - ◆ Imposibilidad de rediseño de cableados en instalaciones existentes

5.1 Relés electromecánicos



5.2 Protecciones estáticas analógicas

- No tienen partes móviles: No hay desgaste, mayor velocidad (no hay inercia)
- Tiempo de operación independiente de la magnitud y de la localización de la falta
- Mayor resistencia a vibraciones y golpes
- Menor carga para los secundarios de los TI y TT
- Ahorro considerable de espacio y reducción del cableado en las celdas
- Posibilidad de implementar esquemas de protección más complejos
- Susceptibles de mala operación en ambientes hostiles



5.3 Protecciones estáticas digitales o numéricas

- El algoritmo de protección está codificado en un programa ejecutado por un μP
- Uso de electrónica digital y técnicas de procesado de señal
- Reducción del tamaño y aumento de la integración de funciones
- Disminución de la carga para los secundarios de los TI y TT
- Mayor reducción de espacio en celdas y del cableado
- Posibilidad de implementar esquemas de protección más complejos
- Susceptibles de mala operación en ambientes hostiles
- Los esfuerzos de diseño se desplazan del hardware al software
- Utilizando el mismo hardware se pueden implementar diferentes relés modificando solo el Firmware
- Integración de las comunicaciones
- Incorporación de funciones de autochequeo
- Registro de eventos, informes de falta, registro oscilográfico, etc.
- Configurabilidad de entradas, salidas, pantallas,...
- Curvas de operación programables
- Múltiples tablas de ajustes
- Acceso remoto por comunicaciones
- Aparece el concepto de sistema integrado de protección y control
- Sistemas basados en inteligencia artificial, sistemas expertos, lógica difusa, etc.

5.3 Protecciones numéricas



ZIV 7IRD – Protección y control para distribución

Mod.	Función
A	3x50/51+50N/51N+79
B	3x67+67N+79
C	3x50/51+50N/51N+50Ns/51Ns+79
D	3x50/51+67NA+79
E	3x50/51+50N/51N+95+95R
F	3x50/51+67N
G	3x50/51+2x50N/51N+79
H	3x50/51+67N+79
J	3x(2x50)/51+(2x50N)/51N+79
L	3x50/51+2x50N/51N
M	3x50/51+50N/51N
S	A+49
T	3x67+67N+50Ns/51Ns+79
U	3x50/51+50N/51N+67N+79
V	3x67+67N+25+79
W	3x(2x50)/51+(2x50N)/51N
Z	3x50/51+50N/51N+79+tarjeta medidas

Una sola protección numérica puede reemplazar a más de 20 relés E/M.

Jugando con los múltiples tablas de ajustes y la configuración de su lógica habría que utilizar más de 100 relés E/M para conseguir una funcionalidad similar.



ZIV 8IDV – Protección diferencial de máquina

Mod.	Función
A	3x87+3x50/51+50N/51N+50G/51G+87N+49 (2 Dev.)
B	3x87+3x50/51+50N/51N+50G/51G+87N+49 (3 Dev.)
C	3x87+3x50/51+50N/51N+50G/51G+87N+49 +59/81/24 (V/Hz)(2 Dev.) (1)
D	3x87+3x50/51+50N/51N+50G/51G+87N+49 +64 +59/81/24 (V/Hz) (3 Dev.) (2)
E	3x87+3x50/51+50N/51N+50G/51G+87N+49 +59/81/24 (V/Hz)+64 (2 Dev.) (3)



ZIV 8ZLV – Protección de distancia

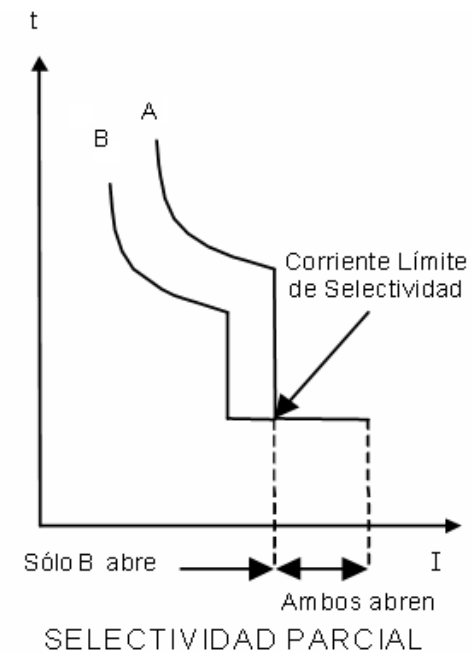
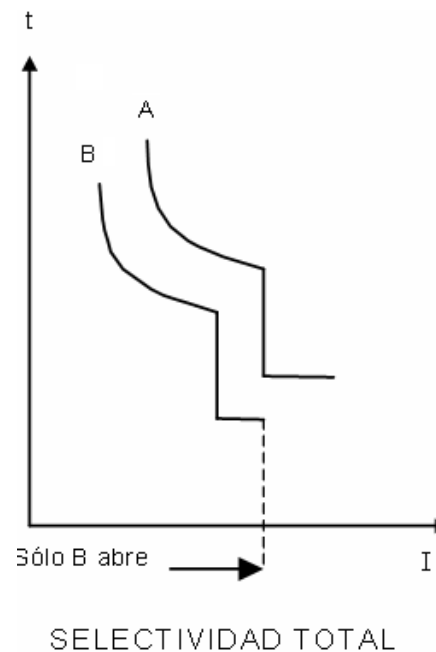
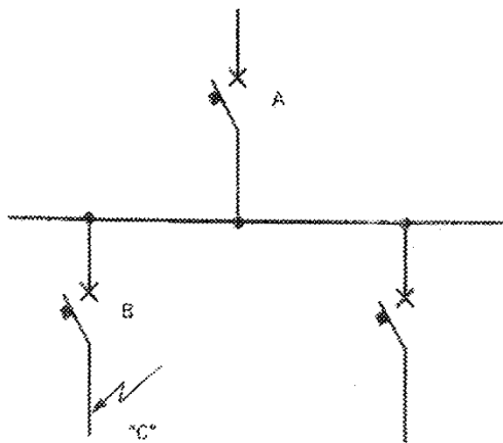
Mod.	Función
A	21(3F)+79+25+3x27+3x59+3x(3x67/3x50/51)+3x(67N/50/51N)+59N+49
B	21(1F/3F)+79+25+3x27+3x59+3x(3x67/3x50/51)+3x(67N/50/51N)+59N+49

6. Ajuste y coordinación de protecciones

- Ajustar una protección significa definir los límites de las señales de entrada, los cuales indicarán una operación anormal en el sistema y, por tanto, una acción en el sistema de protección.
- Para el ajuste de la protección se requiere determinar previamente todas las condiciones de operación del sistema eléctrico, las cuales determinan el límite de la no actuación de la protección. Para ello se debe considerar todas las configuraciones posibles, así como escenarios de generación y demanda.
- Los ajustes obtenidos para las protecciones principales deben ser verificados para coordinar su actuación con las protecciones de respaldo:
 - ◆ Las protecciones aisladas no requieren ninguna coordinación puesto que solamente operan dentro de su zona de protección.
 - ◆ Las protecciones escalonadas deben ser coordinadas para verificar su actuación como protecciones de respaldo en las zonas de protección vecinas.
- La coordinación de protecciones se basa en que eventos como faltas, funcionamientos anormales de elementos o partes de la red y condiciones indeseables de equipos sean despejadas aislando al mínimo a las partes no afectadas.
- Se definen tiempos de operación de diversos equipos o funciones de protección para permitir la actuación debidamente priorizada de los relés, minimizando los tiempos de actuación y garantizando una apropiada graduación en los tiempos de actuación de todas las protecciones, tanto las principales como las de respaldo.

6. Ajuste y coordinación de protecciones

- La protección principal debe proteger totalmente el sistema eléctrico y eliminar o aislar cualquier falta en el menor tiempo posible.
- Se denomina **SELECTIVIDAD** a la coordinación de las protecciones para que un defecto, ocurrido en un punto cualquiera de la red, sea eliminado por la protección correspondiente (principal), y sólo por ella.
- Existen dos grados de selectividad:
 - ◆ Selectividad total
 - ◆ Selectividad parcial

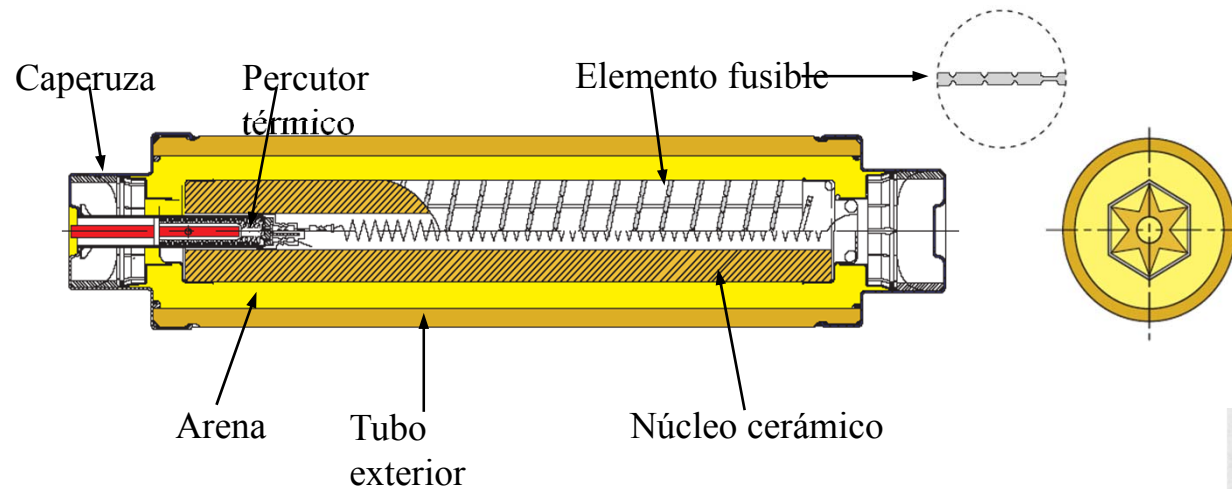


7. Protección contra sobreintensidad. Fusibles

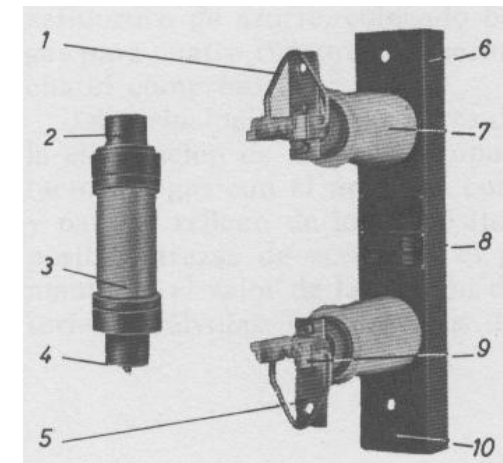
- **Definición:** Aparato de protección que tiene como misión el abrir el circuito en el que está instalado por fusión de uno o varios elementos destinados y diseñados para este fin cortando la corriente cuando sobrepasa un determinado valor durante un cierto tiempo. En la práctica se utilizan para la protección contra cortocircuitos y no para la de sobrecargas.
- El corte se consigue por fusión de un alambre incluido en el fusible, llamado elemento fusible, cuando una corriente supera un valor dado durante un periodo de tiempo definido previamente.
- Una vez que han actuado hay que sustituirlos, con la consiguiente demora en la reposición del servicio.
- El elemento fusible consta de uno o varios elementos de plata en forma de alambre, o con constricciones arrollados alrededor de un núcleo estrellado de porcelana, y todo ello se encuentra dentro de un tubo de porcelana lleno de arena de sílice.



7.1 Fusibles. Componentes



- **Elemento fusible:** cinta de material conductor con múltiples perforaciones para crear un gran número de arcos en serie.
- **Núcleo cerámico:** soporte de los elementos fusibles.
- **Arena de cuarzo:** extinción del arco eléctrico.
- **Tubo exterior:** debe resistir los esfuerzos originados en la operación del fusible.
- **Caperuzas:** conexión del fusible al circuito.
- **Percutor térmico:** indicación de la operación del fusible.



Fusible de alta tensión:

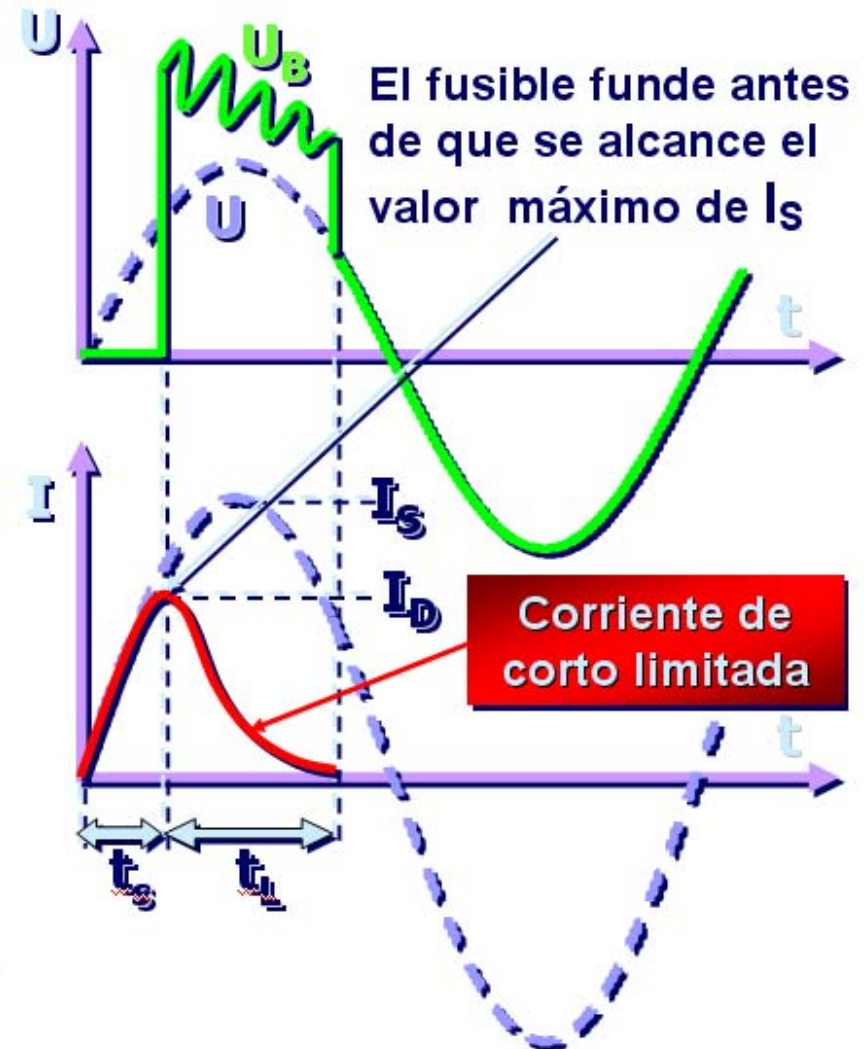
- 1.- Dispositivo de cierre y de bloqueo del cartucho
- 2.- Culata de contacto
- 3.- Cartucho fusible
- 4.- Percutor
- 5.- Borne de conexión
- 6.- Bastidor de plancha rígida
- 7.- Aislador soporte
- 8.- Placa de características
- 9.- Pinza de contacto
- 10.- Tornillo de puesta a tierra

7.2 Fusibles. Funcionamiento

- Cuando la intensidad que atraviesa un fusible, excede el valor permitido, se inicia el proceso de fusión de éste. El proceso consta de dos fases:
 - ◆ **Tiempo de prearco:** tiempo que transcurre desde que aparece el defecto hasta que se produce la fusión.
 - ◆ **Tiempo de arco:** intervalo de tiempo desde que se inicia el arco hasta la eliminación total del defecto
- La intensidad limitada de corte es el valor máximo instantáneo de la corriente, alcanzado durante el funcionamiento del fusible cuando este impide que la corriente de defecto alcance el valor de cresta.
- Los fusibles pueden soportar, debido a su capacidad de limitar las corrientes de cortocircuito, elevadas corrientes de cortocircuito en un espacio de extinción muy pequeño. Cuanto mayor es la limitación de la corriente, tanto mayor será la capacidad de ruptura en igual espacio de extinción.
- La efectividad en la limitación de la corriente y la elevada capacidad de ruptura consecuente, son características específicas de los fusibles.
- La intensidad máxima que un fusible sería capaz de interrumpir se le llama poder de corte y viene expresado en kA.

7.2 Fusibles. Funcionamiento

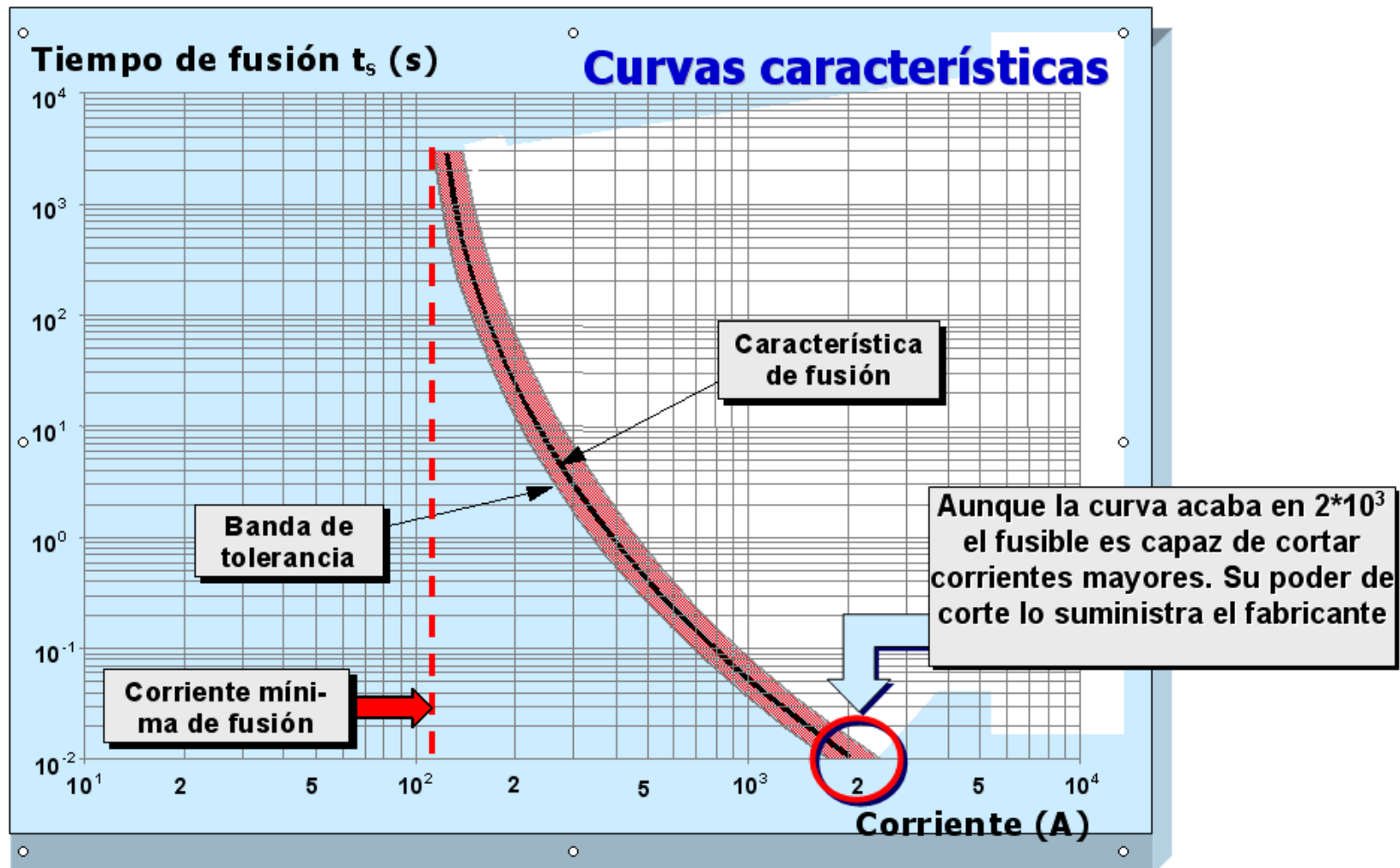
- **U:** tensión que soporta el fusible en condiciones normales
- **U_B :** tensión durante la formación del arco de fusión del elemento fusible.
- **I_S :** Corriente de cortocircuito
- **I_D :** Corriente de cortocircuito limitada
- **t_s :** Tiempo de fusión
(Periodo de prearco)
- **t_L :** Tiempo de extinción del arco
(Periodo de arco)



7.3 Fusibles. Curva característica I-t

Las empresas constructoras de fusibles facilitan las curvas (I-t), las cuales indican en que tiempo funde un fusible para una intensidad determinada.

La curva característica de fusión comienza con la mínima corriente que logra fundir el elemento fusible.



8. Protecciones de BT



**APARAMENTA
DE
PROTECCIÓN**



*Protección frente a
sobreintensidades*



*Protección frente a
contactos indirectos*



Fusibles



Modulares

**Interruptores
automáticos**

Caja Moldeada

Bastidor abierto



Interruptor diferencial

8.1 Fusibles de BT

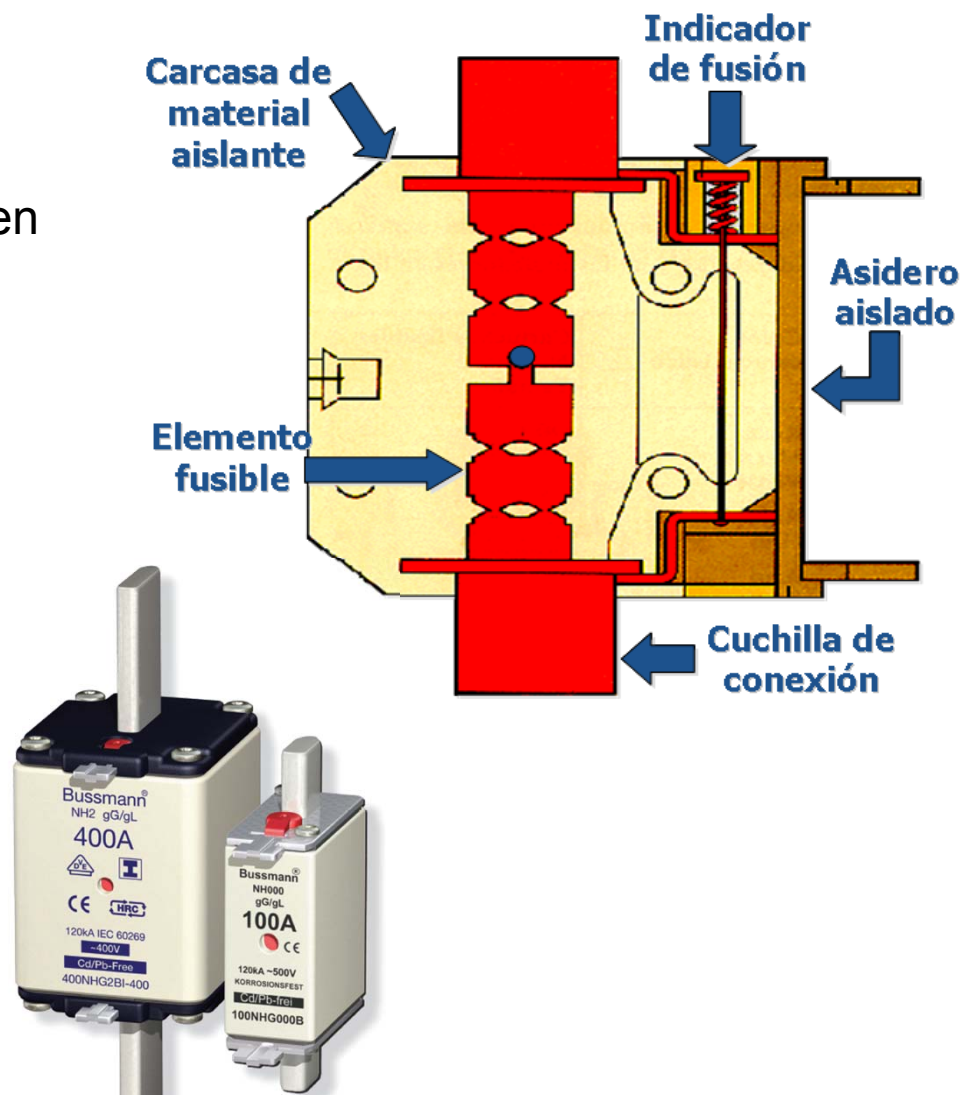
- Los principales fusibles utilizados en el continente europeo y en muchos otros países donde se utiliza aparamenta europea, son básicamente tres:
 - ◆ **Fusibles de cuchillas (tipo “NH”)**
 - Utilizados por personal autorizado principalmente en aplicaciones industriales
 - Para su manipulación es necesaria la utilización de una empuñadura específica
 - ◆ **Fusibles cilíndricos (tipo “B”)**
 - Utilizados tanto en aplicaciones industriales como domésticas
 - ◆ **Fusibles de botella (tipo “D”)**
 - Utilizado principalmente en aplicaciones que no requieran personal cualificado
 - Existen fusible de tamaño más pequeño con la denominación “DO”



8.1 Fusibles de BT

Partes:

- ◆ Elemento fusible confinado en un elemento de reemplazo.
- ◆ Base portafusible montada sobre un zócalo.



8.1 Fusibles de BT

Según las características de funcionamiento o curvas de fusión se clasifican:

- **1ª letra:** indica el margen de corte.
- **2ª letra:** indica la categoría de utilización.

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 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^2I_n) y su poder de corte asignado. Cortan solo Intensidades de cortocircuito
2ª letra	G	Cartuchos fusibles para uso general
	M	Cartuchos fusibles para protección de motores
	Tr	Cartuchos fusibles para protección de transformadores
	B	Cartuchos fusibles para protección de líneas de gran longitud
	R	Cartuchos fusibles para protección de semiconductores
	D	Cartuchos fusibles con tiempo de actuación retardado

Las aplicaciones típicas son:

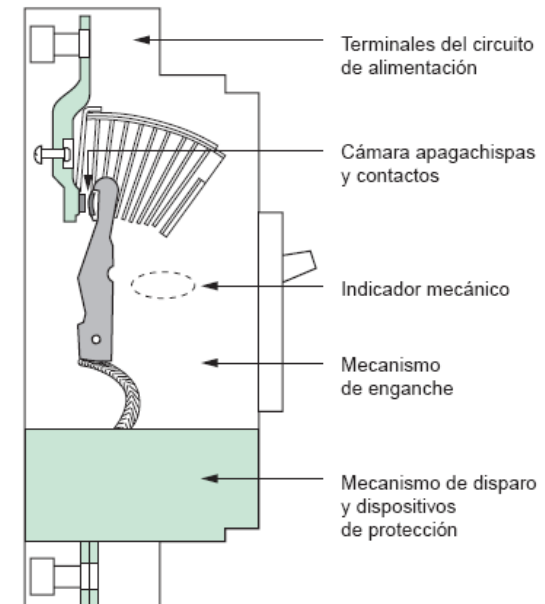
- Para la protección de líneas → fusibles tipo gG.
- Para la protección de motores → fusibles tipo aM

8.2 Interruptor automático

- Un interruptor automático es aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones anormales del circuito.
- Se utilizan para la protección contra sobrintensidades (sobrecargas + cortocircuitos).

Componentes principales:

- Los componentes de corte: los contactos fijos y móviles y la cámara apagachispas.
- El mecanismo de enganche que el dispositivo de disparo abre al detectar condiciones de corriente anormales. Este mecanismo también está conectado a la maneta de activación del interruptor automático.
- Un dispositivo accionador del mecanismo de disparo, que puede ser:
 - ◆ Un dispositivo magnetotérmico en el que una pletina bimetalica accionada térmicamente detecta una condición de sobrecarga, mientras un percutor electromagnético entra en funcionamiento a niveles de corriente que se alcanzan en condiciones de cortocircuito.
 - ◆ Un relé electrónico accionado desde los transformadores de corriente de cada fase.
- Un espacio asignado a los diversos tipos de bornes para los conductores principales del circuito de alimentación.



8.2 Interruptor automático

Clasificación

- **Modulares (PIAs):** aplicaciones de poca potencia. Disparo magnetotérmico
- **Caja moldeada:** aplicaciones industriales. Disparo electrónico. Se clasifican según IEC 947-2:
- **Bastidor abierto:** aplicaciones industriales. Mayores intensidades nominales. Disparo electrónico.

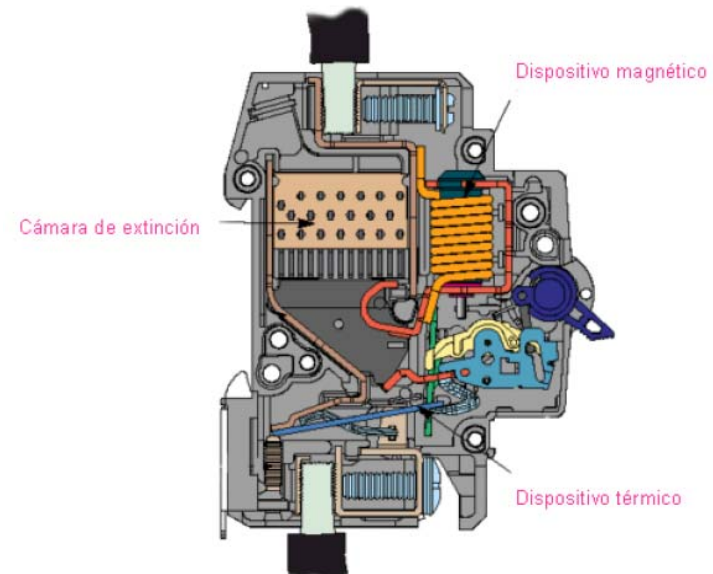
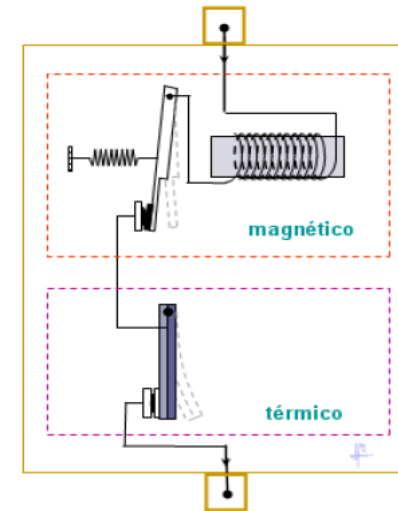
Normativa

- | | | |
|----------------|-----------|-----------|
| • Domiciliario | EN 60.898 | IEC 60898 |
| • Industrial | EN 60.947 | IEC 60947 |

8.2 Interruptor automático modular (PIA)

Características constructivas

- **Bloque o base:** material cerámico, de resinas o plástico termoendurecido.
- **Elemento térmico bimetal:** protección de sobrecargas.
- **Elemento magnético:** bobina con un núcleo magnético que atrae a una armadura móvil. Protege contra cortocircuitos.
- **Contactos:** deben ser de baja R, elevada T^a de fusión, resistentes a la corrosión, oxidación, percusión y frotamiento. Lo que hace sean de metales preciosos: oro, platino, plata tungsteno...
- **Número de polos:** 1, 2, 3 ó 4.
- **Cámara apagachispas:** recinto donde se extingue (alarga y enfría) el arco, de materiales metálicos y/o cerámico. Determina el poder de corte.

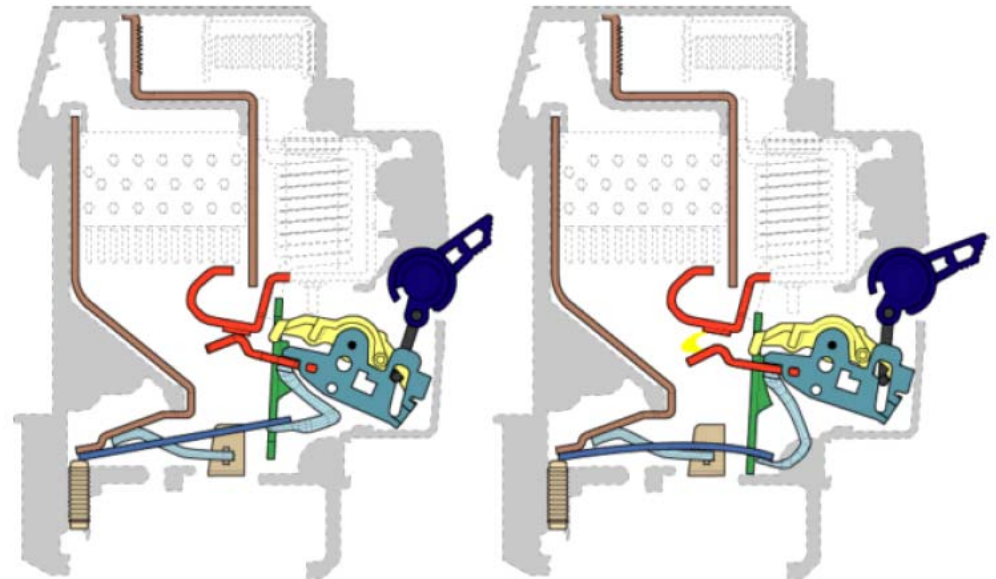


8.2 Interruptor automático modular (PIA)

Elemento térmico

- La corriente de la instalación circula por la bobina de calentamiento.
- Si la corriente sufre un incremento debido a una sobrecarga, las tiras bimetálicas se calientan proporcionalmente a ella.
- Las tiras bimetálicas al calentarse se deforman produciendo el desplazamiento de la corredera que abre los contactos.
- El posicionamiento inicial de la palanca de disparo determina la corriente necesaria para la apertura.
- La temperatura ambiente no afecta, porque la palanca de disparo también es bimetálica y se deforma con la temperatura exterior.

El **elemento térmico** reacciona ante las **sobrecargas** que la red y los receptores pueden admitir durante un tiempo sin resultar perjudicados.

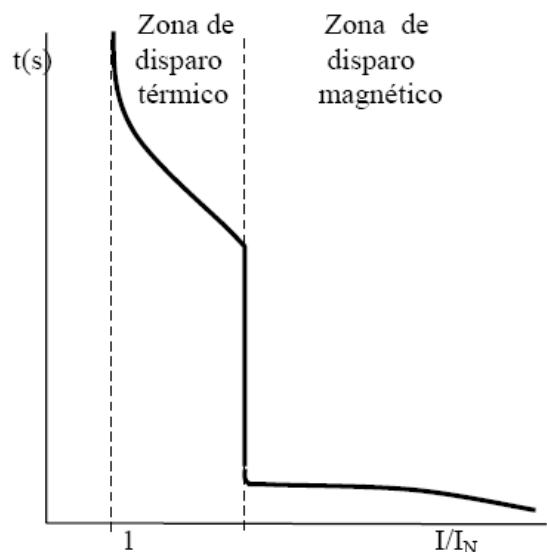


El tiempo de reacción de un termoelemento (bimetal) es inversamente proporcional a la intensidad de la corriente.

8.2 Interruptor automático modular (PIA)

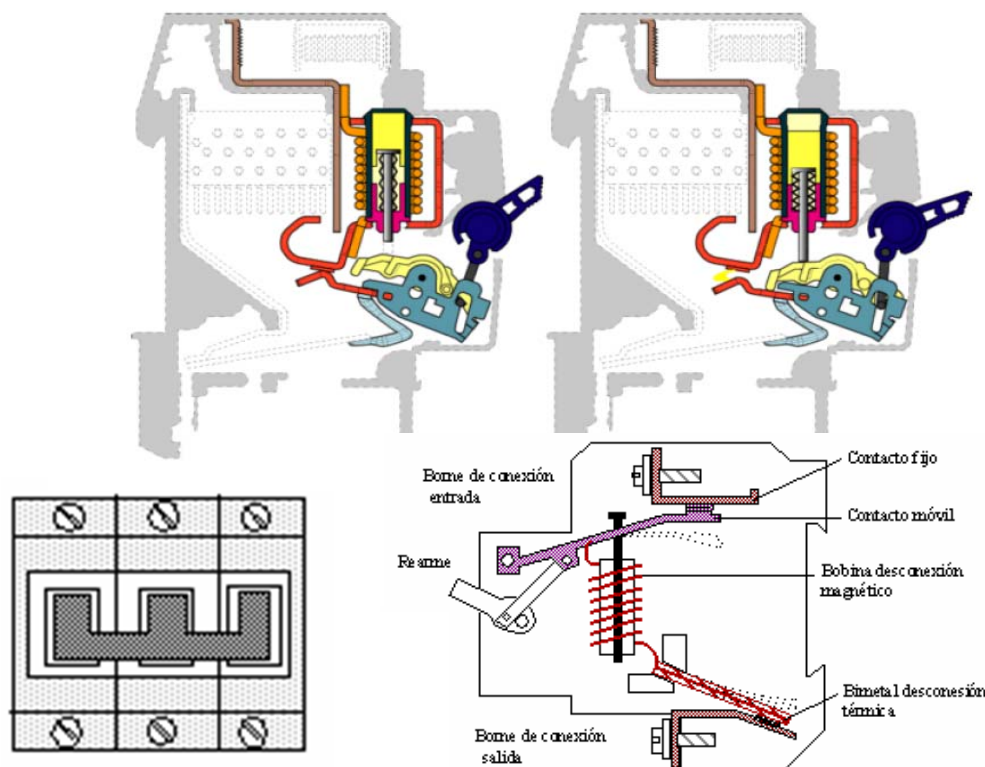
Elemento magnético

- Está constituido por una bobina magnética que 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.



Curva de disparo de un interruptor magnetotérmico.

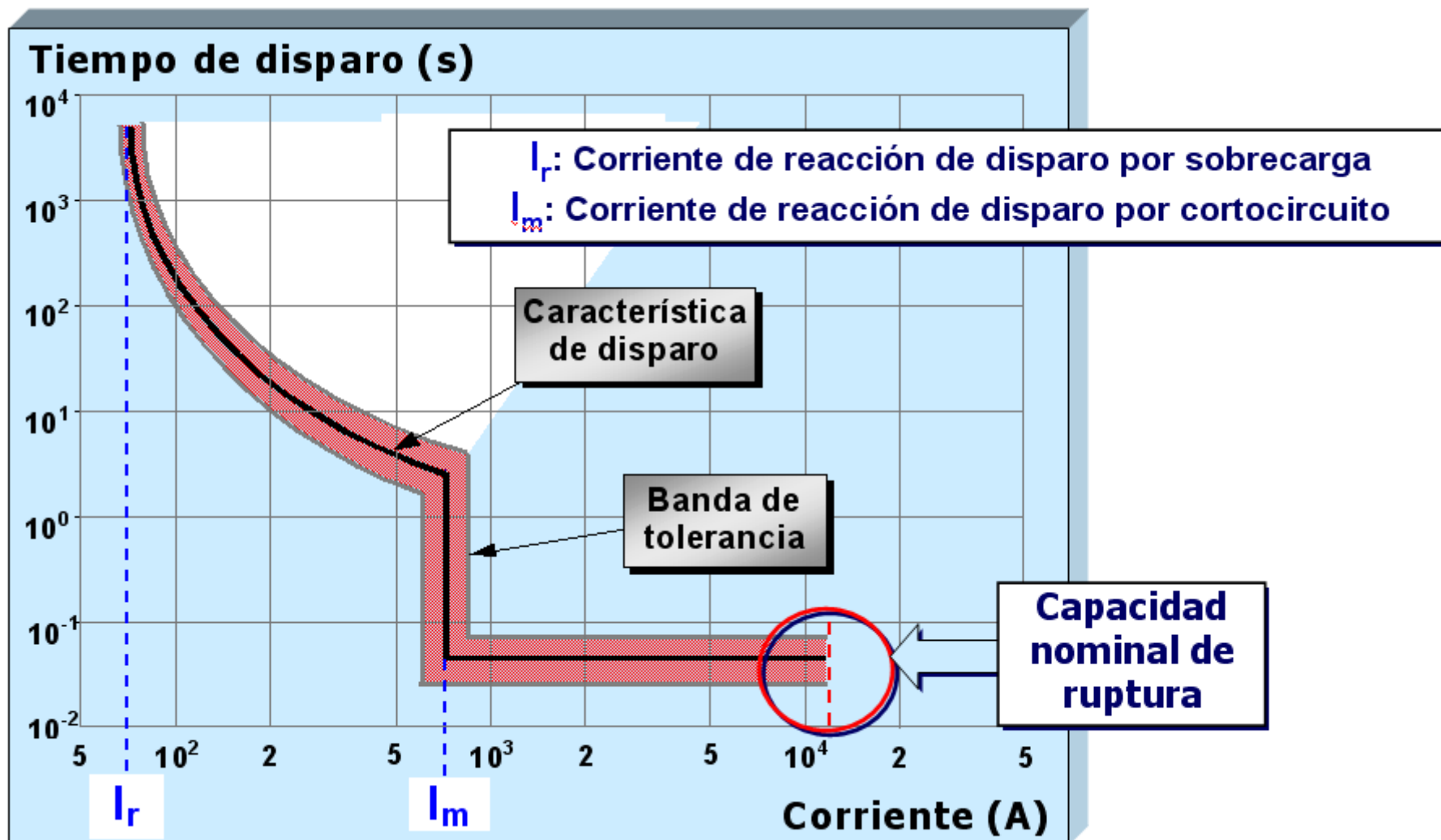
El **elemento magnético** reacciona ante las sobreintensidades provocadas por los **cortocircuitos**, cortándolas en un tiempo lo suficientemente reducido como para que no perjudiquen a las fuentes, ni al circuito, ni a los receptores.



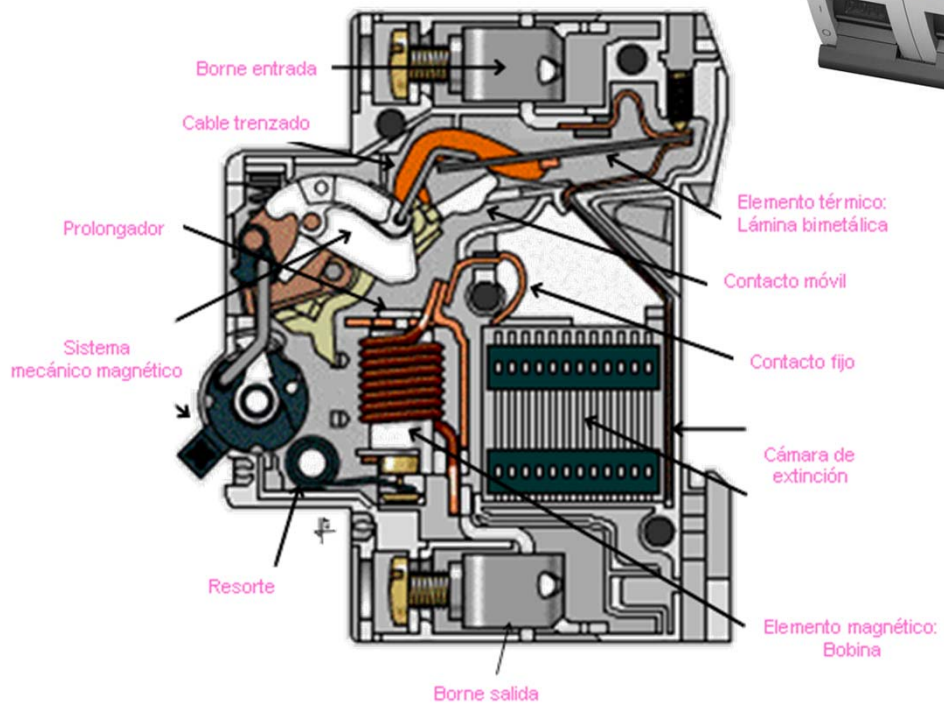
Si la corriente aumenta por encima de un determinado valor, algo habitual en el caso del cortocircuito, actúa el disparo magnético, que es más rápido.

8.2 Interruptor automático modular (PIA)

Características de disparo



8.2 Interruptor automático modular (PIA)



8.2 Interruptor automático de caja moldeada

Diagrama de corte rotoactivo: Este diagrama muestra el mecanismo interno de un interruptor automático. Se observan los contactos fijos y móviles, los arcos de corte, el bloque de corte y las cámaras de corte. El texto indica: "Corte rotoactivo" y "Repulsión de los contactos".

Diagrama de componentes: Muestra un interruptor automático con sus terminales, tarjeta de identificación, cámara de arco, contactos móviles, palanca de maniobra y relé electrónico con microprocesador.

Gráfico de características: El eje vertical representa el tiempo t (s) y el eje horizontal representa la corriente I (A). El gráfico muestra tres zonas de operación:

- Zona de operación de largo tiempo de retardo:** Corresponde a corrientes superiores a I_r .
- Zona de operación de corto tiempo de retardo:** Corresponde a corrientes entre I_m y I_r .
- Zona de operación instantánea:** Corresponde a corrientes superiores a I .

El punto PdC indica el nivel de corriente nominal.

8.2 Interruptor automático de bastidor abierto



8.2 Interruptor automático

Filiación (protección de acompañamiento)

- 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.
- Filiación es la utilización del poder de limitación de intensidad de los interruptores automáticos, que permite instalar aguas abajo automáticos de menor poder de corte que el necesario en su punto de instalación.
- El interruptor limitador o fusible “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 superior o igual a la corriente de cortocircuito asumida en ese punto de la instalación.
- Para realizar una buena protección de acompañamiento hay que aplicar tablas de filiación los fabricantes (también para combinaciones fusible + interruptor automático).

8.3 Interruptor diferencial

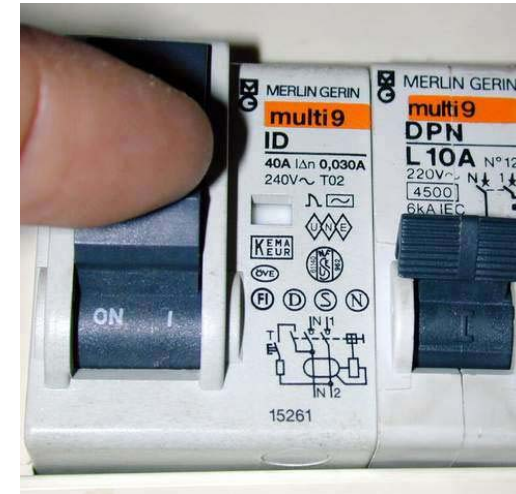
Función

Medio eficaz para asegurar la protección de personas contra los riesgos de la corriente eléctrica, en baja tensión, como consecuencia de un contacto indirecto o directo.

En las instalaciones eléctricas los contactos directos e indirectos están siempre asociados a una corriente de defecto que no regresa a la fuente de alimentación por los conductores activos, debido a que en algún punto de uno de dichos conductores activos ha habido alguna corriente de fuga a tierra.

Dichos contactos representan un peligro para las personas, y la presencia de dichas corrientes supone también en algunos casos un riesgo de deterioro o destrucción para los receptores o las instalaciones.

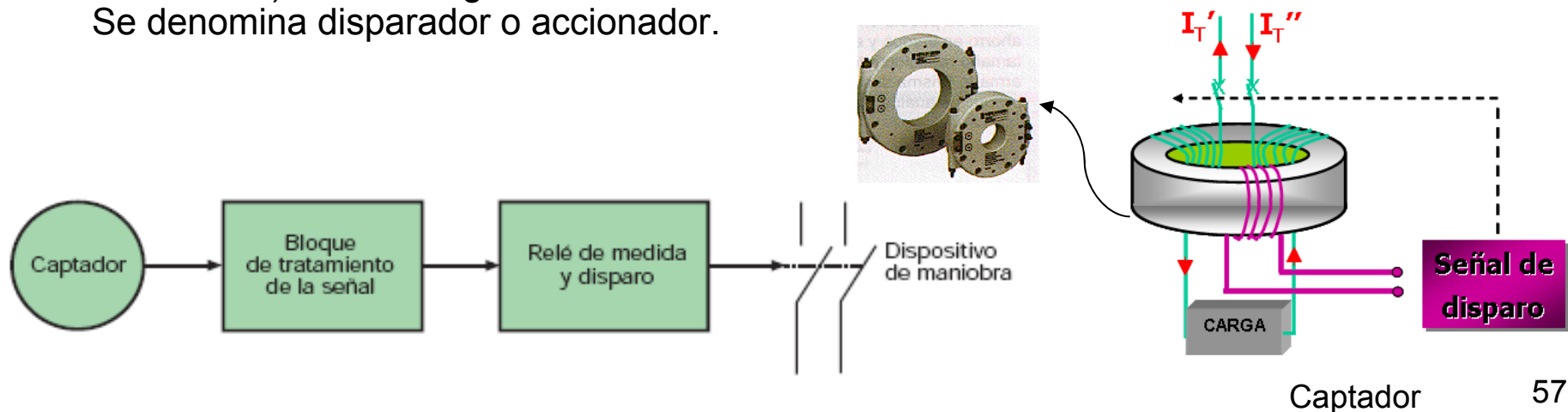
El objetivo fundamental de los **Dispositivos Diferenciales Residuales (DDR)**, será detectar las corrientes de defecto de fuga a tierra anteriores, también denominadas **corrientes diferenciales residuales**, y actuar interrumpiendo el circuito eléctrico en caso de que dichas corrientes supongan algún peligro para las personas y la instalación.



8.3 Interruptor diferencial

Elementos

- **Captador (transformador toroidal):** suministra una señal eléctrica útil en el momento que la suma vectorial de las corrientes que circulan por los conductores activos es diferente de cero.
- **Bloque de tratamiento de la señal:** la señal eléctrica leída por el captador debe ser siempre tratada electrónicamente, en mayor o menor grado, para lograr el correcto funcionamiento del relé de medida y disparo, evitando al mismo tiempo funcionamientos o disparos no deseados del dispositivo diferencial. La señal tratada se envía al relé de medida y disparo.
- **Relé de medida y disparo:** compara la señal eléctrica suministrada por el captador y una vez tratada, con un valor de referencia y da, con un posible retardo intencionado, la orden de apertura al aparato de corte asociado o dispositivo de maniobra.
- **Dispositivo de maniobra** de apertura del aparato (interruptor o interruptor automático), situado aguas arriba del circuito eléctrico controlado por el diferencial. Se denomina disparador o accionador.



8.3 Interruptor diferencial

Principio de funcionamiento

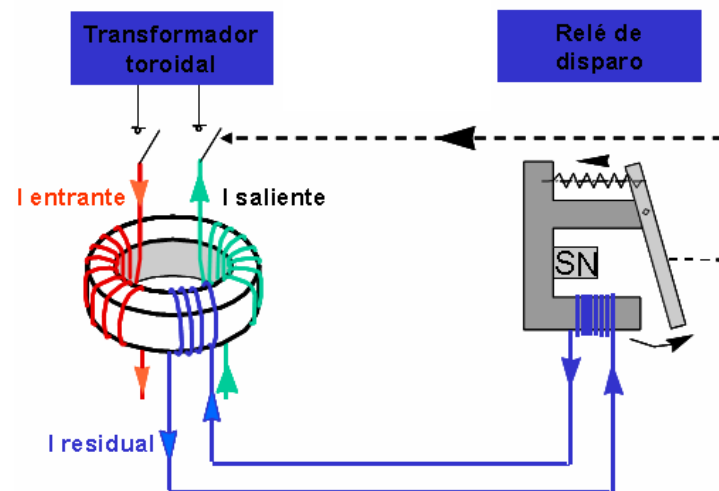
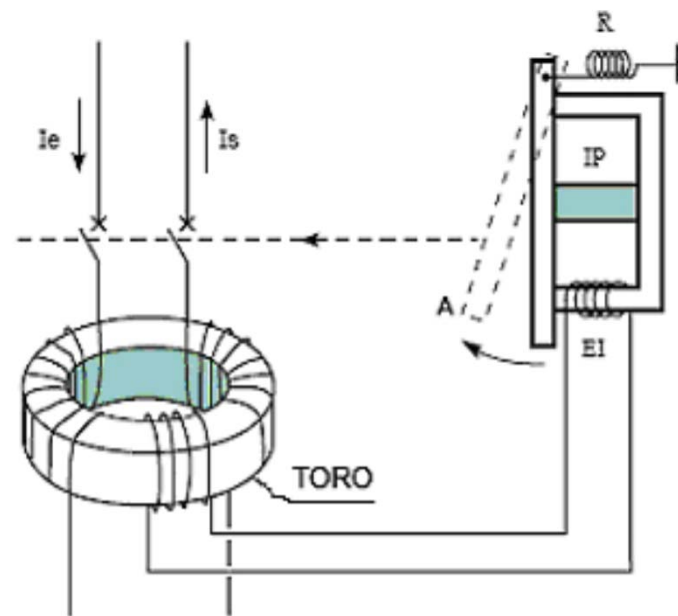
- En un circuito en el cual no hay ninguna fuga la intensidad de entrada y la de salida son iguales

$$I_e = I_s$$

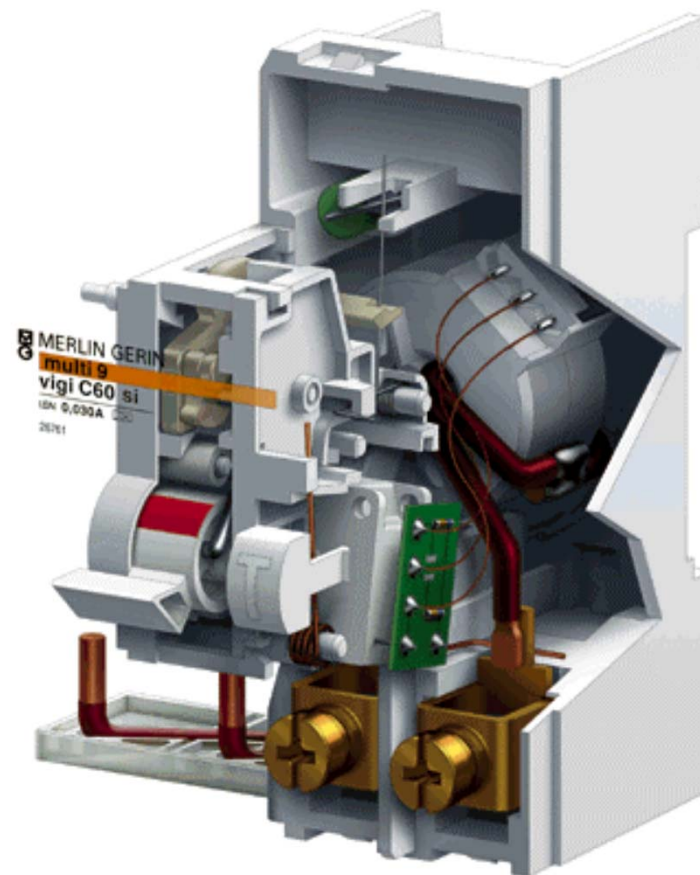
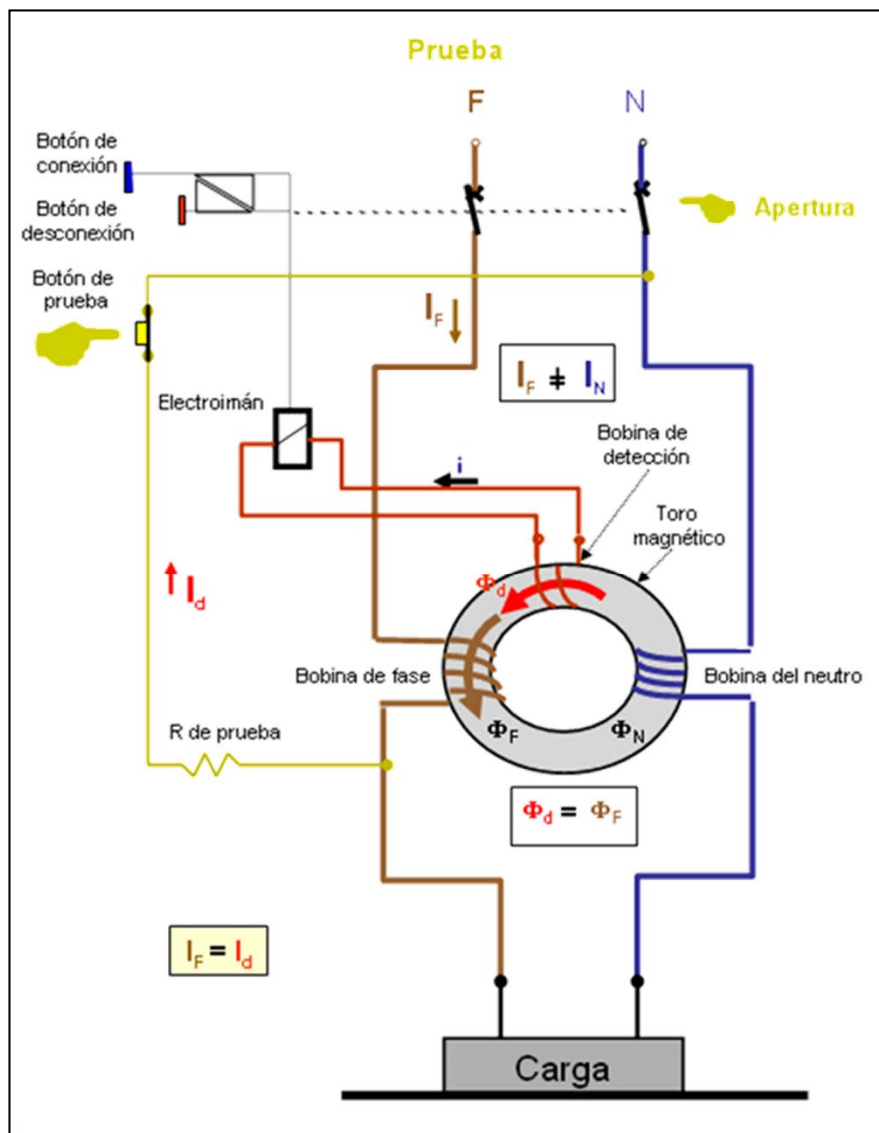
- Si por el contrario hubiese una fuga la intensidad de entrada y de salida ya no serían iguales

$$I_e = I_s + I_{residual}$$

- La pequeña diferencia de intensidades suministra energía a un electroimán (EI) cuya parte móvil (la paleta A) se mantiene “pegada” por la atracción del imán permanente (IP). Cuando se alcanza el umbral de funcionamiento el electroimán anula la fuerza de atracción del imán permanente, la paleta móvil A, ayudada por un resorte R que acelera su rotación, abre entonces el circuito magnético y da la orden mecánica de apertura del interruptor del circuito controlado.



8.3 Interruptor diferencial



El diferencial está generalmente asociado a un aparato de corte (interruptor, interruptor automático), para realizar la apertura automática del circuito con el defecto.

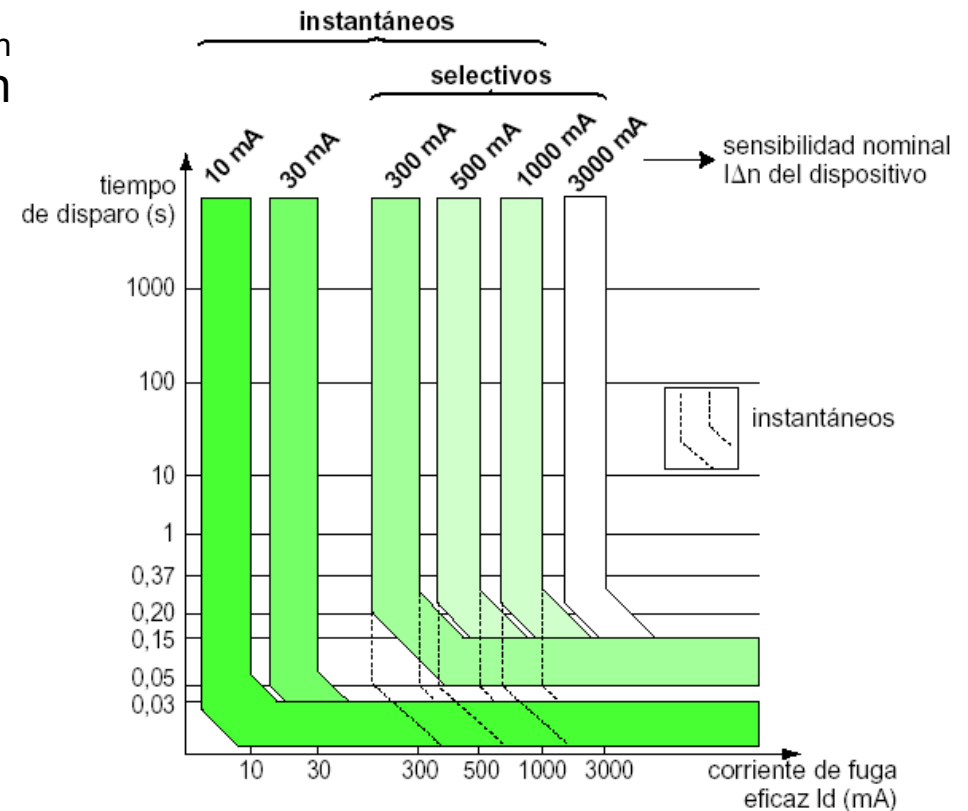
8.3 Interruptor diferencial. Sensibilidad

La sensibilidad se designa por $I_{\Delta n}$ presenta por norma una tolerancia con dos límites:

- ◆ si $I_{\text{defecto}} > I_{\Delta n}$ se produce siempre desconexión.
- ◆ si $I_{\text{defecto}} < 0,5 I_{\Delta n}$ no se produce nunca desconexión.

Clasificación según la sensibilidad:

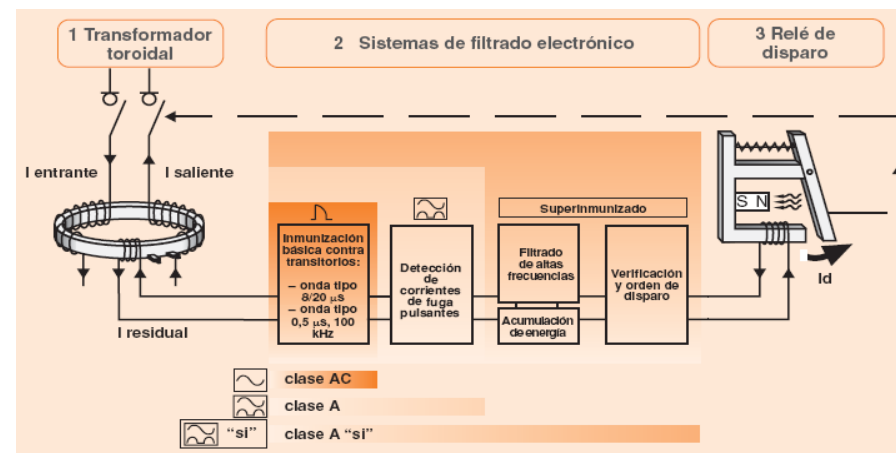
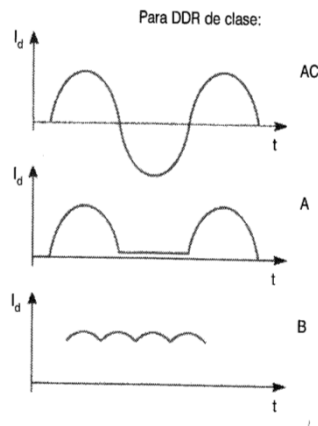
- ◆ Baja sensibilidad: $I_{\Delta n} > 30 \text{ mA}$. No válido para contactos directos.
- ◆ Alta sensibilidad: $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$. Válido para contactos directos. Baños, duchas, piscinas...



8.3 Interruptor diferencial. Clasificación

Los diferenciales se pueden dividir en función del tipo de corriente a detectar en:

- **Clase AC**, para las corrientes alternas senoidales. Son los dispositivos estándar y los más habitualmente utilizados.
- **Clase A**, para las corrientes alternas senoidales, continuas pulsantes, o continuas pulsantes con una componente continua de 6 mA, con o sin control del ángulo de fase, que estén aplicadas bruscamente o que aumenten lentamente. Los clase A estándar se diferencian de los AC en que utilizan un toroidal mejorado, más energético, e incluyen un bloque electrónico de detección de corrientes rectificadas o pulsantes.
- **Clase A Superinmunizados**, se diferencian de los clase A estándar en que poseen un toroidal aún más mejorado y un bloque de filtrado electrónico muy enriquecido.
- **Clase B**, para las mismas corrientes que la clase A, pero además, para las procedentes de rectificadores.



8.3 Interruptor diferencial. Utilización

Utilización

- 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 asignada es ≤ 300 mA.

