



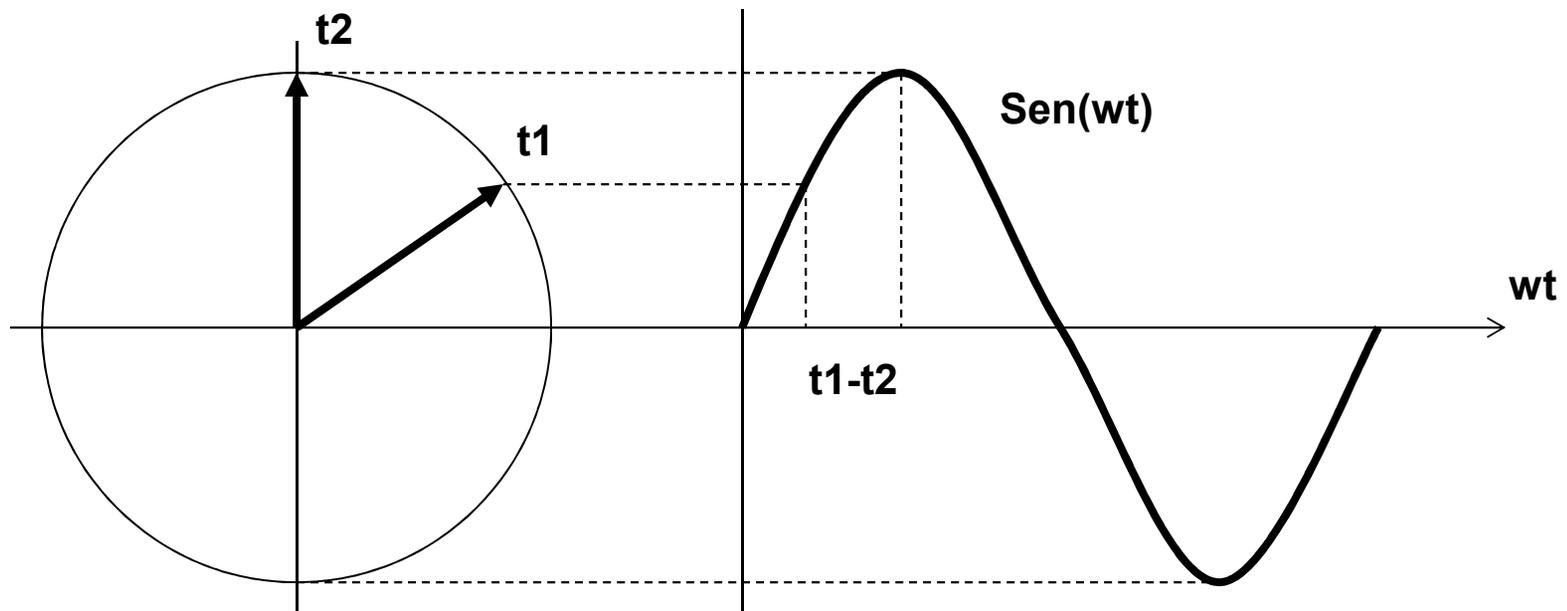
**CONOCIMIENTOS GENERALES**  
**TEORÍA DE PROTECCIONES**



# CONCEPTOS PREVIOS

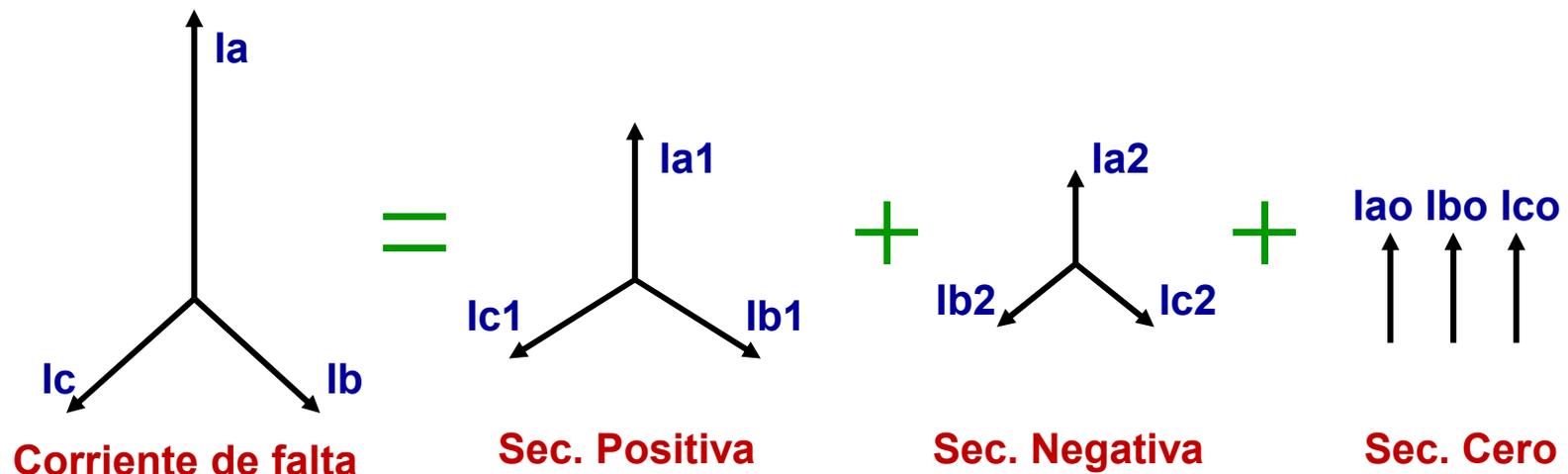
# Fasores

Un fasor es un número complejo usado para representar un sistema lineal de estado estable en alterna, donde el valor absoluto del número complejo corresponde a la amplitud pico o valor “root-mean square” (rms) de la cantidad, y la fase al ángulo de fase para el tiempo cero.



# Componentes Simétricas

- ❖ Las componentes simétricas son el lenguaje del ingeniero de protecciones.
- ❖ Es usual el análisis de componentes de secuencias debido a que las impedancias de secuencias de línea balanceada pueden ser desacopladas.
- ❖ Cualquier sistema trifásico desbalanceado de fasores puede ser descompuesto en 3 sistemas balanceados de fasores.



# Componentes Simétricas

- ❖ Los generadores producen corrientes y tensiones sólo de secuencia positiva.
- ❖  $V_+$  es siempre máxima para el generador y mínima en la falla.
- ❖  $V_-$  y  $V_0$  son siempre máximas para la falla y mínimas para el generador o neutro aterrado.
- ❖ Si cualquier cantidad de secuencia está en una fase, esta debe estar en todas las tres fases. Las cantidades de secuencias siempre existen como juego de tres fasores.

# Sistema por unidad (p.u.)

## VENTAJAS

- Simplifica el análisis del sistema de potencia por la expresión de las cantidades en términos relativos.
- Usual cuando simula condiciones de estado estable y transitorios del sistema de potencia con la computadora.
- La tensión fuente puede asumirse a 1 pu para el cálculo de tensiones y corrientes de falta.
- La impedancia equivalente pu de cualquier transformador es la misma cuando está referida al lado primario o al secundario.

$$\text{Valor p.u.} = \frac{\text{Valor Actual}}{\text{Valor Base}}$$



# TRANSFORMADORES DE MEDIDA

# Transformadores de Medida

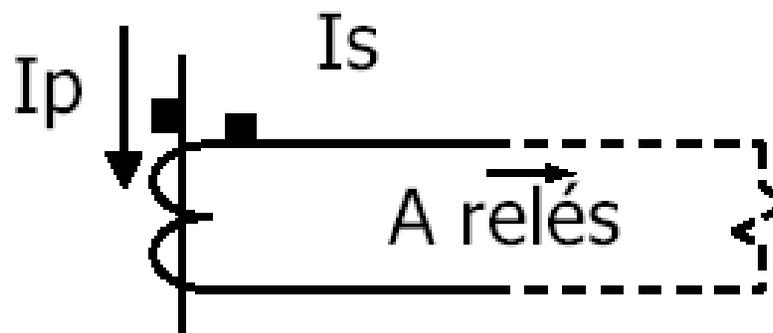
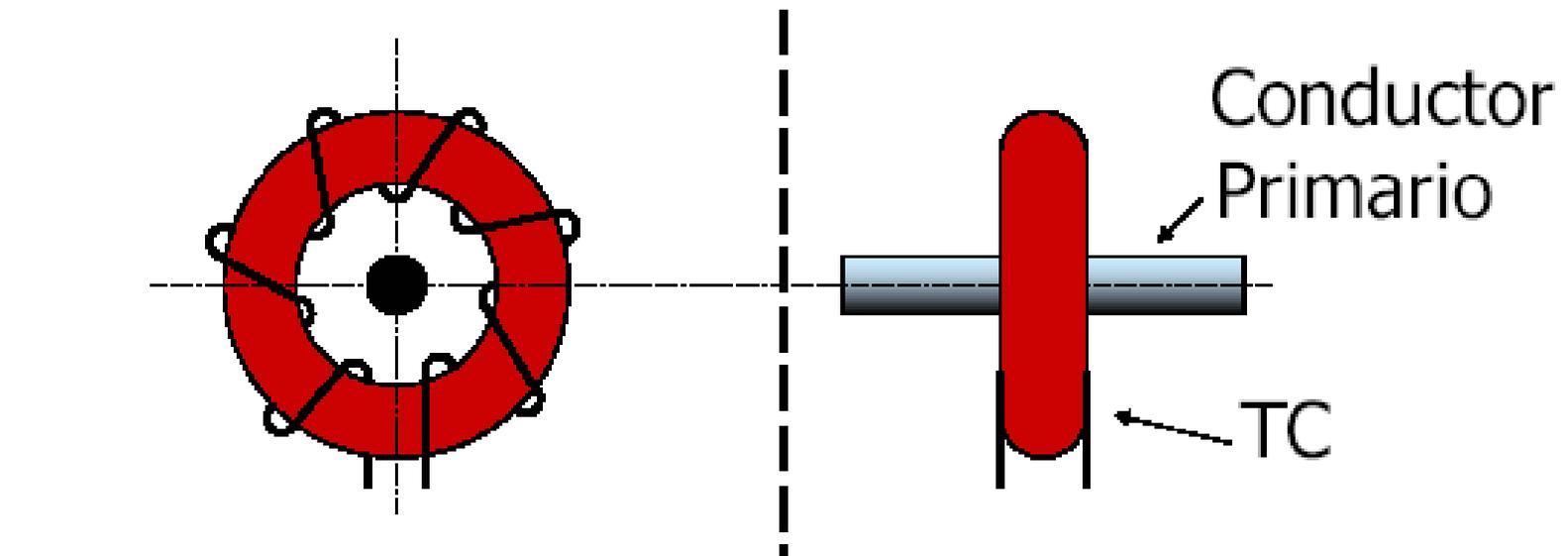
## ❖ Clases:

- Transformadores de Corriente (TC).- Conexión en serie.
- Transformadores de Tensión (TT). Conexión en paralelo o shunt.

## ❖ Objetivos:

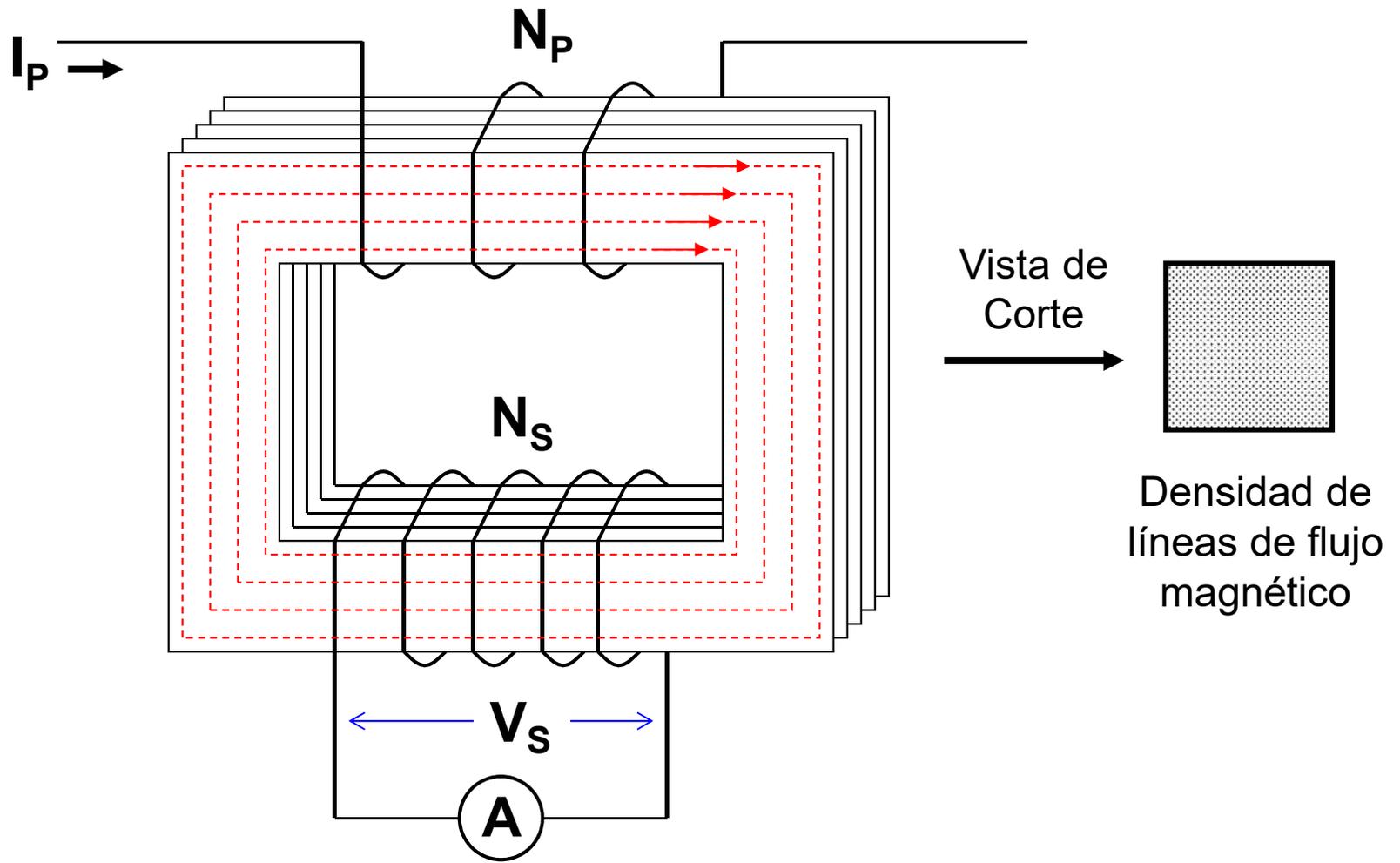
- Reducir a valores no peligrosos y normalizados la intensidad de corriente y la tensión de una red eléctrica
- Evitar conexión directa entre los instrumentos y los circuitos de alta tensión.

# Transf. Tipo Ventana

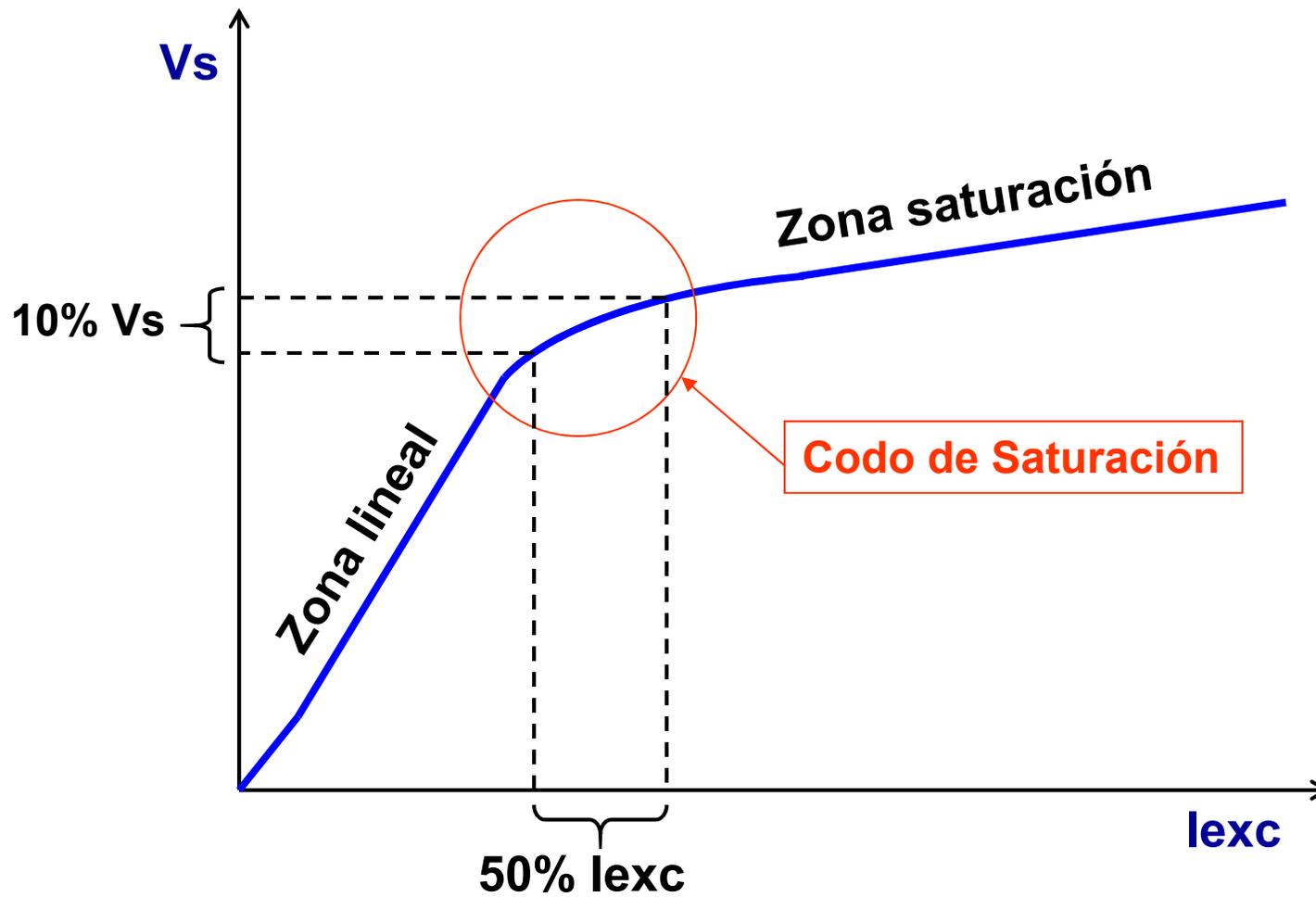


Símbolo para el TC mostrando las marcas de polaridad.

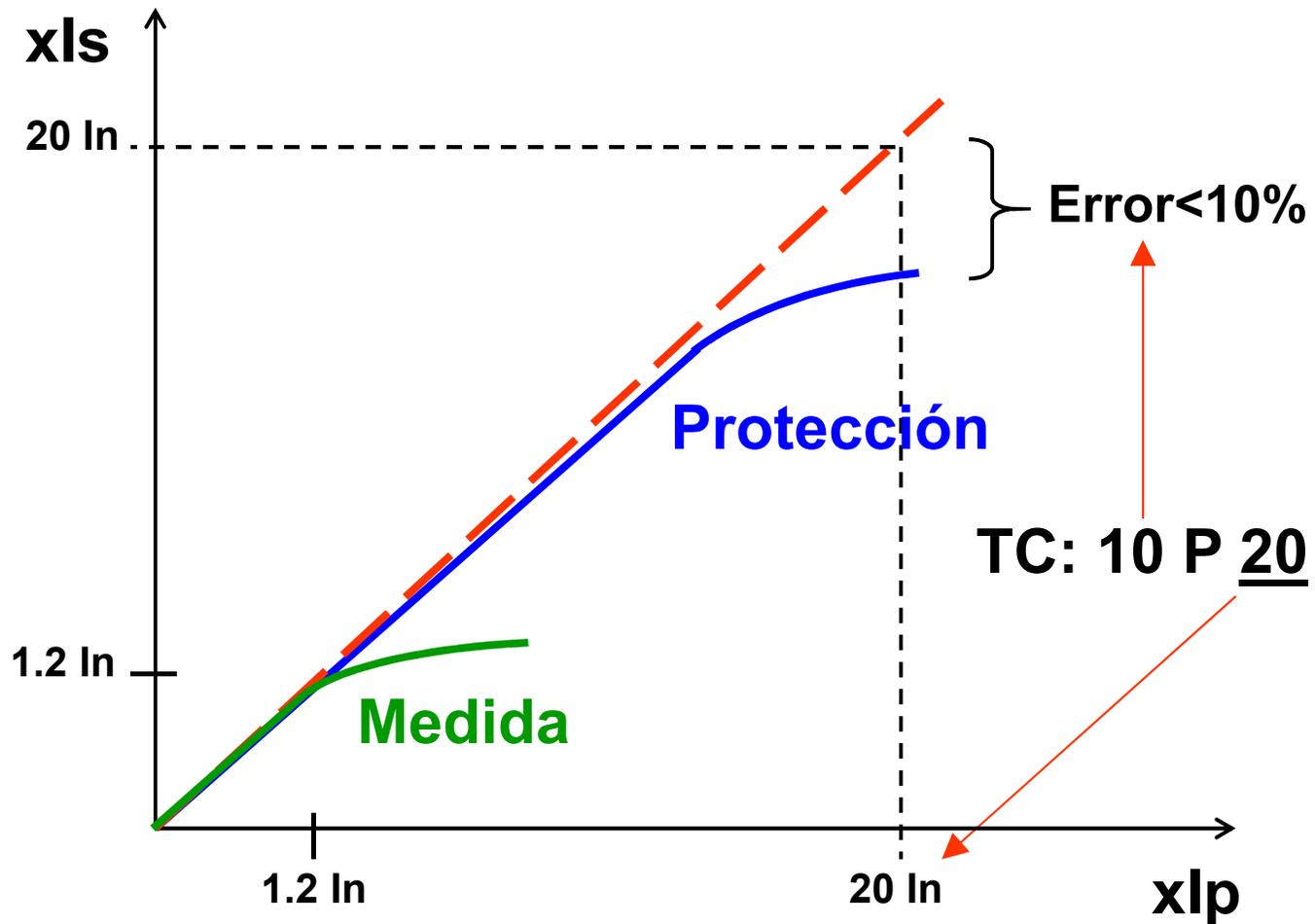
# Flujo Magnético



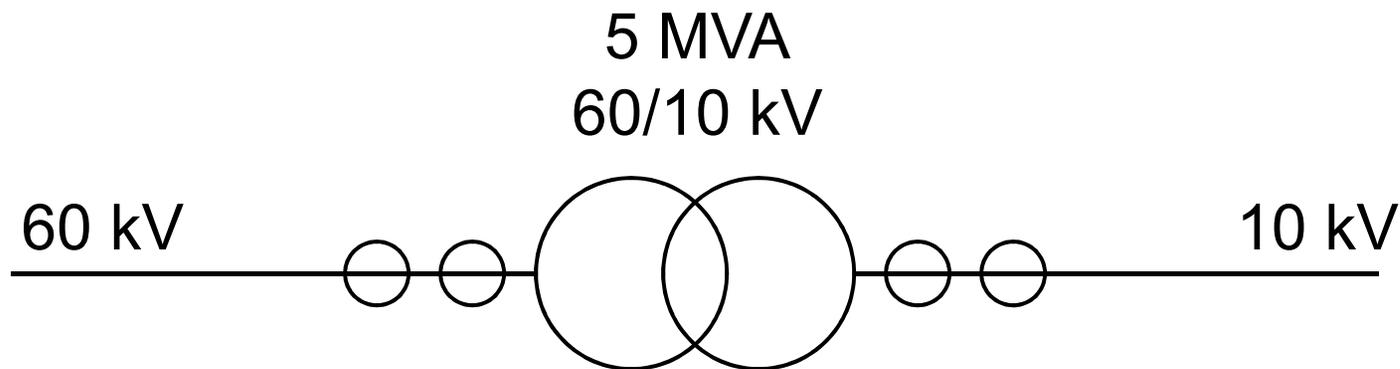
# Curva de Saturación en TCs



# Precisión de la Medida en TCs



# Ejemplo de Selección de TCs



Sabemos que:  $S = 1.73 V I$

De donde:

$$I_{AT} = 5000 / (1.73 \times 60) = 48.11 \rightarrow TC_{AT} = 50/5$$

$$I_{BT} = 5000 / (1.73 \times 10) = 288.7 \rightarrow TC_{BT} = 300/5$$



# RELES DE PROTECCIÓN

# Relés de Protección



- Los Relés o Relevadores, son dispositivos de tipo electromagnéticos, electrónicos o numéricos, que protegen los equipos de una instalación eléctrica de los efectos destructivos de una falla.
- En las actuales protecciones numéricas, además de las múltiples funciones y gran memoria de registro, lo que ha revolucionado son las opciones de comunicación que poseen.

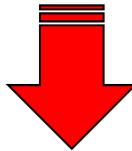
# Relés de Protección

- **Evolución:** en 80 años de historia

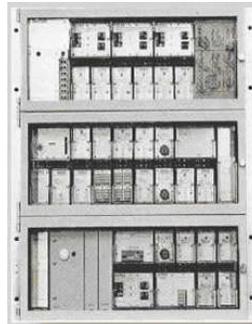
**RELÉS  
ELECTROMECAÑICOS**



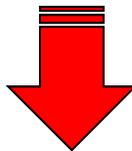
Accionados por la fuerza electromagnética producida por una corriente y/o un voltaje en un elemento móvil. Los ajustes se realizan por medio de diales, tornillos o perillas móviles.



**RELÉS  
ELECTRÓNICOS**



Relé para protección eléctrica basado en tecnología electrónica discreta. Los ajustes se realizan por medio de switches, diales o potenciómetros de movimiento continuo.



**RELÉS  
NUMÉRICOS M.F.**



Basado en tecnología numérica microprocesada. Los ajustes se realizan por medio de puerto de comunicaciones o un IHM en el panel frontal. Igualmente posee funciones de medida, registro de eventos y otras adicionales.

# Relés de Protección

- Que ofrece hoy un relé?

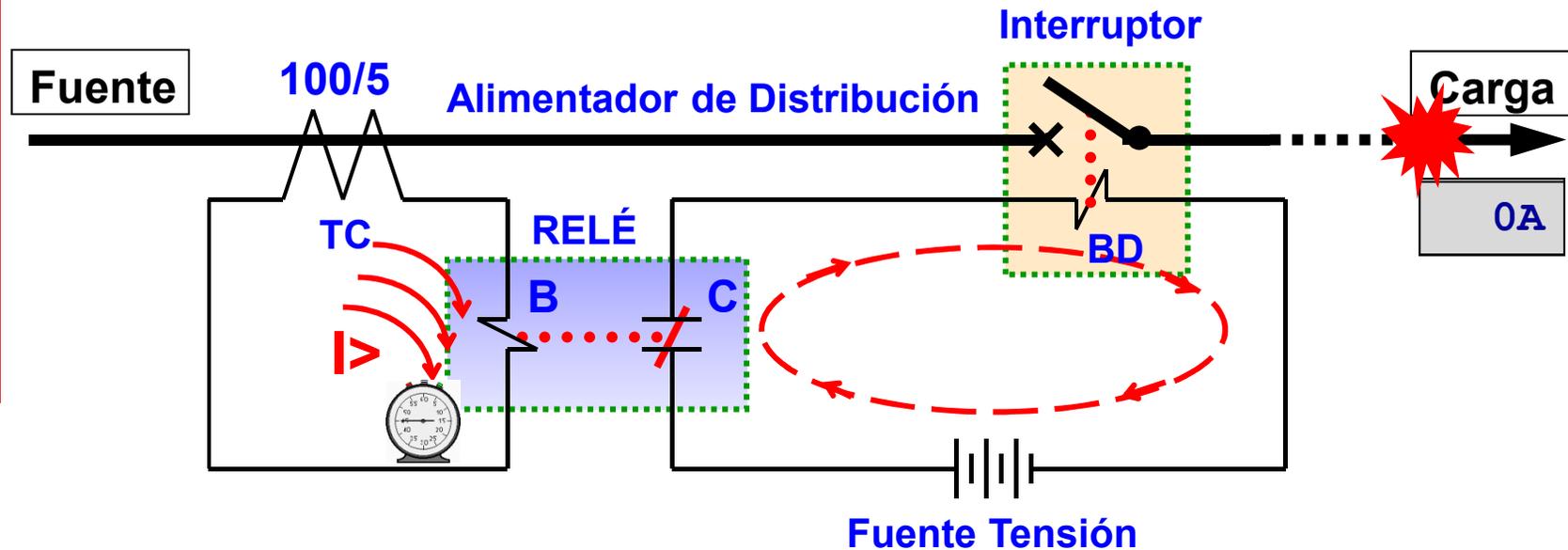
## Relé microprocesado numérico digital



# Funcionamiento del Relé

- ❖ **Sensa** permanentemente las condiciones de la red.
- ❖ Cuando ocurre una condición de falla, **mide** la magnitud de ésta
- ❖ La **compara** con su valor de ajuste.
- ❖ **Actúa** para remover la falla en un lapso de tiempo necesario para prevenir daños a vidas y equipos.
- ❖ Para ello, el relé energiza su bobina de disparo y cierra sus contactos mandando **disparar** los interruptores.

# Funcionamiento del Relé

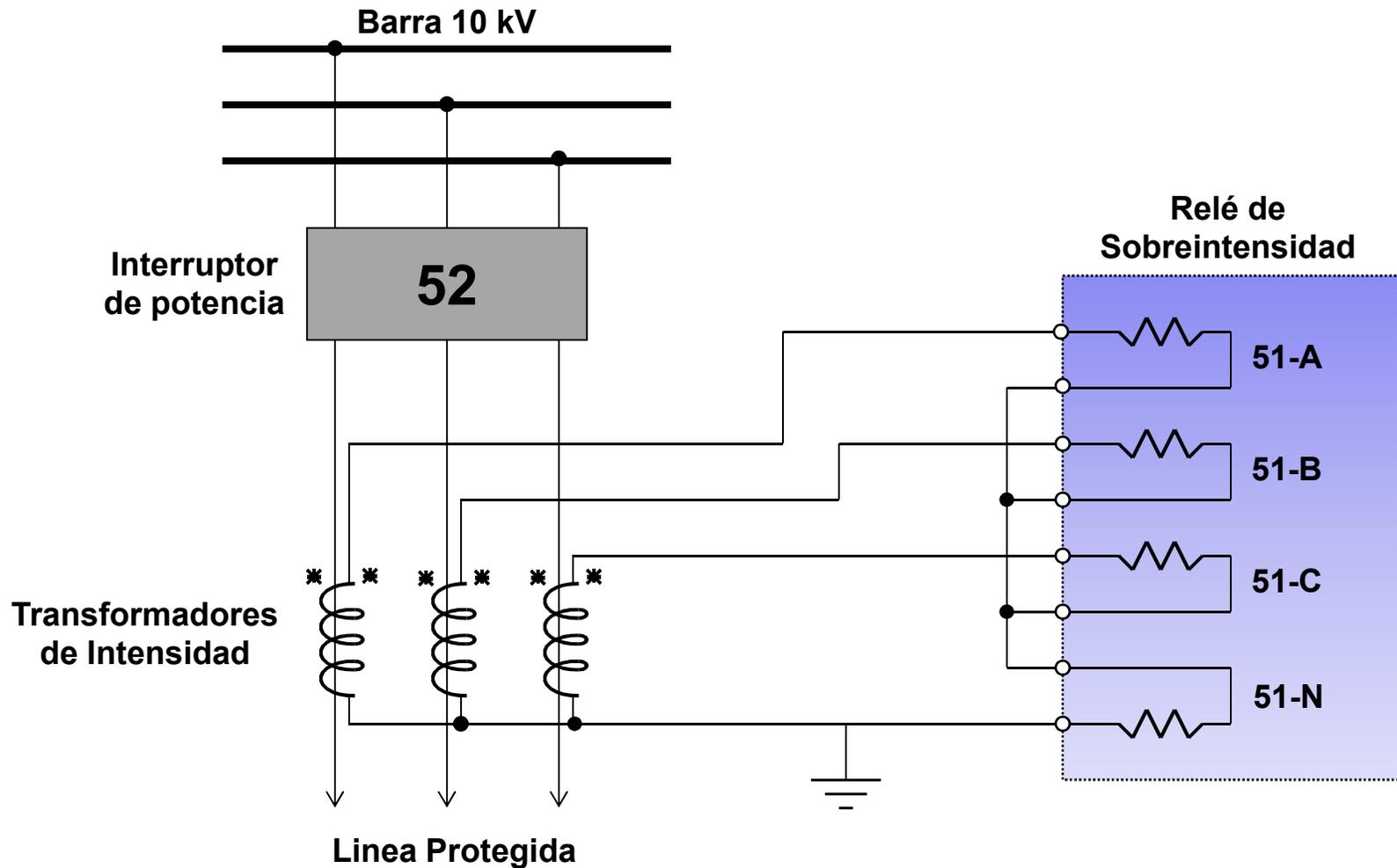


Donde:

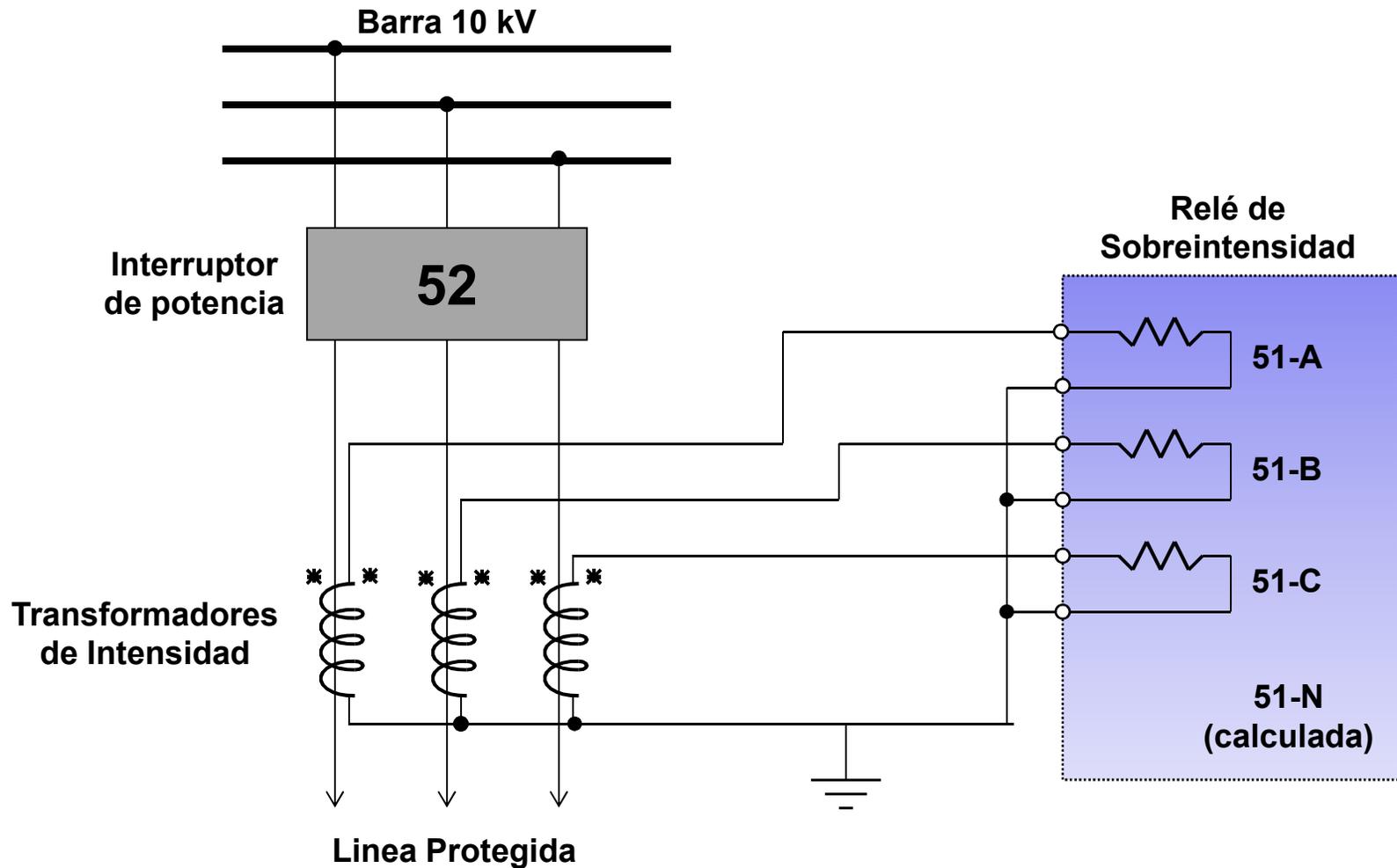
- TC = Transformador de corriente
- B = Bobina de Operación del relé
- C = Contacto de Disparo del relé
- BD = Bobina de disparo del interruptor

Fuente: Libro "Diseño de Subestaciones Eléctricas", José Raull Martín. Animación: Germán Angulo

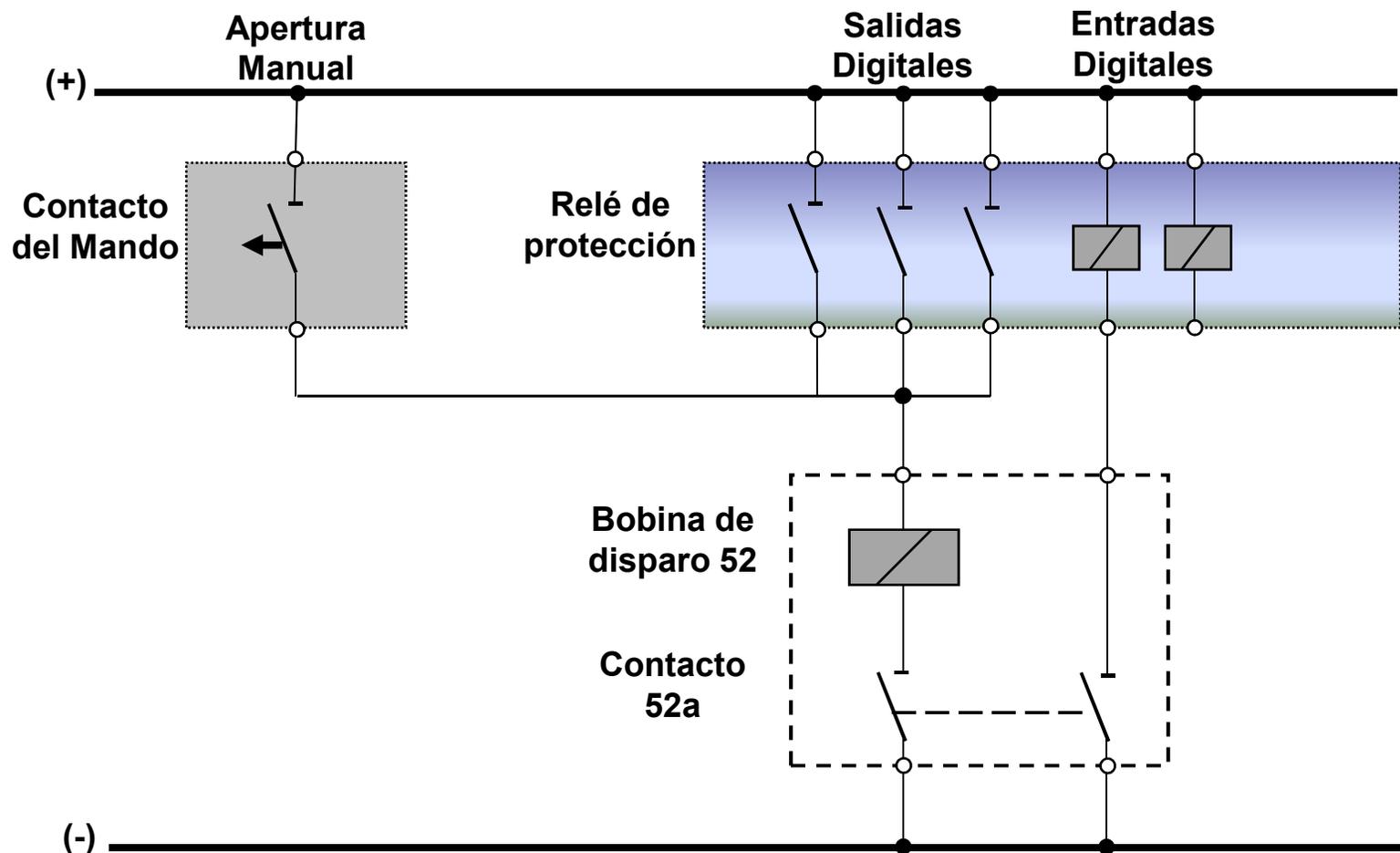
# Diagrama Elemental del Relé (AC)



# Diagrama Elemental del Relé (AC)



# Diagrama Elemental del Relé (DC)



# Objetivos de los Relés

- ❖ Disminución de los daños a los componentes del sistema debido a los efectos térmicos y mecánicos de la corriente de falla
- ❖ Limitación de la extensión y duración de la interrupción del servicio
- ❖ Evitar la pérdida de la estabilidad de la red.
- ❖ Prevención de los daños al personal

# Exigencias de una Protección

- ❖ **Selectividad:** Desconexión de la mínima zona posible alrededor del lugar donde se presenta la falla.
- ❖ **Confiabilidad:**
  - **Confiabilidad:** Despeje seguro de la falla, cuando esta se encuentra dentro de la zona de actuación de la protección.
  - **Seguridad:** No se produzca disparo, cuando la falla se encuentre fuera de la zona de actuación de la protección.
- ❖ **Velocidad:** Debe aislar las fallas en el menor tiempo posible.
- ❖ **Sensibilidad:** Que la protección distinga de manera confiable entre un estado de servicio normal y uno de falla.

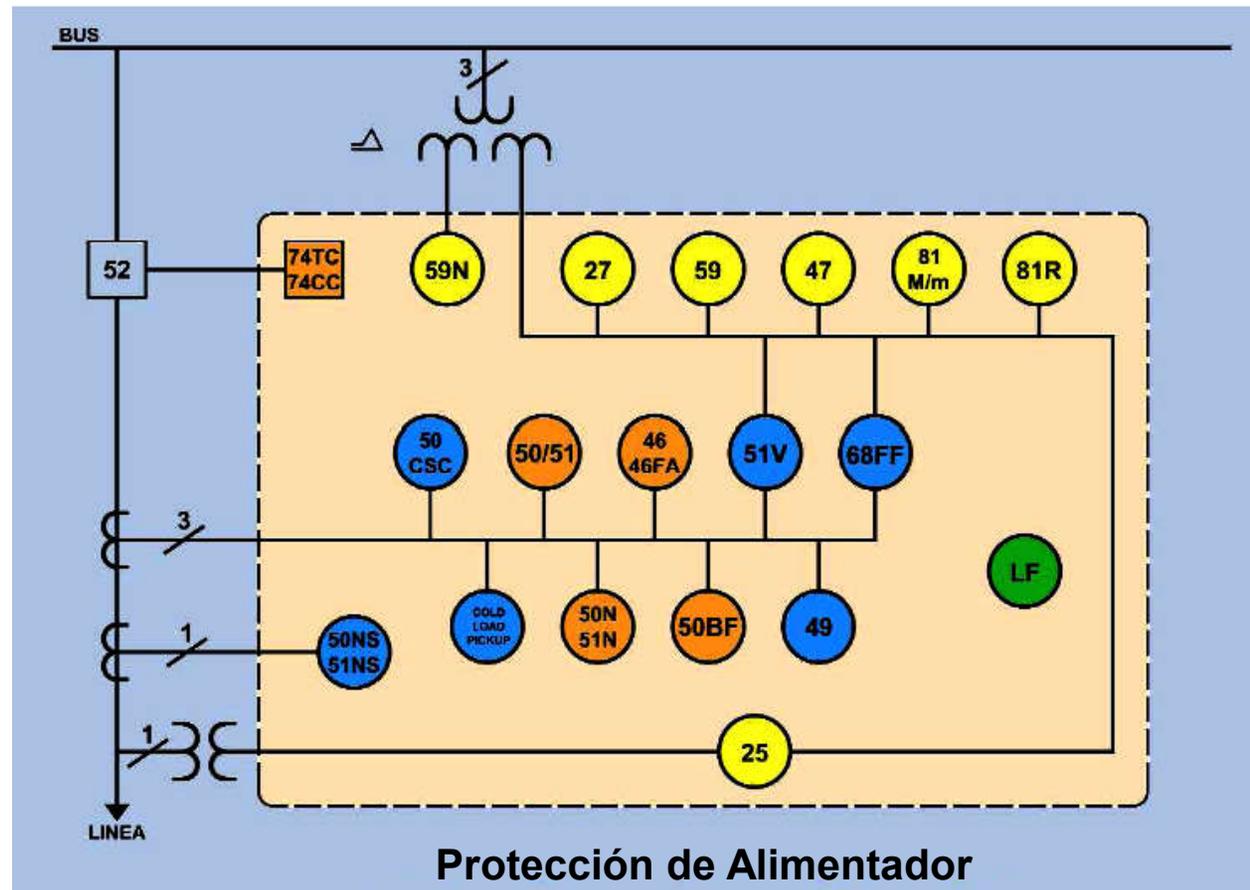
# Criterios para detección de Fallas

- ❖ **Sobre intensidad** (Cortocircuito, sobrecarga).
- ❖ **Diferencias de Corriente** (Cortocircuito).
- ❖ **Sobre tensión, Sub tensión** (Cortocircuito, Estabilidad de tensión).
- ❖ **Dirección del flujo de potencia** (Cortocircuito, Fallas a Tierra).
- ❖ **Asimetrías** (Interrupción de conductores, Cargas desbalanceadas)
- ❖ **Impedancia** (Cortocircuito, Pérdidas de estabilidad).
- ❖ **Frecuencia** (Déficit de potencia activa)
- ❖ **Temperatura** (Sobrecarga)

# Funciones de Protección

- ❖ Sobre intensidad de fases (50/51/67) y neutro (50N/51N/67N), Desequilibrio de Intensidades (46), Fase abierta (46FA).
- ❖ Sobre tensión (59), Sub tensión (27), Sobre tensión homopolar (59N), Desequilibrio de tensiones (47).
- ❖ Frecuencia Máxima (81o, 81M), Frecuencia Mínima (81u, 81m), Derivada de frecuencia (81R,  $df/dt$ ).
- ❖ Distancia (21 / 21N)
- ❖ Diferencial (87)
- ❖ Automatismos: Sincrocheck (25), Recierre (79)
- ❖ Otras: Imagen térmica (49), Fallo de Interruptor (50BF), Fallo fusible (68FF), Supervisión de circuitos (74TC/CC).
- ❖ Etc.

# Funciones de Protección



# Estudio de la Protección

## ❖ Cálculo de Flujo de Carga

### ✓ Estado Normal

- Nivel de cargas, pérdidas y perfil de tensiones.
- Planeamiento de redes, escenarios.
- Verificar el estado estacionario para Estudio de CC y Estabilidad.

### ✓ Estado con Contingencia

- Nivel de cargas y perfil de tensiones.
- Simulación de contingencias y Estrategias para restablecimiento
- Estrategias de Rechazo de carga



# Estudio de la Protección

## ❖ Cálculo de corto circuito

### ✓ Planeamiento de Red

- Nivel de CC de las SE y puntos de carga.
- Elección de la protección adecuada
- Ajuste de las Protecciones.
- Dimensión de la malla de tierra, cables, etc

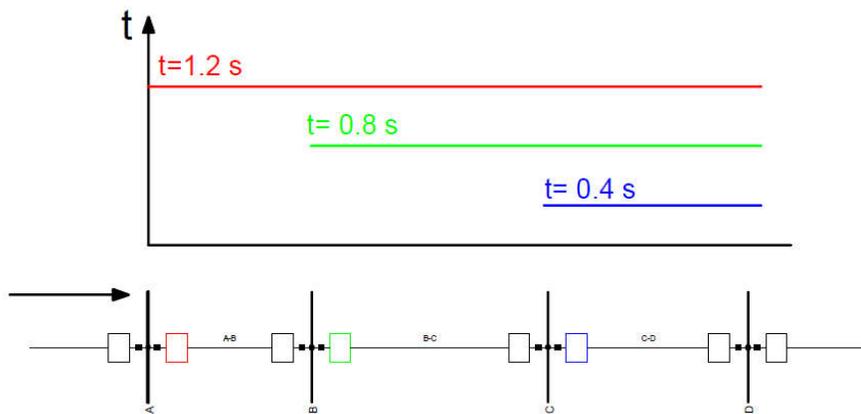
### ✓ Operación de la Red

- Verificar los límites de CC en casos de reconfiguración.
- Clarificación de la operación fallida de las protecciones

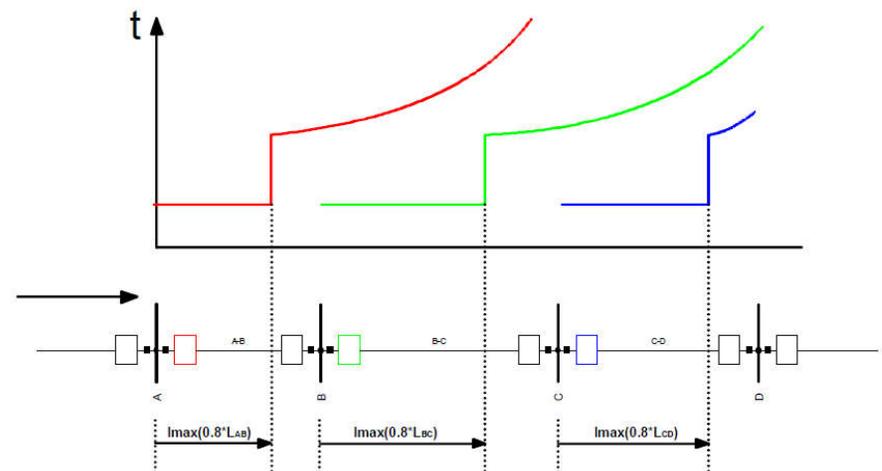
# Coordinación de la Protección

Consiste en conseguir los tiempos mas cortos a las máximas corrientes de falla, verificando la operación satisfactoria a mínimas corrientes de falla y su margen de operación respecto a las características de dispositivos próximos.

## ❖ Criterios mas utilizados:



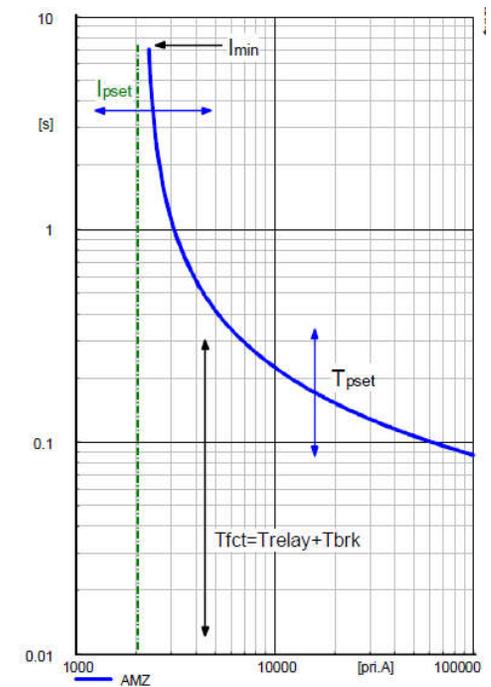
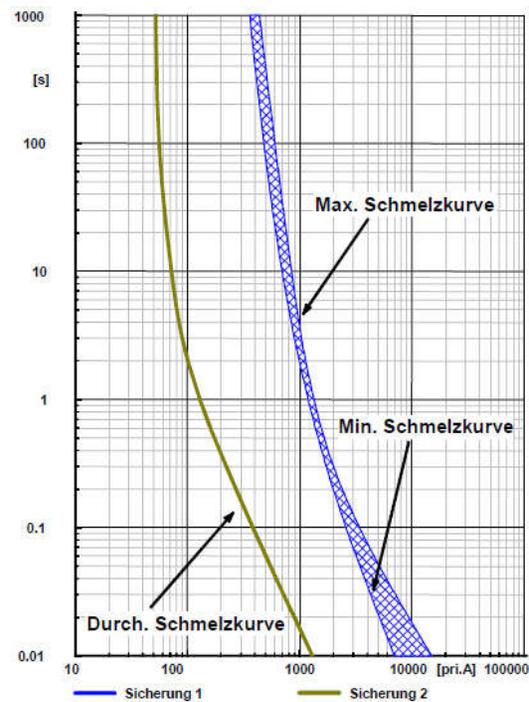
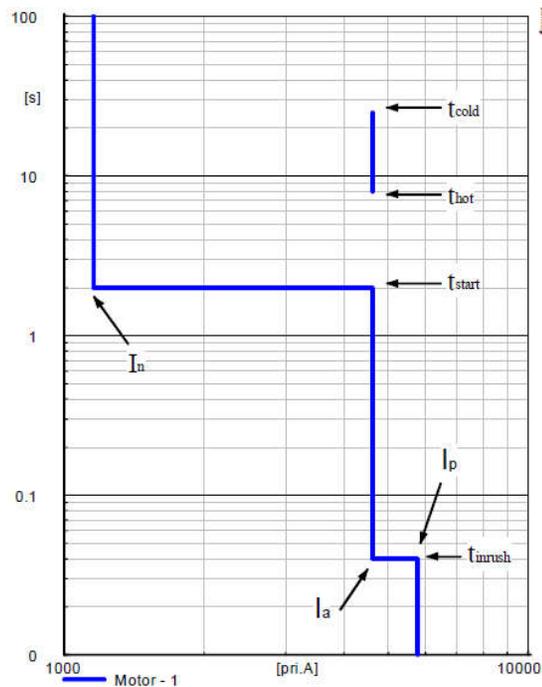
Escalonamiento de Tiempo



Escalonamiento Tiempo - Corriente

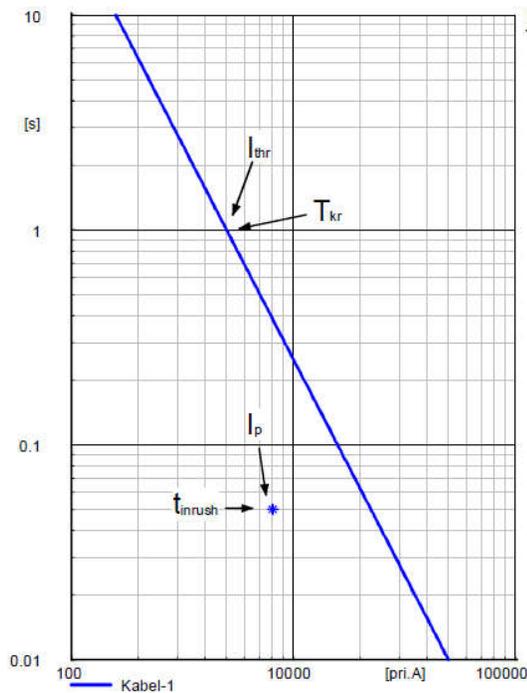
# Coordinación de la Protección

## ❖ Características de Dispositivos típicos:

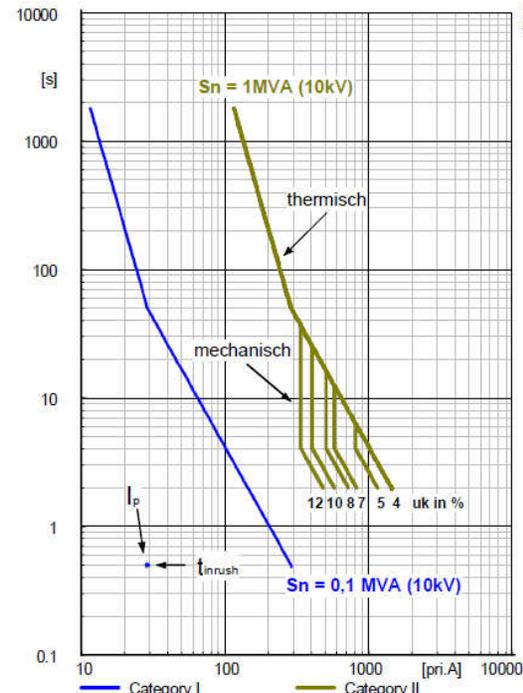


# Coordinación de la Protección

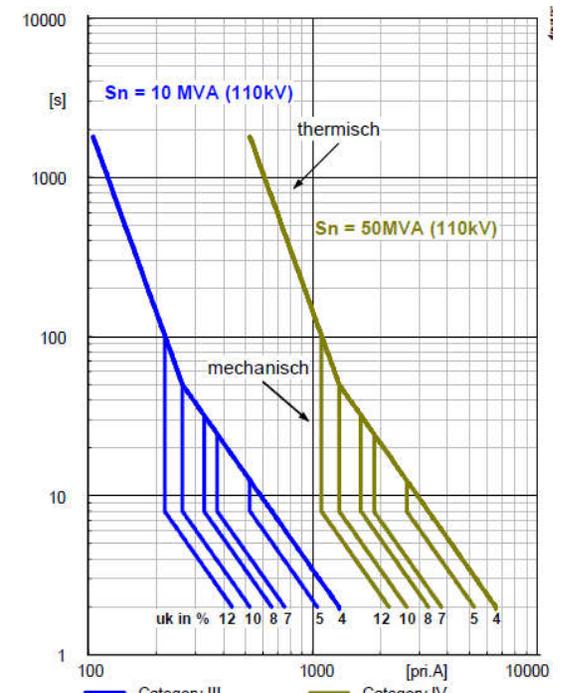
## ❖ Características de Dispositivos típicos:



Curva Térmica de cables

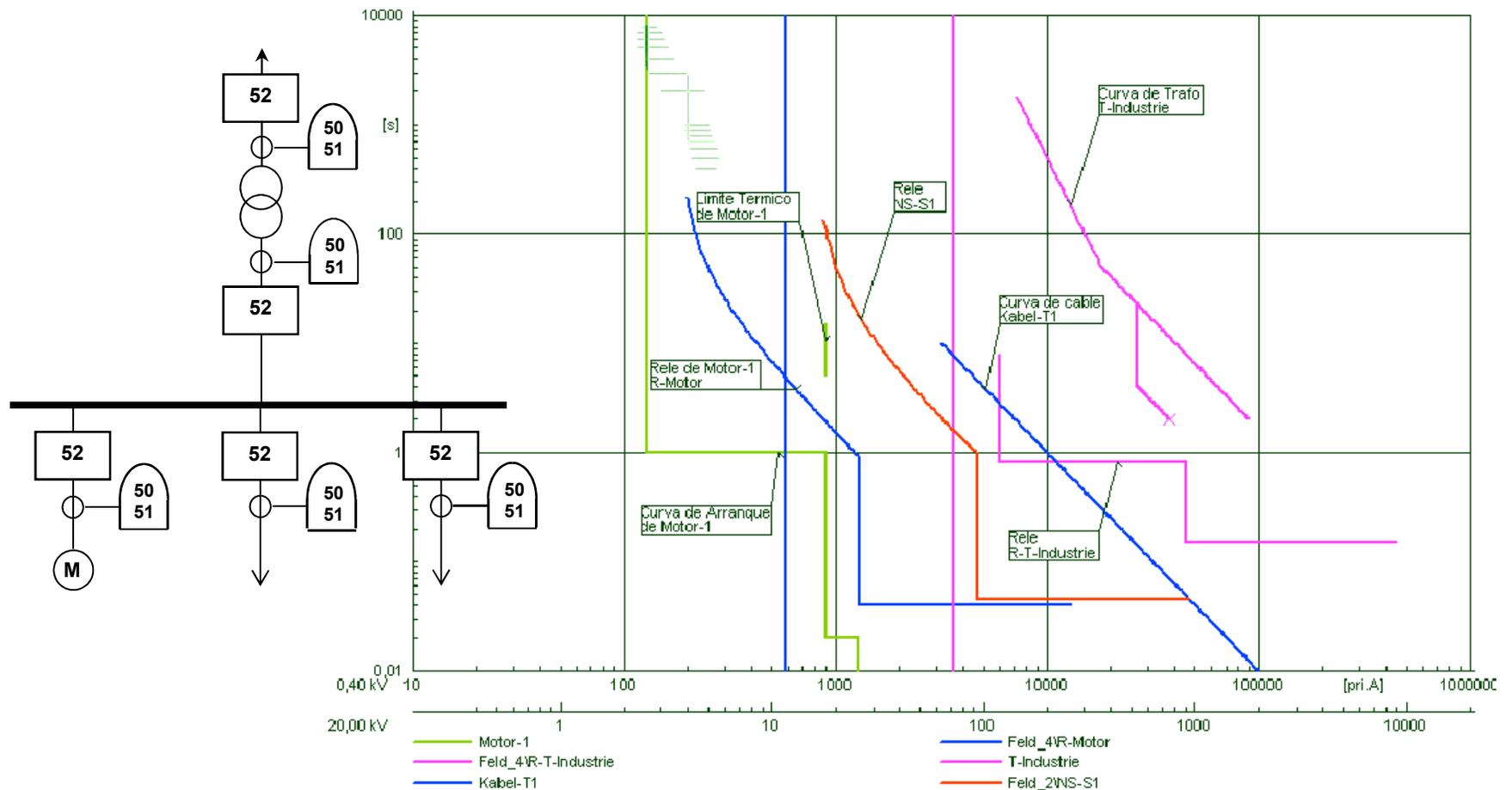


Curva de Transf. Cat. I / II



Curva de Transf. Cat. III / IV

# Coordinación de la Protección



# Recomendaciones:

## ❖ Durante el Montaje de los Relés de Protección

- Verificar la continuidad del cableado desde el Relé hasta los elementos primarios (interruptor, VTs, CTs y baterías).
- Como los CTs poseen arrollamientos secundarios para fines de 'medida' y 'protección', se debe comprobar que el circuito de corriente del relé se alimente del arrollamiento de 'protección'.
- El conexionado debe realizarse de acuerdo al esquema particular incluido en el manual de la protección.
- Conectar la toma de tierra del relé usando un conductor cableado 4 mm<sup>2</sup> de sección (longitud ideal <25cm).
- Alimentación auxiliar protegida con mini interruptor termomagnético o fusible de 2 Ampere (relés digitales).
- Se recomienda usar borneras de prueba intermedias de tensión, corriente y polaridad, para facilitar las labores de mantenimiento.

# Recomendaciones:

## ❖ Durante la Operación de los Relés de Protección

- Antes de habilitar el relé debe verificar lo siguiente:
  - ✓ Todos setting del relé están “ajustados” apropiadamente.
  - ✓ Las medidas de parámetros eléctricos en el display y la Consola (PC) son correctos y se corresponden
- Comprobar el cableado de:
  - ✓ La polaridad de los TCs y TPs.
  - ✓ El circuito de disparo.
- Puesta en Marcha
  - ✓ Sincronizar la hora del relé
  - ✓ Realizar las pruebas respectivas al relé con maleta secundaria. Evitar siempre la sobre prueba
  - ✓ Guardar una copia de los ajustes en el formato de la Consola y otro impreso para su archivo.

# Recomendaciones:

## ❖ Durante la Operación de Mantenimiento

- Descargar regularmente los registros de sucesos, faltas, oscilografías, etc. del relé de protección a la PC.
- Verificar la correcta operación del relé cuando haya realizado un cambio de ajustes o al menos una vez al año.
- Normalmente los relés de protección poseen la función de autochequeo, por tanto, puede asignar el “Estado del HW” a un contacto de salida Normal Cerrado (NC) y llevarlo a una alarma externa.

# Consultas?





# PRUEBAS DE RELES DE PROTECCIÓN

# Pruebas:

Verificar las características de diseño y operación de los equipos, sean éstas eléctricas, funcionales o de aislamiento, y con esto garantizar la condición de los elementos probados.

- ❖ Las pruebas se pueden dividir:
  - ✓ Ensayos Tipo
  - ✓ Ensayos de Rutina en fábrica.
  - ✓ Ensayos de puesta en servicio
  - ✓ Ensayos de mantenimiento.
  - ✓ Ensayos especiales



# Pruebas de Relés:

Evaluar la correcta funcionalidad de los relés de protección y su esquema de protección, bajo las condiciones operativas particulares del sistema de potencia donde esta instalado.

## ❖ Tipos:

- ✓ Prueba de Integridad
- ✓ Prueba de Aplicación



# Pruebas de Relés:

- ✓ **Prueba de Integridad:** orientadas a verificar que los relés de protección cumplen con las especificaciones del fabricante y con los criterios de aceptación del usuario, esto es únicamente para verificar los ajustes configurados en el relé.

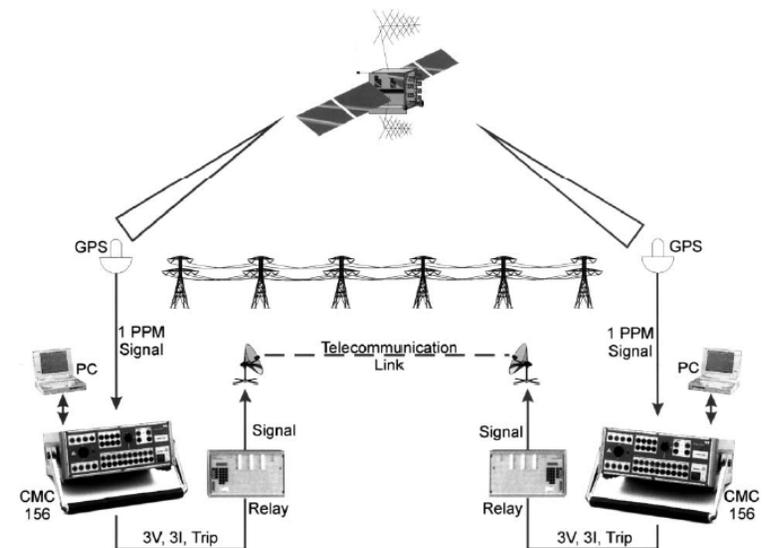
Estas pruebas deben ser ejecutadas en forma periódica de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes o cada vez que se realiza un cambio de ajustes.



# Pruebas de Relés:

- ✓ **Prueba de Aplicación:** orientadas a verificar si el esquema de protección como un todo es el adecuado para el sistema de potencia, considerando sus condiciones operativas normales y de falla.

Estas pruebas sirven para la verificación de diseño, pruebas prototipo, selección de relés, puesta en servicio y para análisis operacional de los relevadores y su esquemas de protección.



# Pruebas de Relés:

## Problemas típicos resueltos:

- ❖ De los Relés de Protección y su alambrado:
  - Ajuste incorrecto.
  - Alambrado incorrecto.
  - Señales de polarización mal seleccionadas (prot. direccional).
  - Mal comportamiento debido a la saturación o ajuste incorrecto de los circuitos de corriente y voltaje de los relés etc.
- ❖ De los enlaces de comunicación:
  - Niveles bajos de señal
  - Respuesta lenta de los circuitos moduladores y demoduladores
  - Tiempo de transmisión no compensado
  - Ruido inducido por fallas

# Pruebas de Reles:

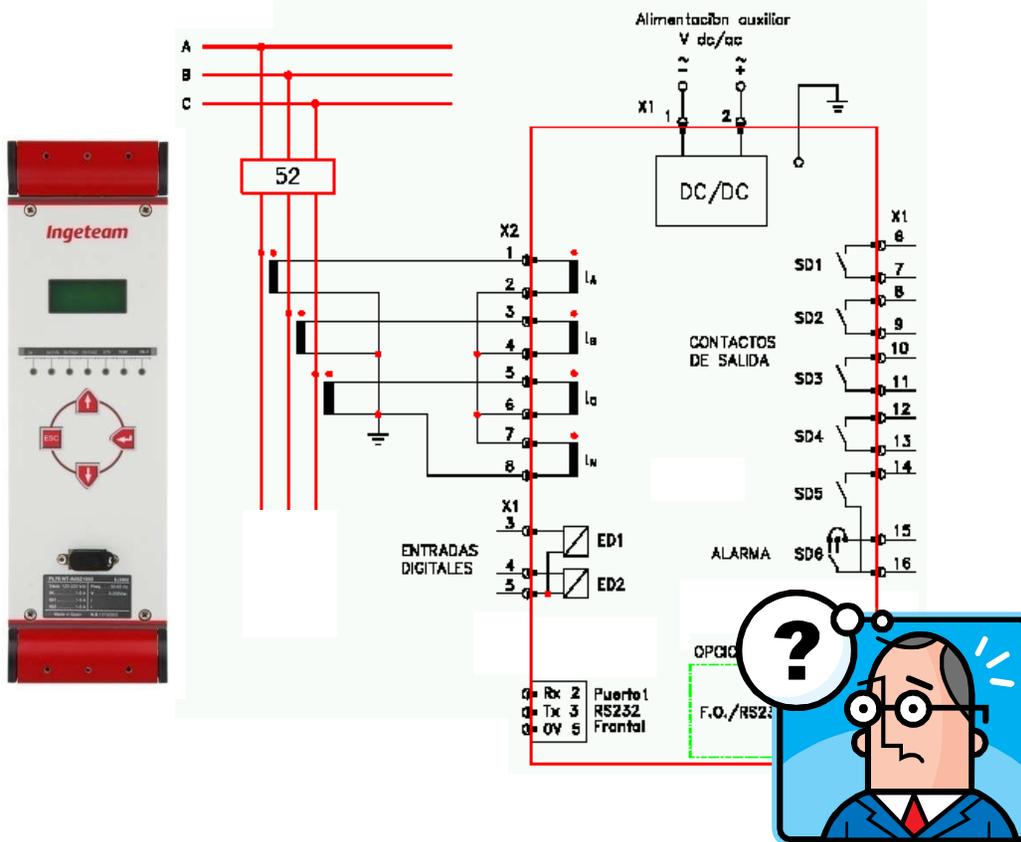
- ✓ **Quando se ha de realizar las pruebas tener a mano:**
  - a) El manual del dispositivo de protección a probar.
  - b) Los planos funcionales del tablero donde está instalado el equipo.
  - c) Los datos de placa del dispositivo de protección a probar.
  - d) Los ajustes de la protección a probar.
  - e) Herramientas adecuadas.
  - f) Cables y puntas de prueba en cantidad suficiente.

# Pruebas de Reles:

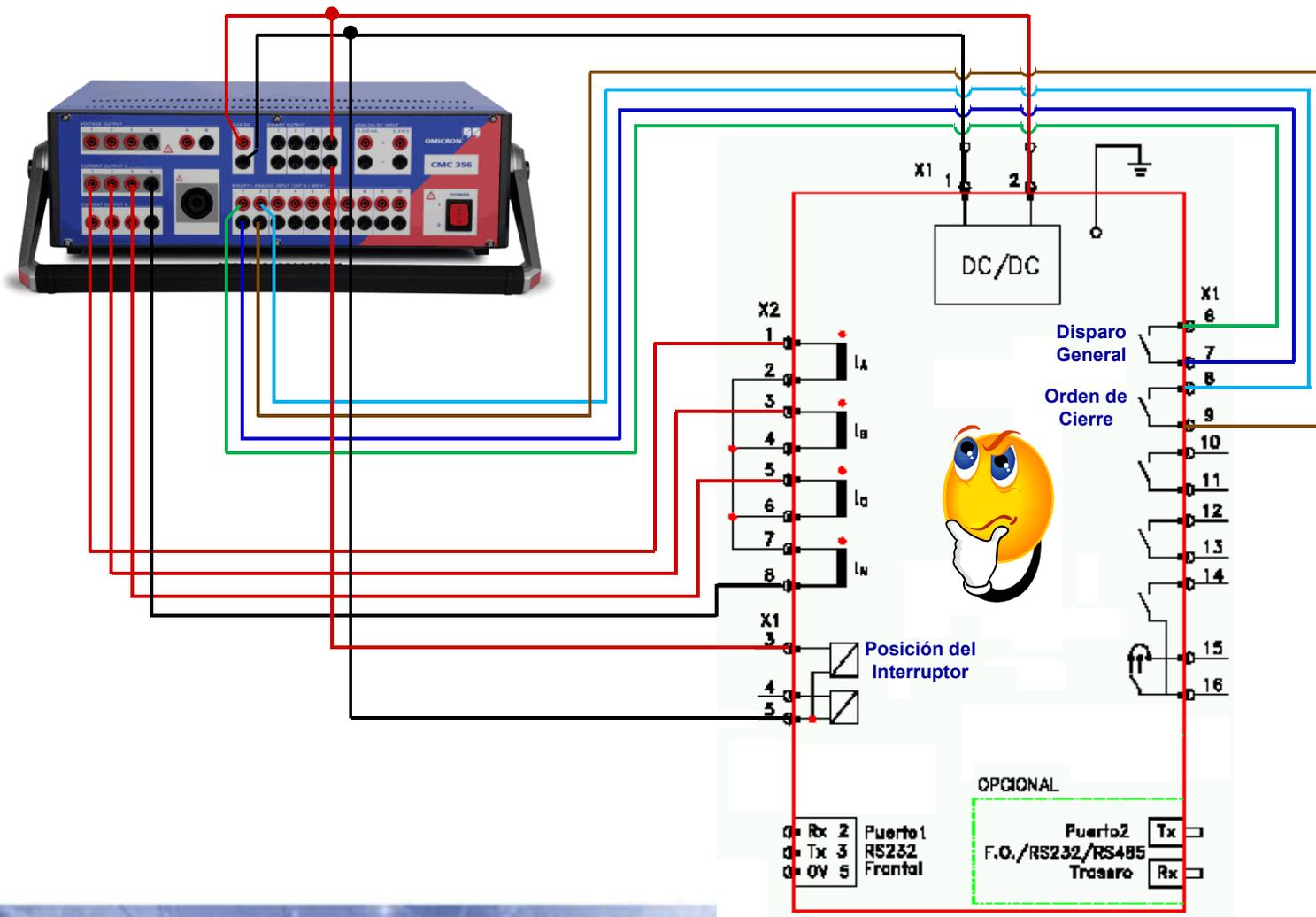
## ✓ Puntos a Verificar antes de realizar las pruebas:

- a) Los valores nominales de intensidad (3x1 ó 3x5 A) y de tensión (3x100 ó 3x110 V).
- b) La tensión de alimentación auxiliar de la instalación (24, 48, 110, 125, 220 V).
- c) La frecuencia del sistema (50 ó 60 Hz) debe corresponder con la frecuencia nominal de la protección.
- d) La continuidad del cableado desde el equipo de pruebas al dispositivo de protección.
- e) Antes de realizar pruebas automáticas se debe comparar las medidas en el relé con los valores inyectadas por el equipo de pruebas.

# ¿Como hacemos la Conexión?



# ¿Como hacemos la Conexión?



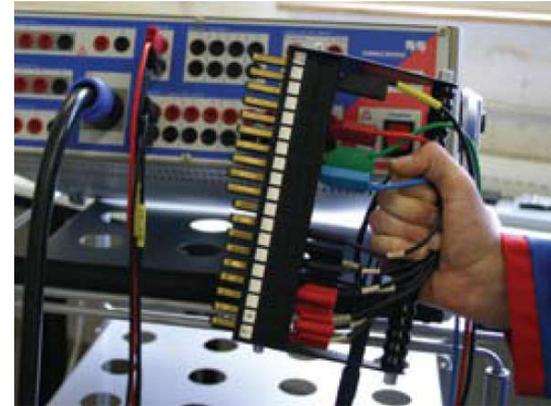
# ¿Como hacemos la Conexión?

## ✓ Métodos de Conexión con el Relé en Servicio

Es recomendable que la instalación posea elementos intermedios cableados y acondicionados para aislar la protección y permitir la inyección de señales de prueba evitando disparos no deseados y riesgo al personal técnico.

Los elementos mas conocidos son:

- Conmutador entre la posición de 'prueba' y de 'servicio'.
- Borneras de Prueba.
- Bloques de Prueba.



# ¿Como hacemos la Conexión?

## ✓ Métodos de Conexión con el Relé en Servicio

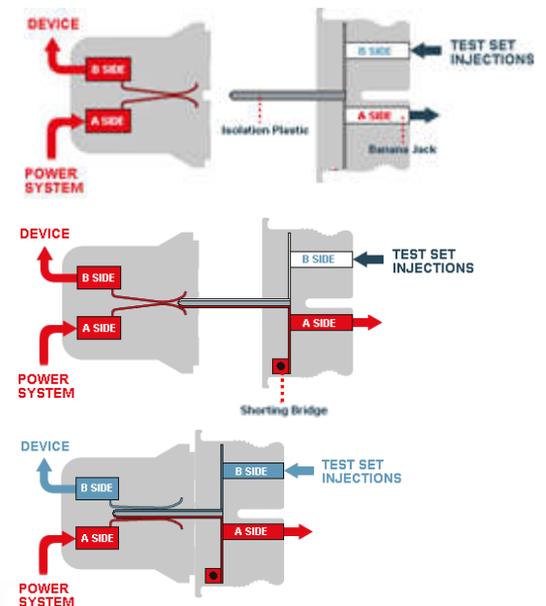
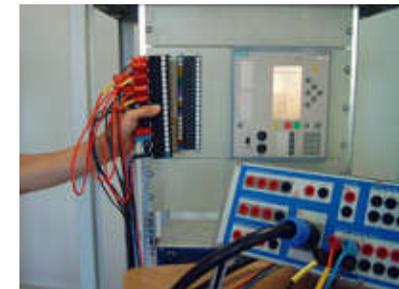
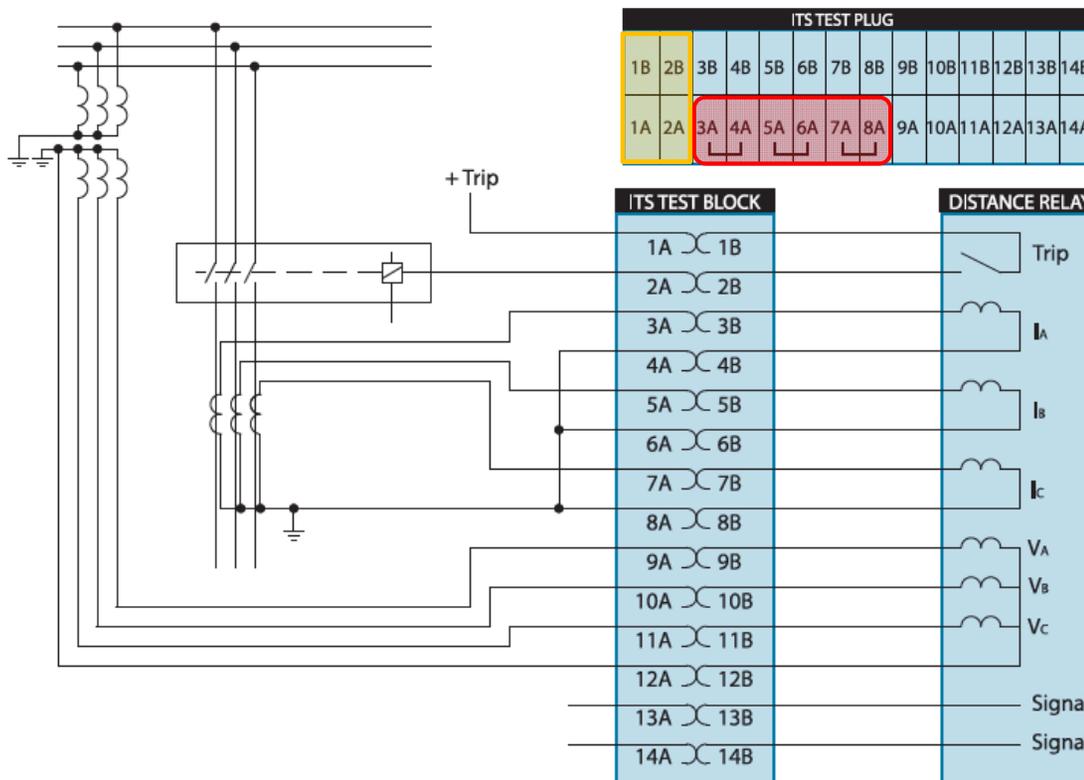
Si se cuenta sólo con borneras seccionables:

- 1) Separar las señales de disparo entre la protección y el circuito de apertura.
- 2) Conectar las señales de disparo de la protección a las entradas digitales del equipo de pruebas.
- 3) Cortocircuitar con puentes los secundarios de los CTs.
- 4) Separar los circuitos de corriente de la protección de los secundarios de los CTs abriendo los bornes seccionables.
- 5) Conectar las Salidas de intensidad del equipo de pruebas con los circuitos de intensidad de la protección.
- 6) Separar los circuitos de tensión de la protección de los secundarios de los VTs abriendo los bornes seccionables.
- 7) Conectar las salidas de tensión del equipo de pruebas con los circuitos de tensión de la protección.

# ¿Como hacemos la Conexión?

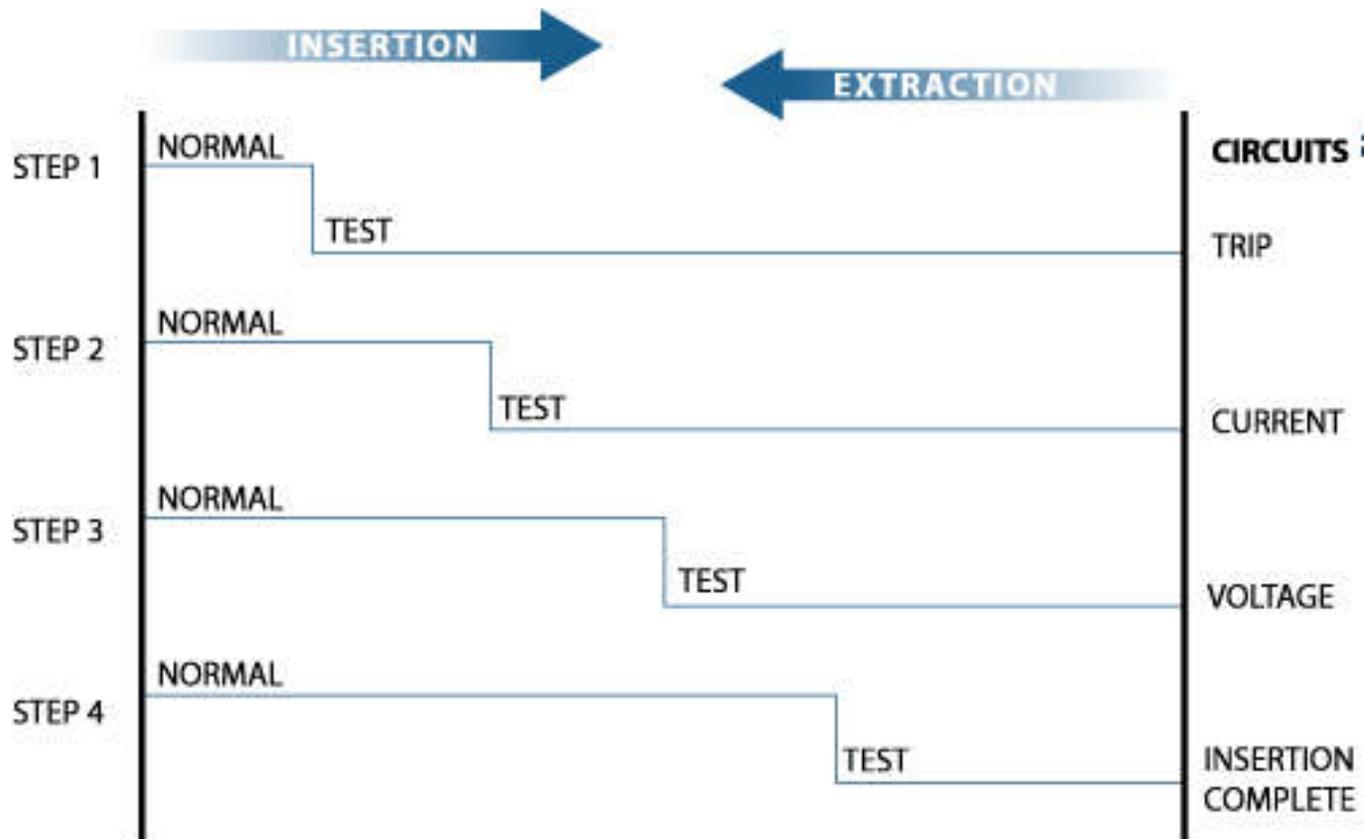
## ✓ Métodos de Conexión con el Relé en Servicio

Si se cuenta sólo con bloques de prueba:



# ¿Como hacemos la Conexión?

## ✓ Métodos de Conexión con el Relé en Servicio



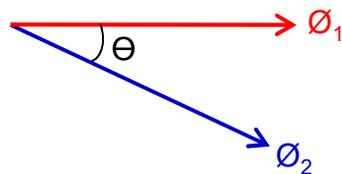
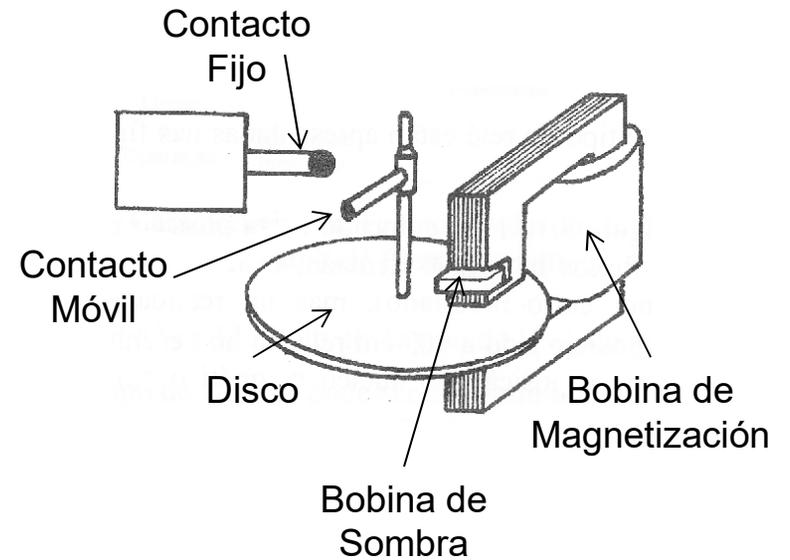
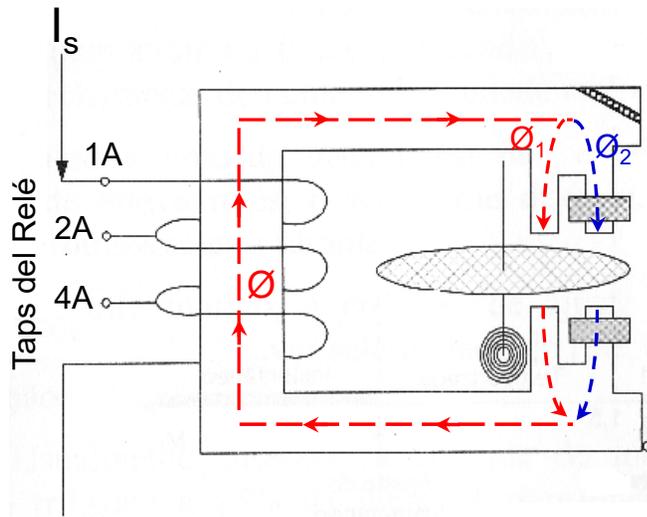
# Consultas?



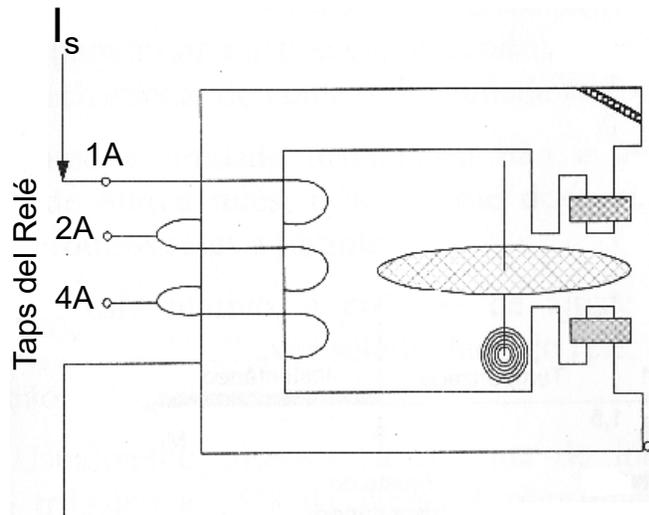
# Sobre corriente

- ❖ Los relés de sobre intensidad son los más utilizados en subestaciones y en instalaciones eléctricas industriales.
- ❖ Estos relés se calibran para que operen con señales de corriente por encima del valor máximo de la intensidad nominal del circuito protegido.
- ❖ La norma ANSI divide esta función en dos tipos:
  - Relé de Sobre corriente temporizado de Fases (51)
  - Relé de Sobre corriente temporizado de Neutro (51N)
  - Relé de Sobre corriente instantánea de Fases (50)
  - Relé de Sobre corriente instantánea de Neutro ( 50N)

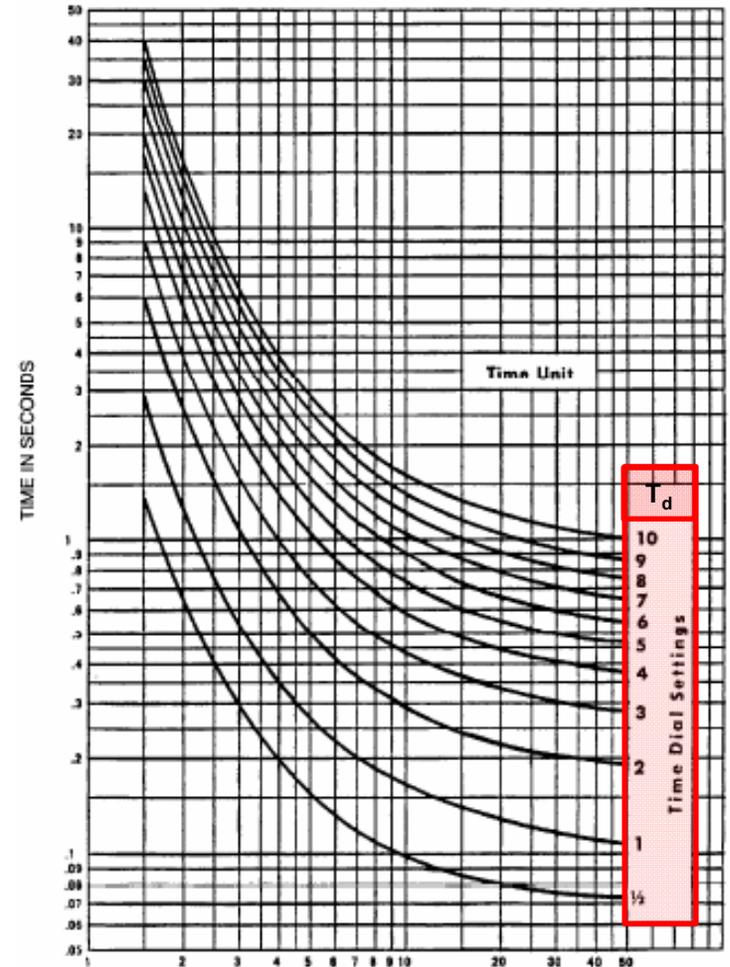
# Sobre corriente Temporizada (51 / 51N)



# Sobre corriente Temporizada (51 / 51N)



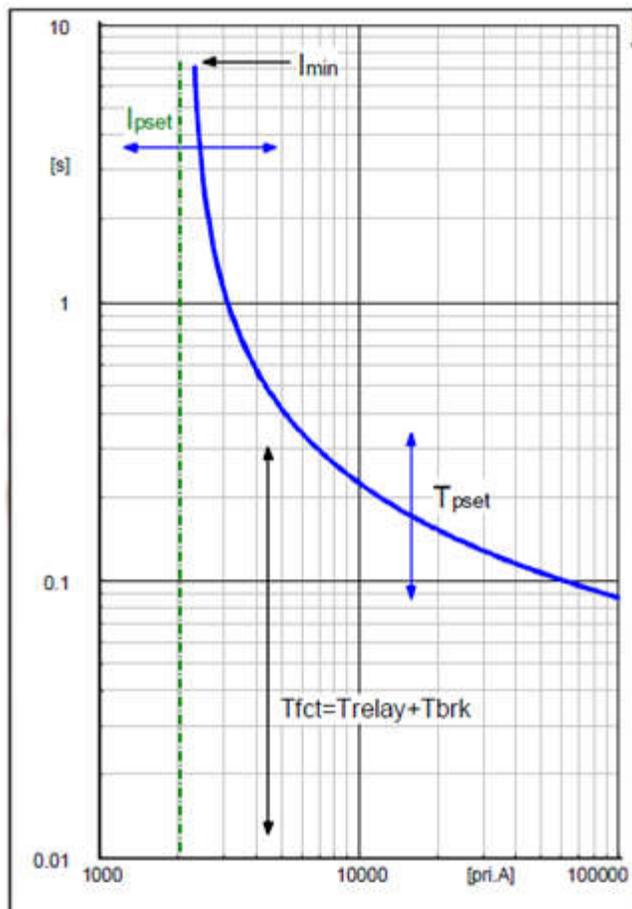
- ✓ Tap → Ajuste
- ✓ Múltiplo →  $I_{falla} / I_{ajuste}$
- ✓ Ángulo  $\theta$  → Ajuste de Tiempo (Dial)



**M**

MULTIPLES OF PICK-UP SETTING ( $I_{falla} / I_{ajuste}$ )

# Sobre corriente Temporizada (51 / 51N)



## ▪ Tiempo de Despeje de Falla.

$$T_{fct} = T_{relay} + T_{brk}$$

$T_{relay}$ : Tiempo de actuación del Rele

$T_{brk}$ : Tiempo de apertura del interruptor

## ▪ Tiempo de Actuación del Rele.

$$T_{relay} = T_s + f(I/I_{pset}, T_{pset})$$

$T_s$ : Tiempo de arranque

$f(I/I_{pset}, T_{pset})$ : Característica TOC

## ▪ Ajuste de Corriente: $I_{pset}$

$I_{pset}$ : Ajuste de Corriente

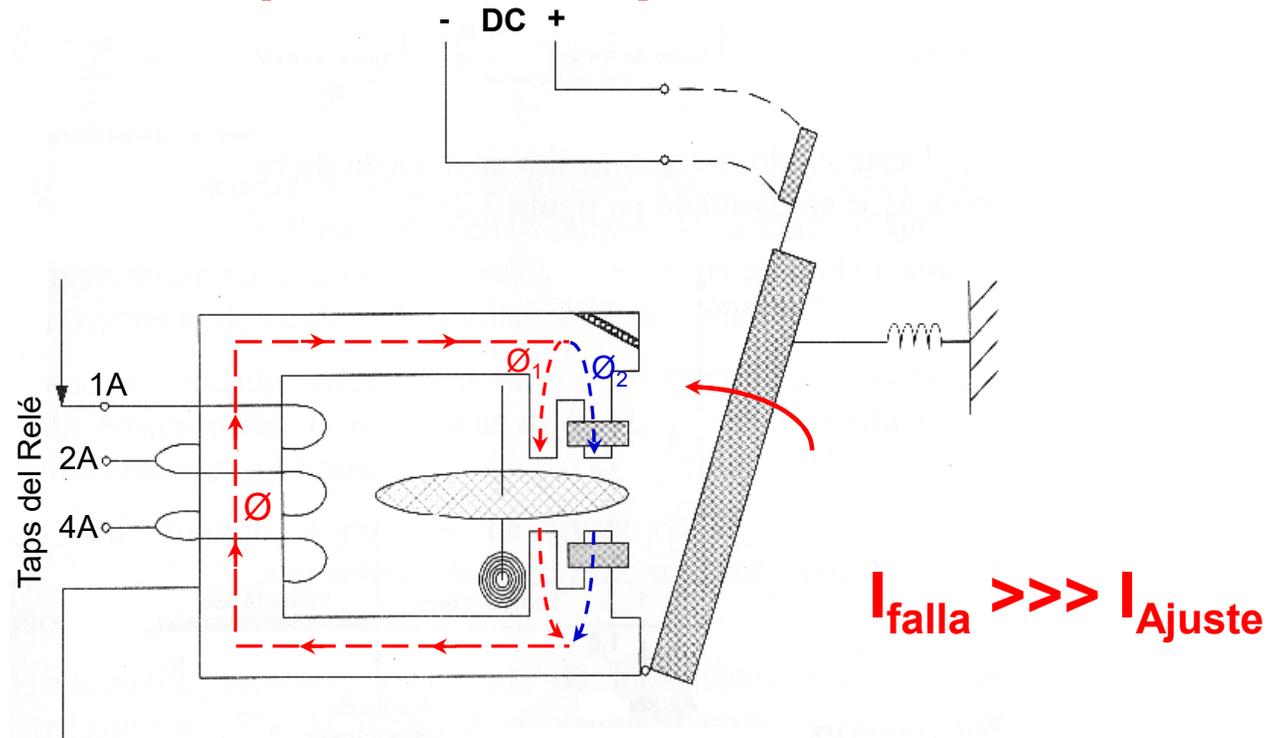
$I_{min}$ : Corriente de Arranque (Pick-Up)

# Sobre corriente

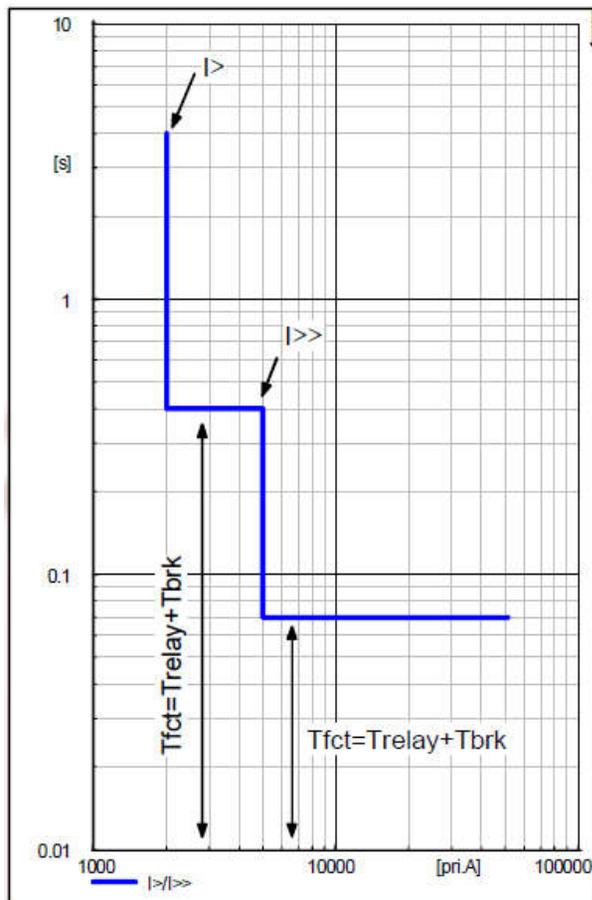
## Temporizada (51 / 51N) – Ajuste

Ajuste	Mínimo	Máximo	Escalón	Observaciones
Habilitado				SI/NO/Arranque/SI+Re caída
Arranque (A)	0,1	200,0	0,01	
Tipo de curva				Tiempo fijo (TF) Curva normal, muy, extrem. inversa, etc. Curvas de usuario
Indice	0,05	1,09	0,01	Para curvas IEC
	0,5	30,0	0,1	Para curvas ANSI
T.fijo (seg)	0,0	600,0	0,01	Tiempo si tipo es TF

# Sobre corriente Instantánea (50 / 50N)



# Sobre corriente Instantánea (50 / 50N)



## ▪ Tiempo de Despeje de Falla.

$$T_{fct} = T_{relay} + T_{brk}$$

$T_{relay}$ : Tiempo de actuación del Relé

$T_{brk}$ : Tiempo de apertura del interruptor

## ▪ Tiempo de Actuación del Relé.

$$T_{relay} = T_s + T_{set}$$

$T_s$ : Tiempo de arranque

$T_{set}$ : Temporizador

## ▪ Ajuste de Corriente: I>, I>>

I> Unidad Temporizada

I>> Unidad Instantánea

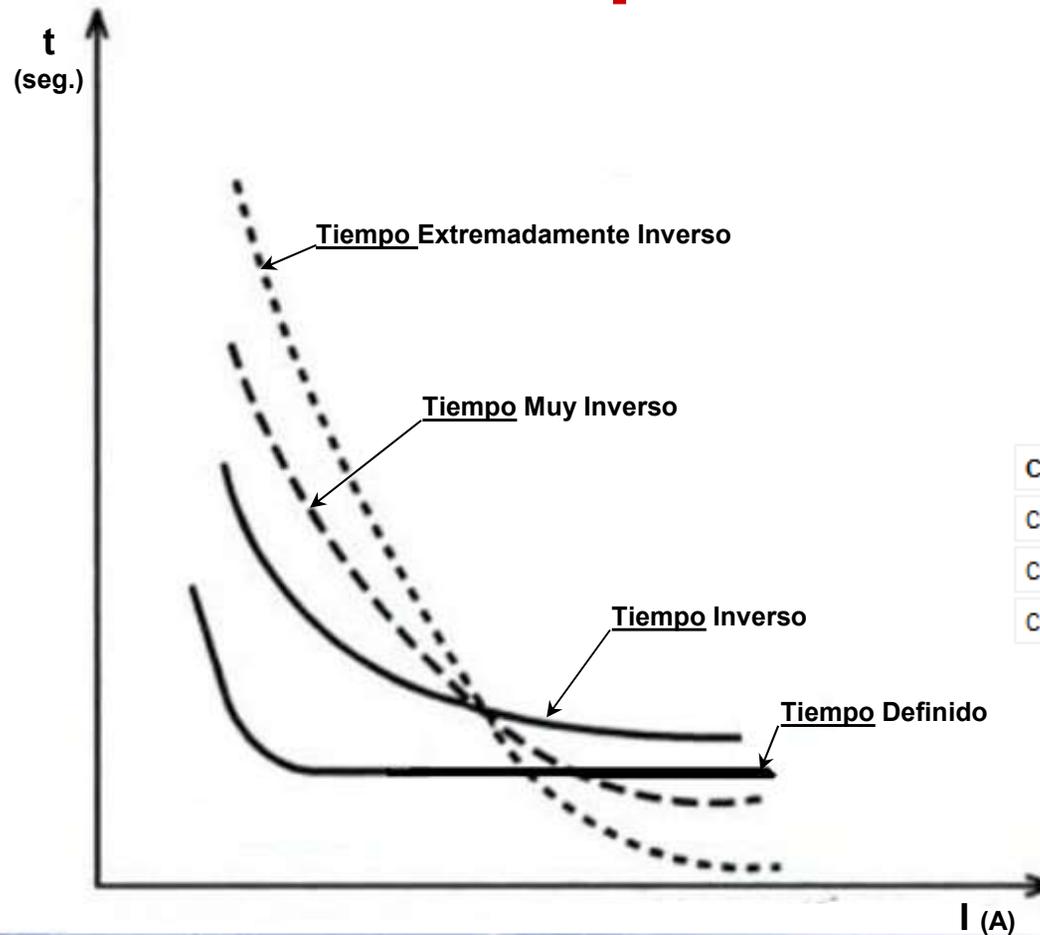
# Sobre corriente

## Instantánea (50 / 50N) - Ajuste

Ajuste	Mín.	Máx.	Escalón	Observaciones
Habilitado				SI/NO/Arranque
Arranque (A)	0,1	200,0	0,01	
Tiempo fijo (seg)	0,00	60,00	0,01	

# Sobre corriente - Resumen

## Curvas de Operación



$$t_{act} = \frac{A * Td + K1}{M^P - Q} + B * Td + K2$$

Característica	A	B	P	Q	K1	K2
CEI Normalmente inversa	0.14	0.0	0.02	1	0	0
CEI muy Inversa	13.5	0.0	1.0	1	0	0
CEI extremadamente Inversa	80.0	0.0	2.0	1	0	0

# Sobre corriente - Definiciones

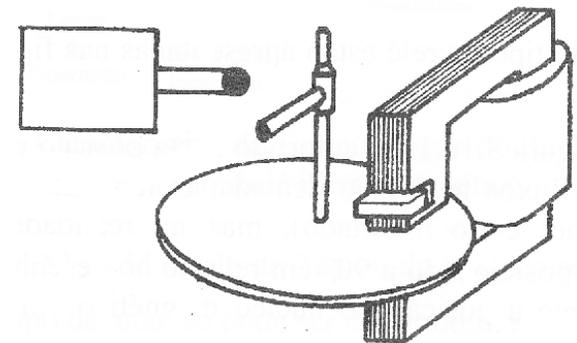
❖ **Operación.-** Movimiento mecánico del mecanismo de operación que actúa sobre una estructura de contacto para cerrar o abrir sus contactos.

▪ **Arranque (PickUp).-** Operación del rele para abrir un contacto normalmente cerrado (NC o “b”) o para cerrar un contacto normalmente abierto (NA ó “a”). Al menor valor de actuación se denomina “PickUp Value”

▪ **Reset.-** Operación del relé para cerrar un contacto normalmente cerrado o para abrir un contacto normalmente abierto, y llevarlo a su posición inicial. El mayor valor de actuación se denomina “Reset Value”.

Al tiempo requerido para restablecer al relé se denomina “Reset Time”

▪ **Reposición (DropOut).-** Operación del rele para abrir un contacto normalmente abierto (NA o “a”), pero que no lo lleva a su posición inicial. El mayor valor de actuación se denomina “DropOut Value”

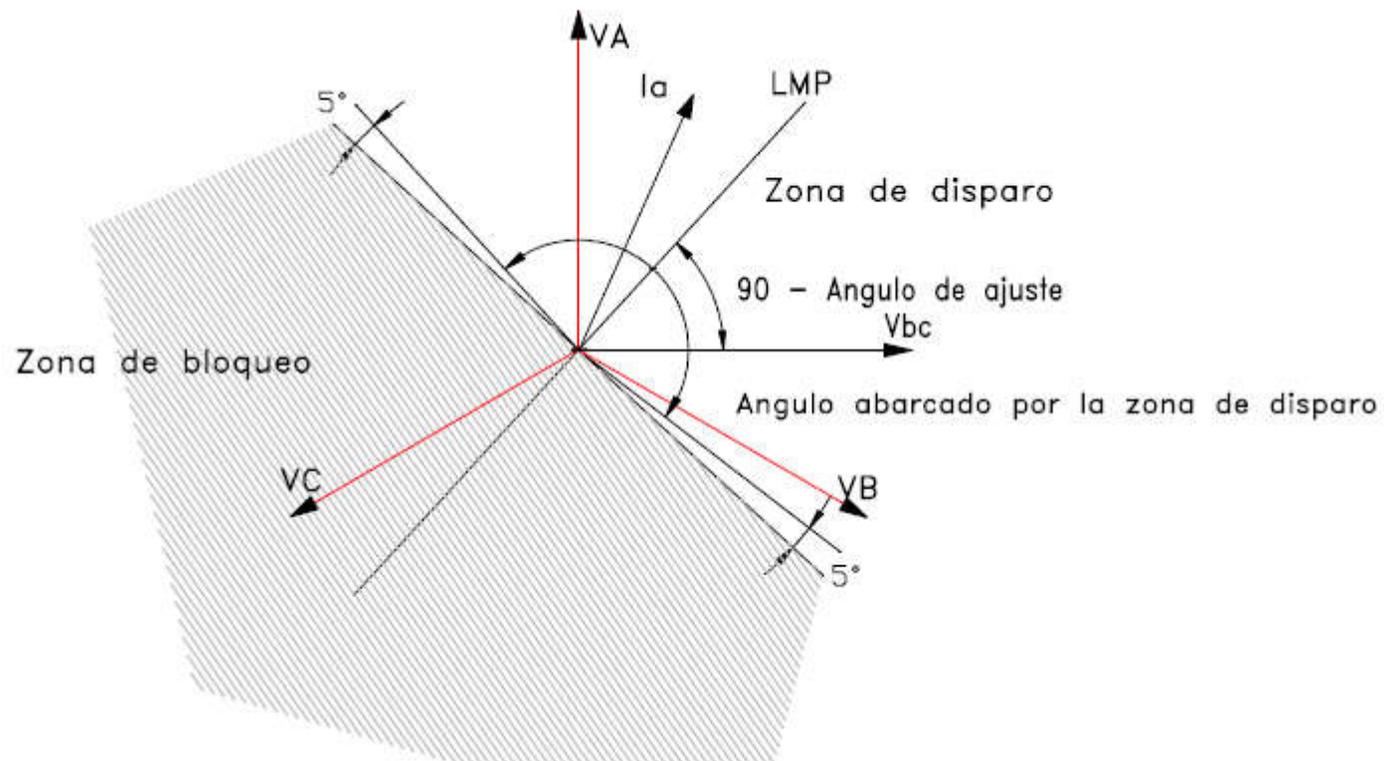


# Sobre corriente – Direccional

- ❖ La función de sobre corriente puede ser definida como direccional o no direccional.
- ❖ La norma ANSI divide esta función en dos tipos:
  - Relé de Sobre corriente temporizado de Fases (67)
  - Relé de Sobre corriente temporizado de Neutro (67N)
- ❖ Para definir la direccionalidad se debe especificar:
  - Un ángulo de Ajuste
  - Tensión de Polarización
- ❖ Los criterios de direccionalidad mas utilizados son:
  - En cuadratura
  - Por secuencias

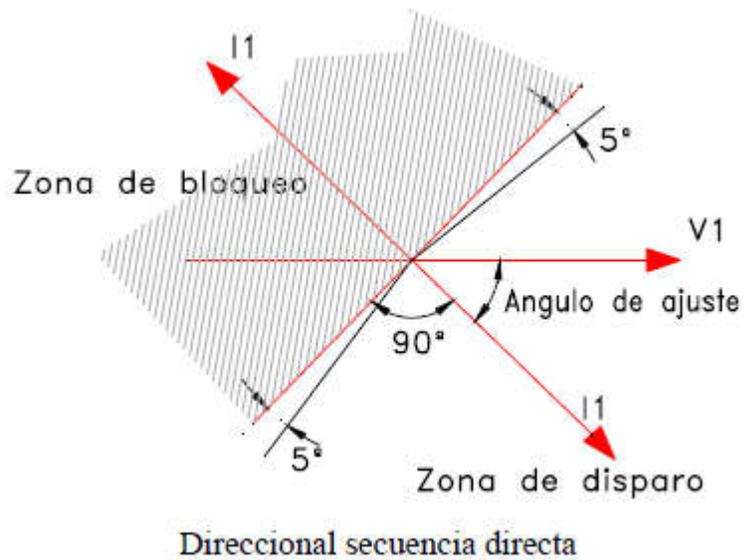
# Sobre corriente – Direccional

## ❖ En Cuadratura

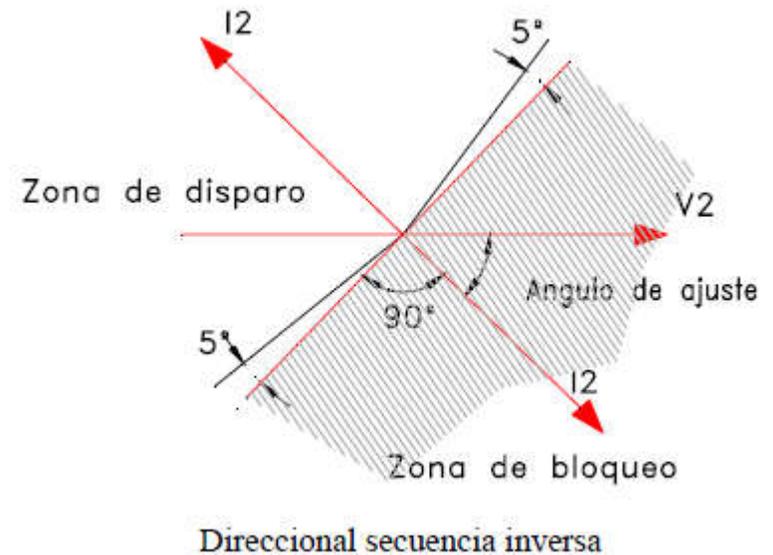


# Sobre corriente – Direccional

## ❖ Por Secuencias



$$90 - \text{ángulo ajuste} \geq \arg(I_1) - \arg(V_1) \geq 270 - \text{ángulo ajuste}$$



$$90 - \text{ángulo ajuste} \leq \arg(I_2) - \arg(V_2) \leq 270 - \text{ángulo ajuste}$$

# Consultas?

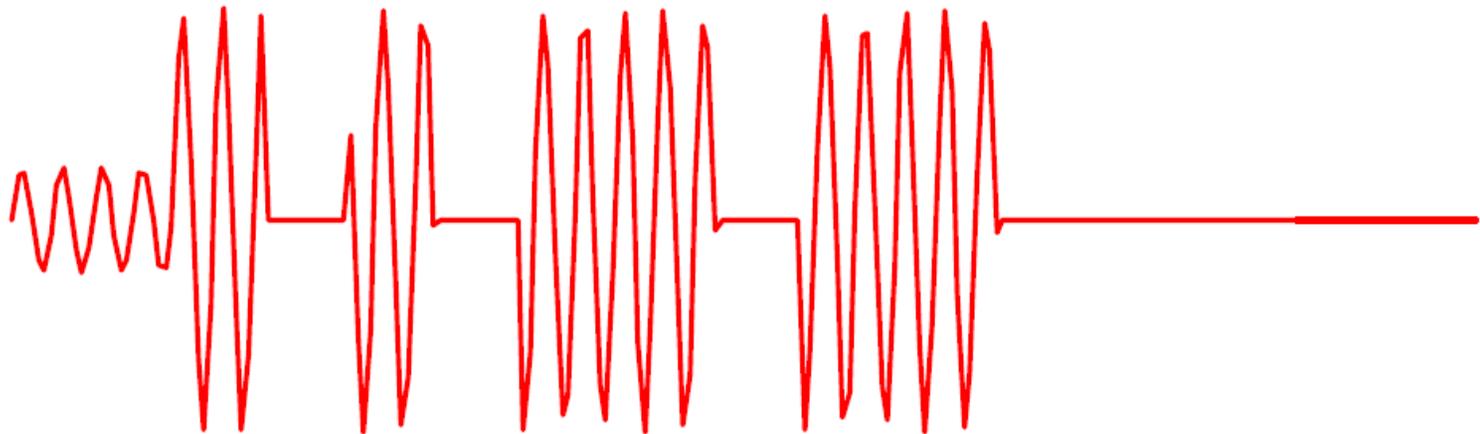


## Recierre (79)

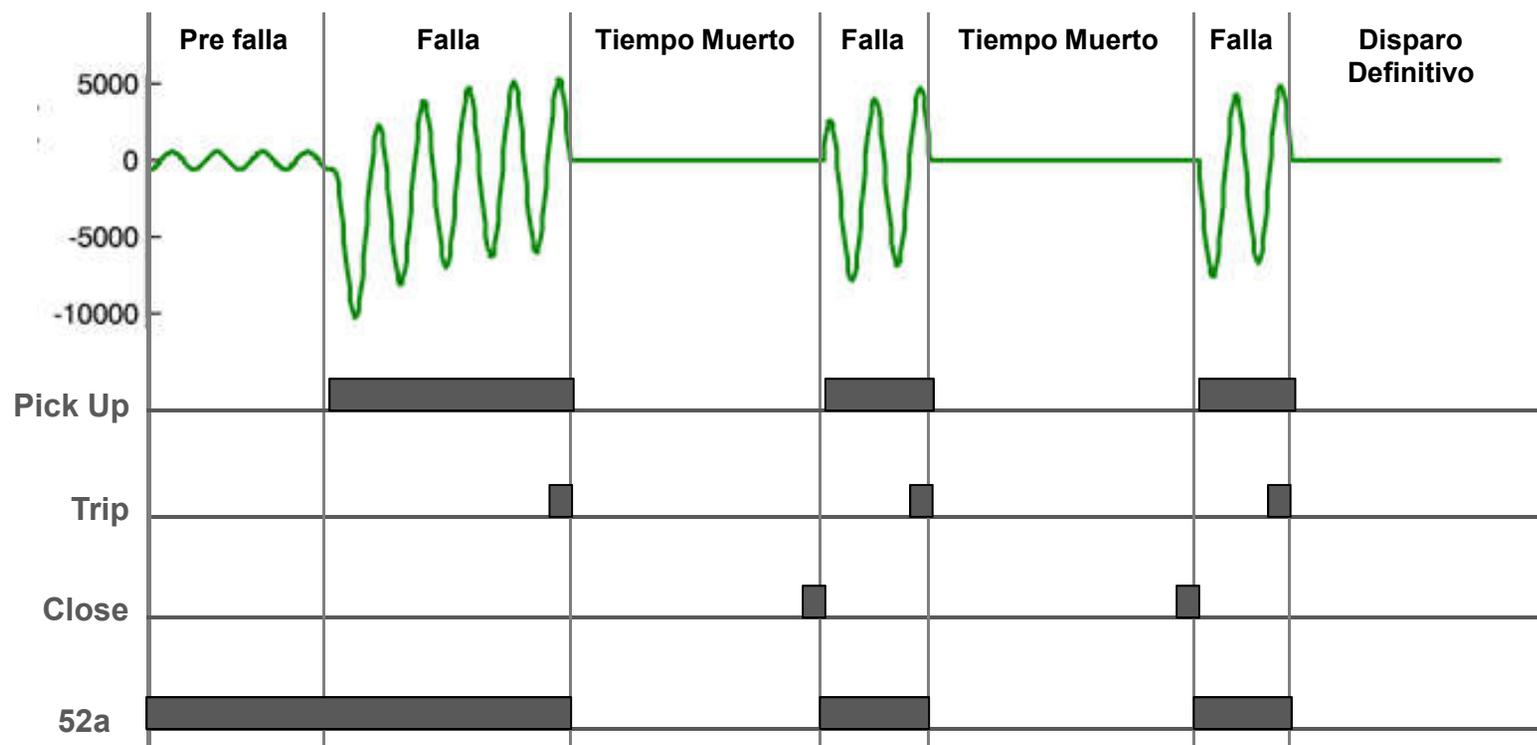
- ❖ Función de protección temporizada que efectúa la reconexión de un interruptor de un circuito de corriente alterna (ANSI C37-2)
- ❖ Tiene por finalidad proteger instalaciones donde existe una alta probabilidad de fallas transitorias.
- ❖ Las fallas transitorias, son despejadas producto del aislamiento temporal de la instalación y en caso de fallas permanentes permiten la operación del dispositivo de protección más próximo a la falla.

## Recierre (79)

- ❖ Un ciclo típico de trabajo es como el mostrado en el gráfico con dos operaciones denominadas “rápidas” y dos operaciones denominadas “lentas”. Luego de la última operación, el reconectador queda abierto.



# Recierre (79)



# Consultas?



# Protección de Distancia

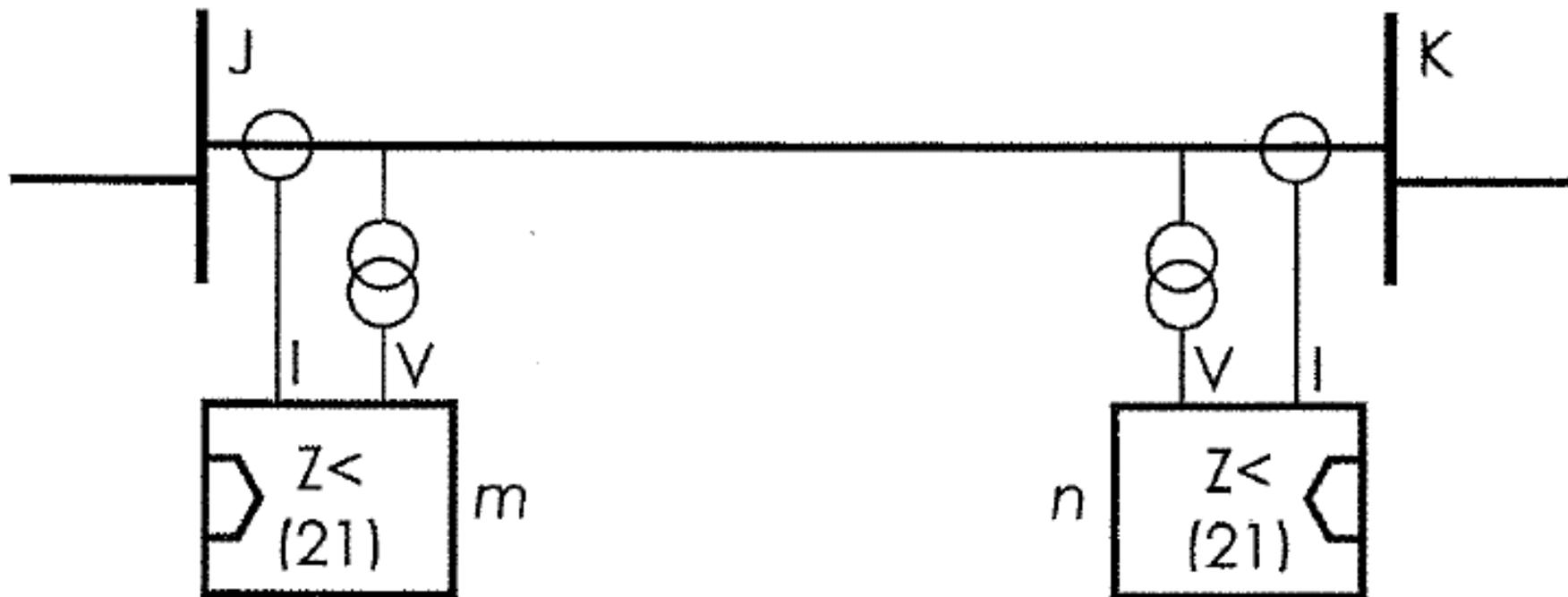
- ❖ La protección de distancia, basa su operación en la medición de algún parámetro indicativo de la distancia eléctrica hasta el punto de falla.
- ❖ Las protecciones de distancia determinan la distancia a la falla, desde el punto de ubicación de la protección, como una proporción de un determinado valor de ajuste, utilizando los valores de las tensiones y corrientes de falla suministrados por los transformadores de medición.
- ❖ La norma ANSI asigna a esta función de protección el número **21**

# Protección de Distancia

- ❖ La medición es comparada con los valores de ajuste y en caso de ser menor, se emite un comando de disparo a los interruptores respectivos, con el objeto de eliminar el aporte a la falla.
- ❖ La protección de distancia debe garantizar un tiempo máximo de operación independientemente de la potencia de cortocircuito existente.

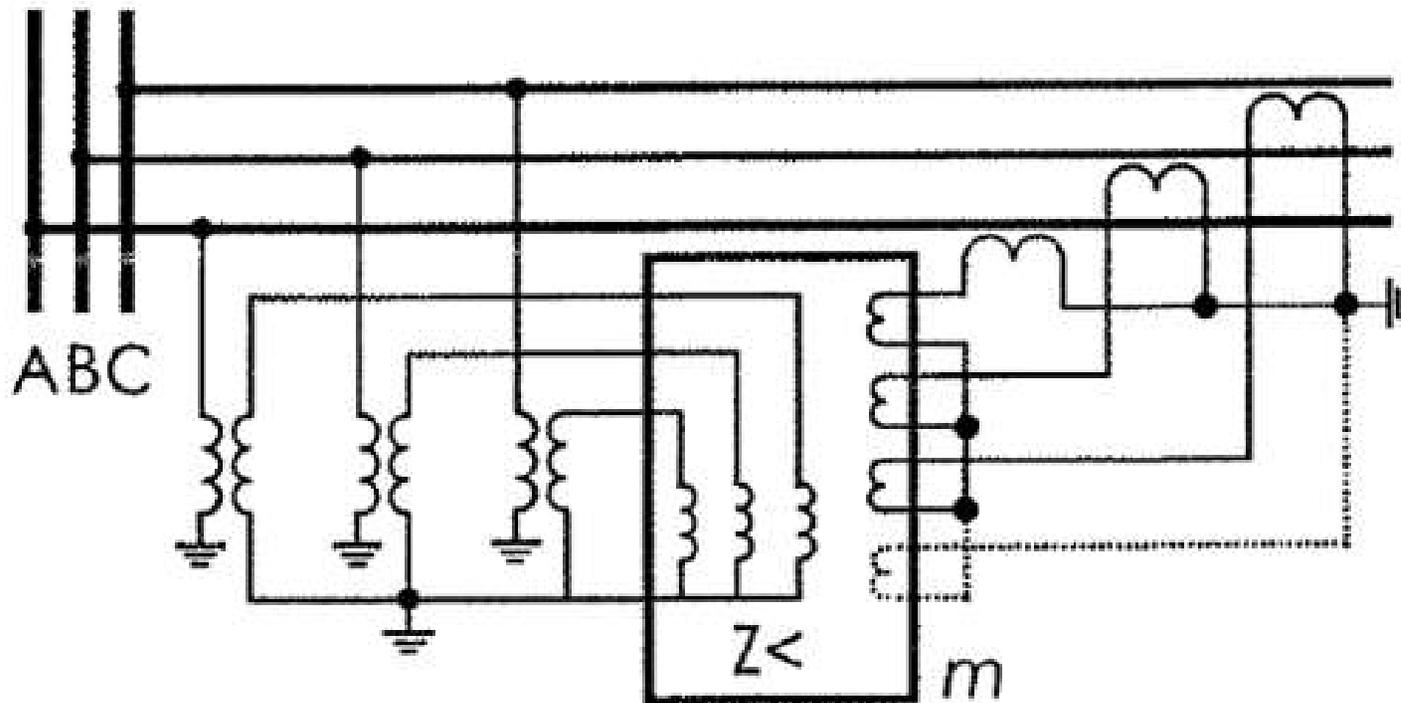
# Protección de Distancia

## ❖ Conexión y Simbología:



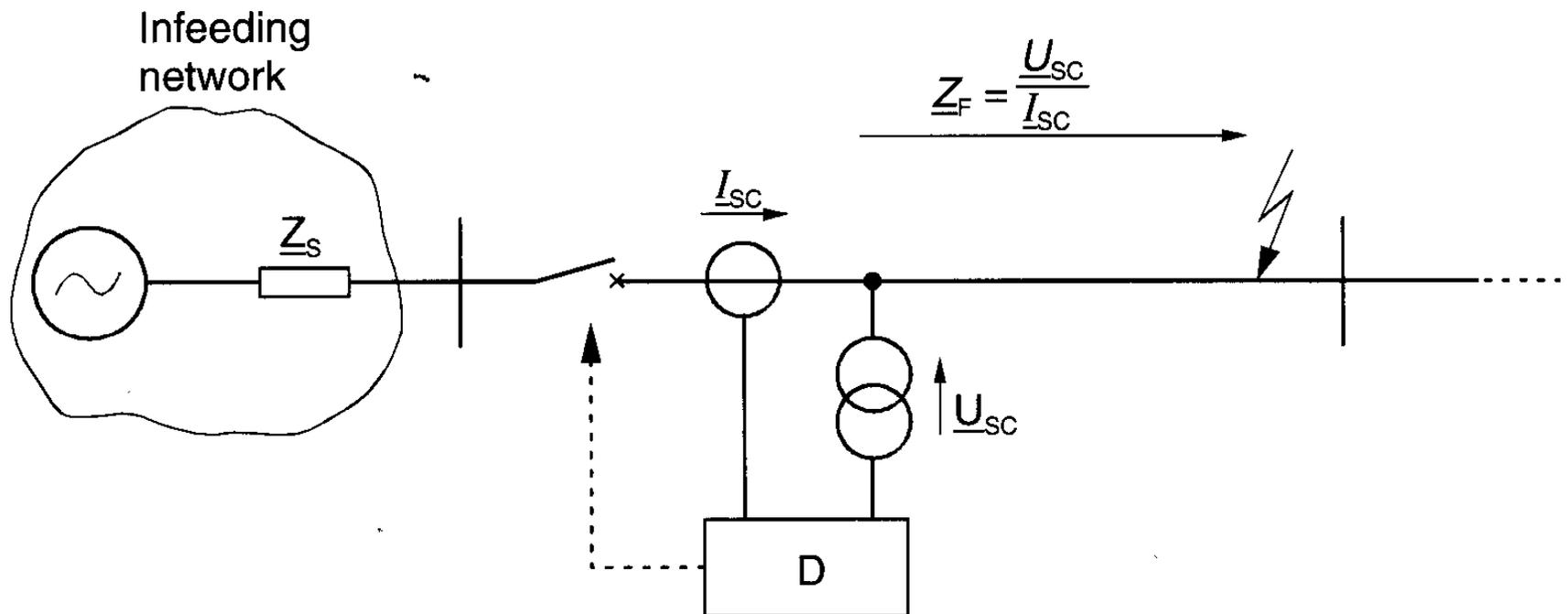
# Protección de Distancia

## ❖ Conexión y Simbología:



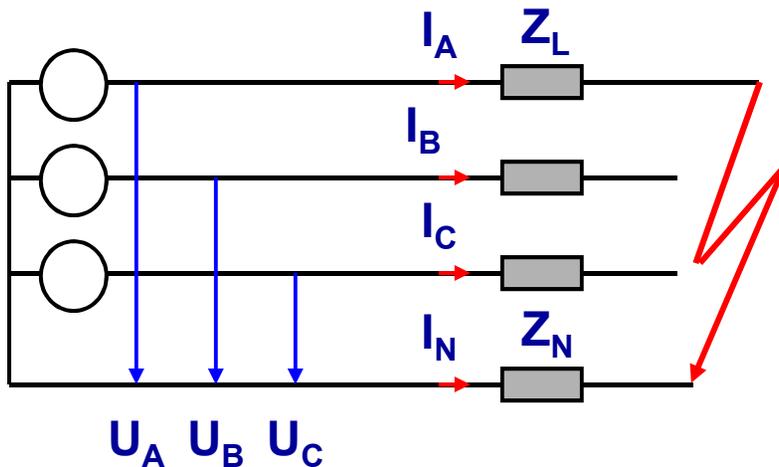
# Protección de Distancia

## ❖ Medición de la Impedancia de Falla:



# Protección de Distancia

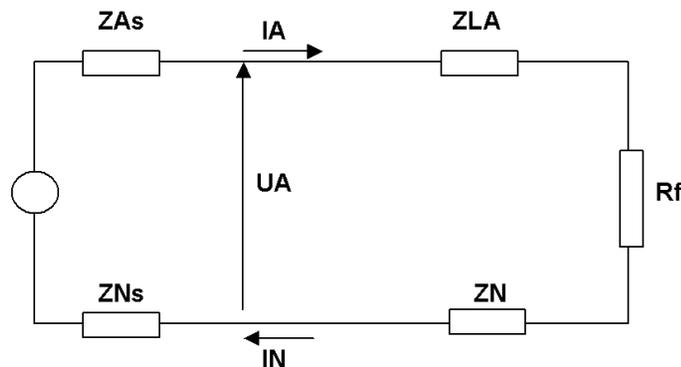
## ❖ Principio de Medición – Fallas Monofásicas:



$$\underline{Z}_L = R_L + j X_L$$

$$\underline{Z}_N = R_N + j X_N$$

$$\underline{U}_A = \underline{I}_A \cdot (R_L + j X_L) - \underline{I}_N \cdot (R_N + j X_N)$$



Hipotesis:

- ❖ Corriente de Fase  $I_A$  ( $I_B$  ó  $I_C$ )
- ❖ Corriente de Tierra  $I_N$
- ❖ Corriente Compensada  $I_A + K_0 I_N$

# Protección de Distancia

## ❖ Principio de Medición – Fallas Monofásicas:

### Factor de Compensación de Falta a Tierra (Factor de Puesta a Tierra):

- ✓ Compensa la diferencia entre las impedancias de falta a tierra y las impedancias de falta entre fases medidas por el relé.
- ✓ El Factor de puesta a tierra es aplicable solamente para las faltas monofásicas a tierra.
- ✓ Su ajuste es muy importante en la determinación del cálculo de la falla.
- ✓ Los fabricantes de Relés, utilizan varios algoritmos para el cálculo del Factor de Compensación de puesta tierra.

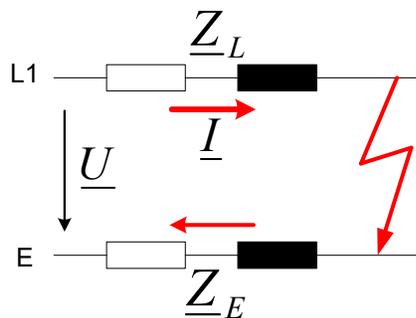
# Protección de Distancia

## ❖ Principio de Medición – Fallas Monofásicas:

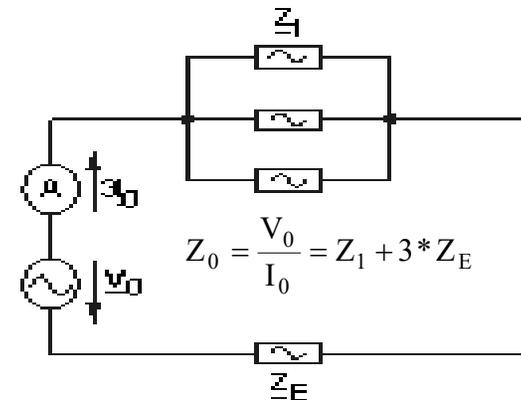
$$k_L = \frac{Z_E}{Z_L} = \frac{1}{3} \left[ \frac{Z_0}{Z_1} - 1 \right] \quad \frac{Z_0}{Z_1} \quad \frac{R_E}{R_L} \text{ y } \frac{X_E}{X_L}$$

Donde:

- "Z<sub>0</sub>" Impedancia homopolar de la línea protegida.
- "Z<sub>1</sub>" Impedancia de secuencia positiva de la línea protegida.
- "Z<sub>E</sub>" Alcance de la falta a tierra (sin compensación)
- "Z<sub>L</sub>" Alcance de falta entre fases del relé.

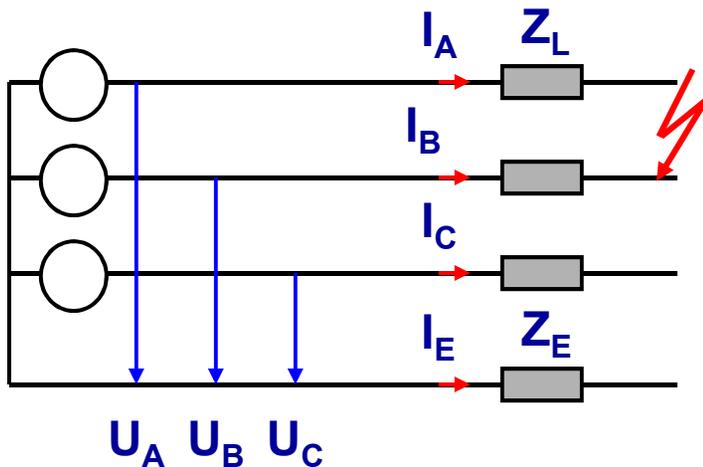


$$\begin{aligned} \underline{U} &= \underline{I} \cdot (\underline{Z}_L + \underline{Z}_E) \\ \underline{U} &= \underline{I} \cdot \left( \underline{Z}_L + \frac{\underline{Z}_E}{\underline{Z}_L} \underline{Z}_L \right) \\ \underline{U} &= \underline{I} \cdot (\underline{Z}_L + \underline{k}_L \underline{Z}_L) \end{aligned}$$



# Protección de Distancia

## ❖ Principio de Medición – Fallas Bifasicas:

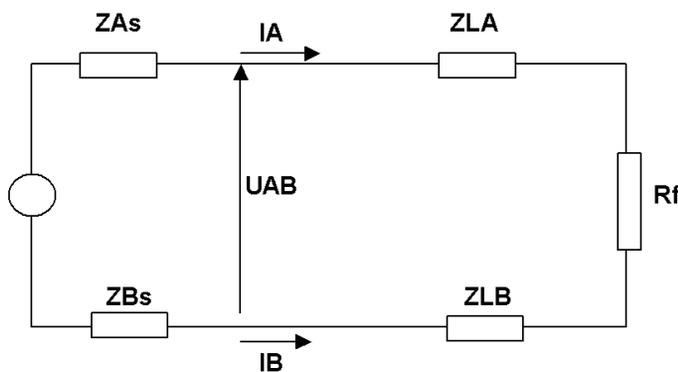


$$\underline{Z}_L = R_L + j X_L$$

$$\underline{Z}_E = R_E + j X_E$$

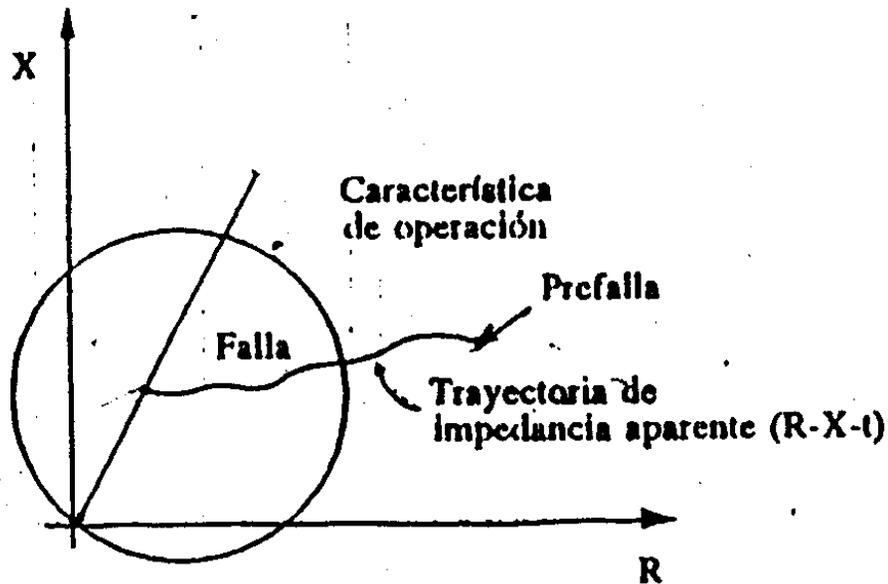
$$\underline{U}_{L1-L2} = \underline{Z}_L ( \underline{I}_{L1} - \underline{I}_{L2} )$$

Corrientes medidas  
Voltaje Medido

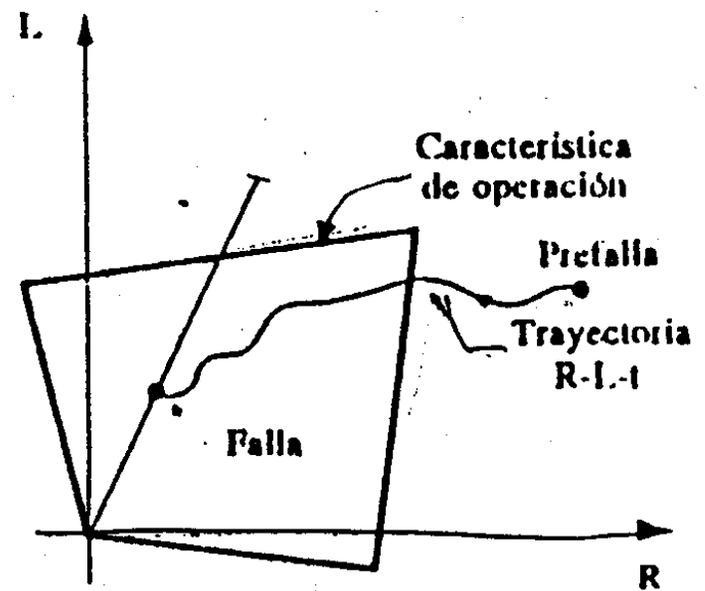


# Protección de Distancia

## ❖ Tipos de Protección:



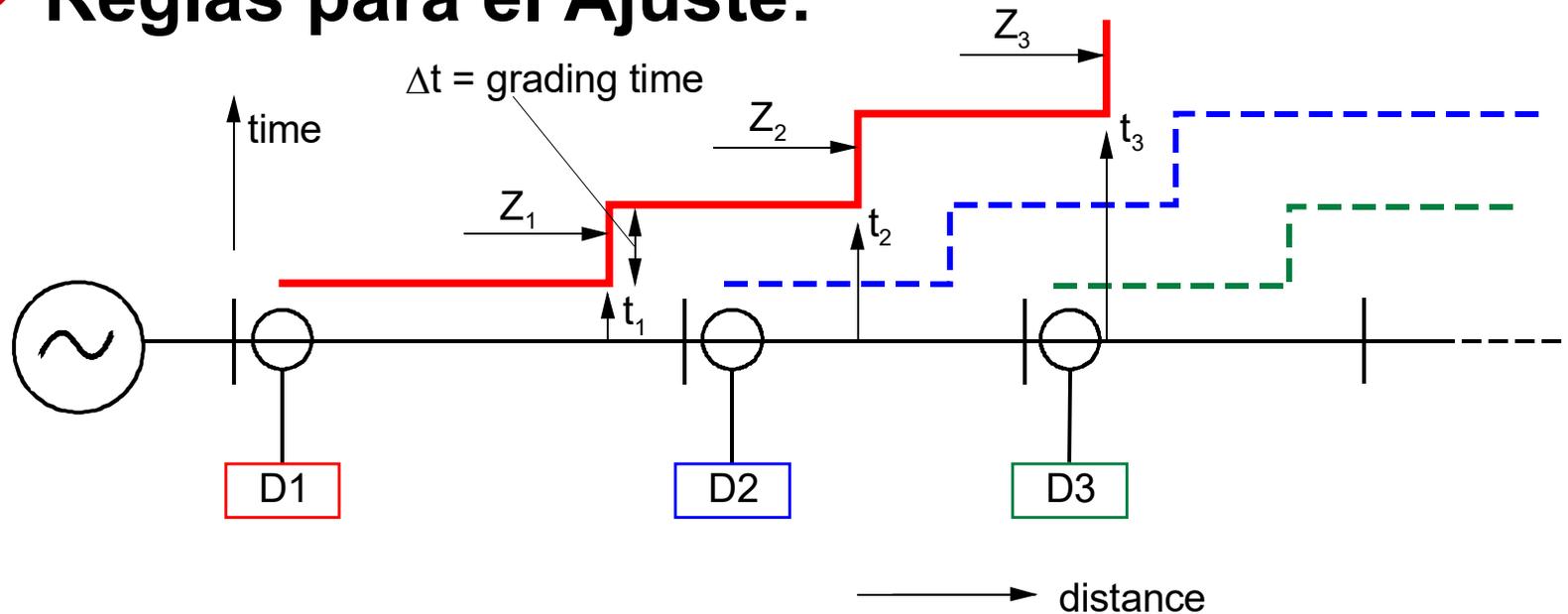
(a)



(b)

# Protección de Distancia

## ❖ Reglas para el Ajuste:



### Regla 01:

- $Z_1 = 0,80 Z_{AB}$
- $Z_2 = Z_{AB} + 0,5 Z_{BC}$
- $Z_3 = 1.2 (Z_{AB} + Z_{BC})$

### Regla 02:

- $Z_1 = 0,85 Z_{AB}$
- $Z_2 = 0,85 (Z_{AB} + 0,85 Z_{BC})$
- $Z_3 = 0,85 (Z_{AB} + 0,85 (Z_{BC} + 0,85 Z_{CD}))$

# Consultas?



## Protección Diferencial (87)

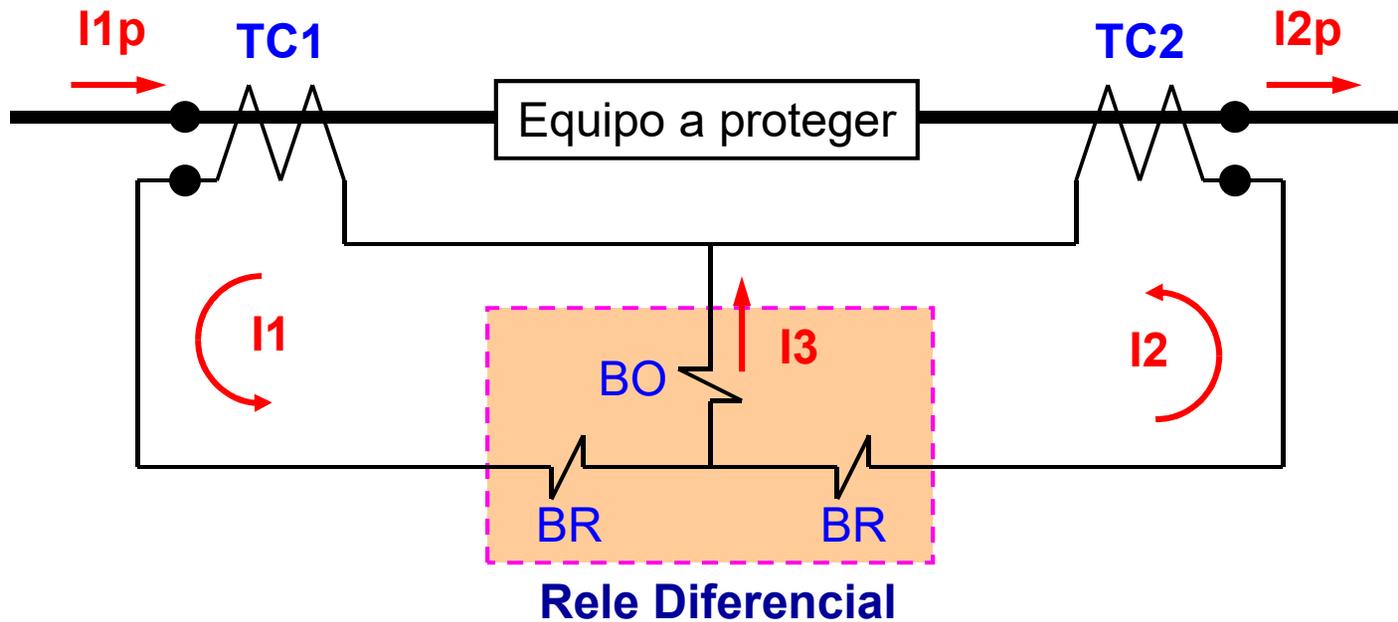
- ❖ Detecta fallas al interior de la zona protegida
- ❖ Están formados por 3 bobinas:
  - ✓ 2 de restricción; y
  - ✓ 1 de operación.
- ❖ La operación se produce cuando existe una diferencia entre estas corrientes.
- ❖ El más comúnmente usado es el relé diferencial de porcentaje.

# Protección Diferencial (87)

- ❖ Doble pendiente:
  - 1ª: asegura la sensibilidad en fallas internas durante condiciones de carga
  - 2ª: Estabilidad frente a condiciones de falla de gran magnitud que están situadas fuera de la zona protegida
- ❖ Sensibilidad: Depende del valor de la  $I_{dif}$  durante condiciones normales de operación

# Protección Diferencial (87)

## ❖ Circuito Elemental:

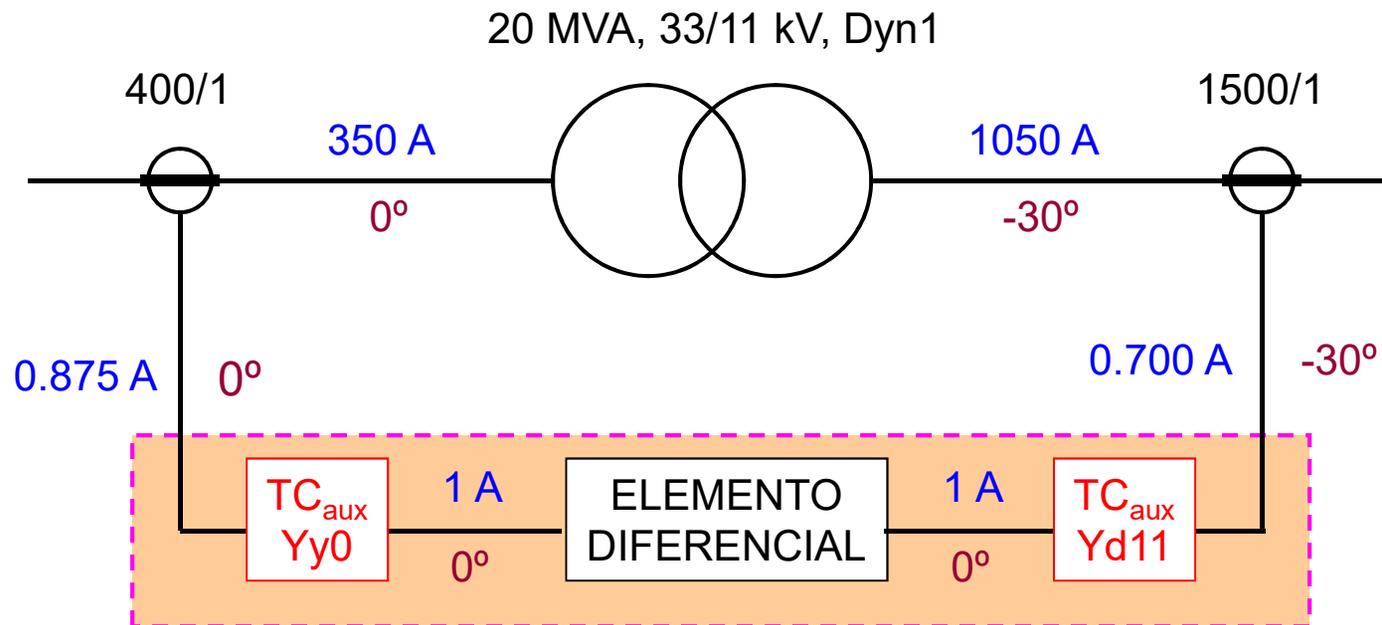


Corriente de operación  $I_3$  es proporcional a  $(I_1 - I_2)$

Corriente en bobinas BR es proporcional a  $(I_1 + I_2)/2$

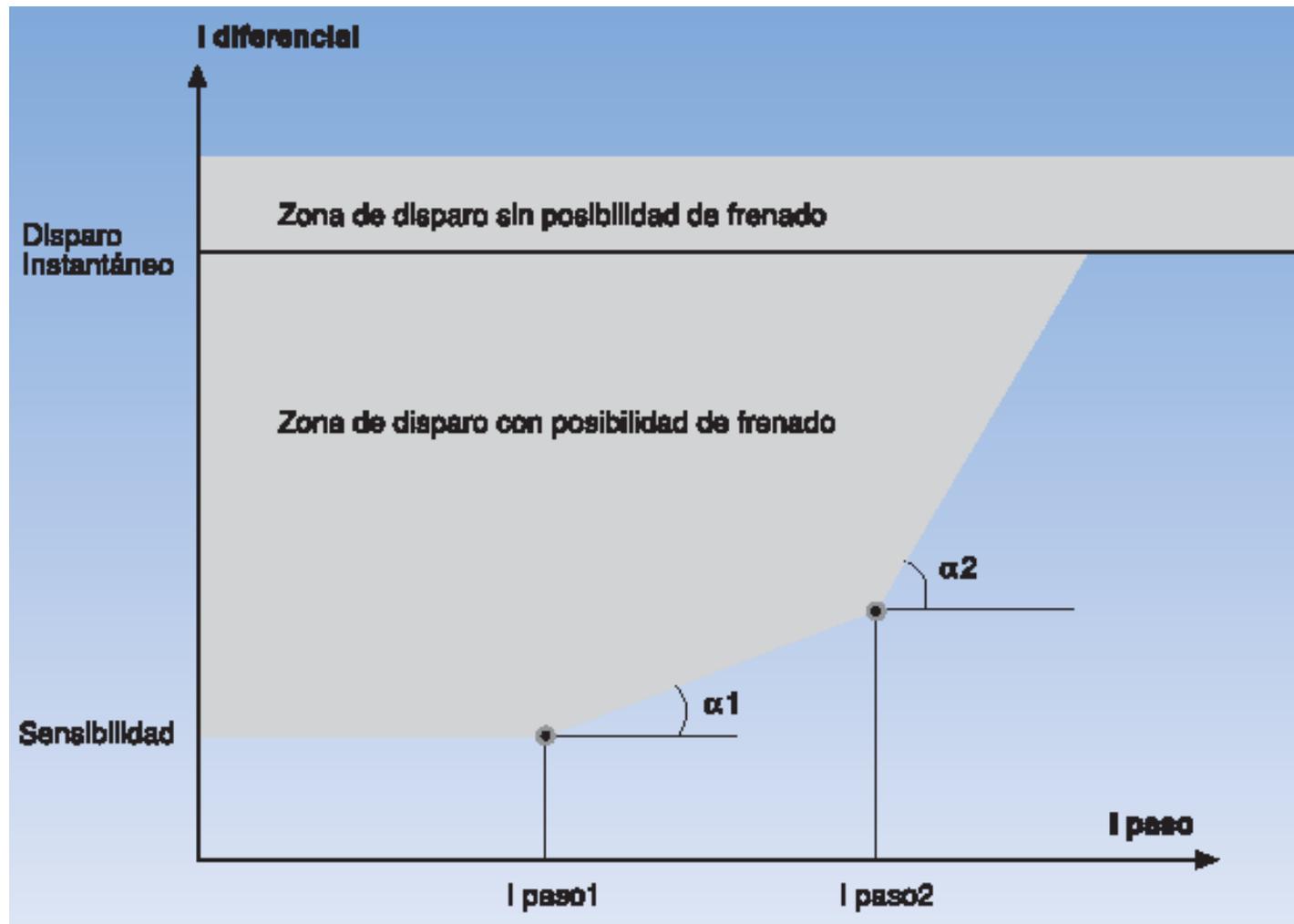
# Protección Diferencial (87)

## ❖ Corrección de Ratio y Grupo



- La relación de transformación y grupo de conexión se corregía mediante TC's auxiliares.
- Los actuales relés digitales lo corrigen por software.

# Protección Diferencial (87)



# Protección Diferencial (87)

## ❖ Corriente Inrush

- ❖ Condición transitoria que ocurre cuando:
  - Se energiza un transformador
  - Se restablece el sistema luego de una falla
  - Se energizan 2 transformadores en paralelo
- ❖ No es una condición de falla interna, por ello se debe inhibir la operación del relé diferencial ante la presencia de Inrush.
- ❖ Se ha encontrado que la Inrush presenta alto contenido de 2º armónico.