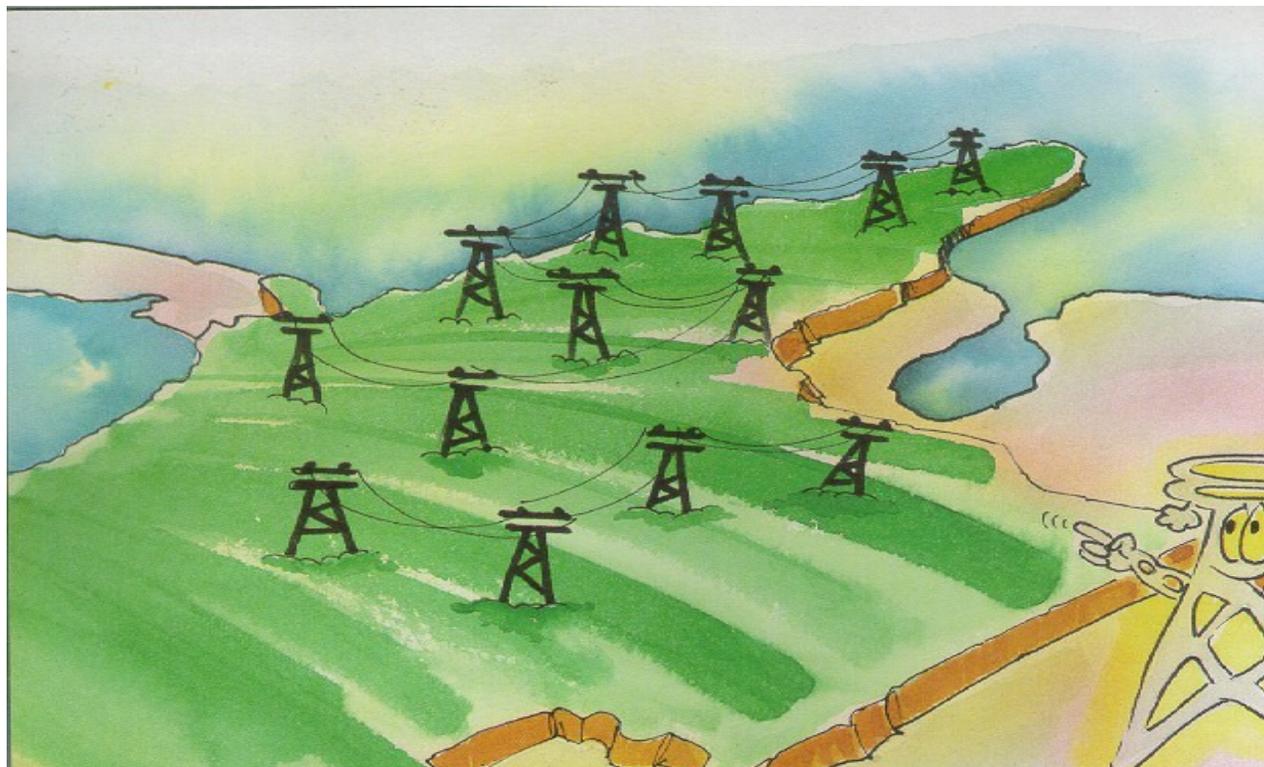




# PROTECCIÓN – FUNDAMENTOS PRINCIPIOS DE LAS PROTECCIONES



## PROTECCIONES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Jorge Antonio Jaimes Báez - MPE Ingeniero Eléctricista

# BIBLIOGRAFÍA

- **Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia** – Héctor Jorge Altuve Ferrer- Universidad Autónoma de Nuevo León- México
- **GUÍAS PARA EL BUEN AJUSTE Y LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL STN.** Ingeniería Especializada Blandon – IEB – Julio 2000
- **Curso Protecciones Eléctricas** – Ingeniería Especializada Blandon – 2011
- **Protective relaying – Principles and applications.** J Lewis Blackburn Marcel Dekker, Inc. – 1987
- **IEEE BUFF BOOK - Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems** IEEE Industrial and Commercial Power Systems Committee. 1990
- **Electrical Distribution-System Protection.** Cooper Power Systems. Third Edition – 1990
- **Manual de Protecciones para Sistemas Eléctricos de Potencia.** Orlando Ortiz, César Rozo, Sandra Mendoza, William Chaparro. U. Nacional – ISA -2000
- **Protecciones Eléctricas – Notas de Clase.** Gilberto Carrillo Caicedo. UIS. 2007
- **Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión** – Segunda Edición. HVM - Mejía y Villegas Consultores.

# INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizará una descripción de los principales principios de las funciones de protección y su característica de funcionamiento, para de esta manera obtener una claridad en las ventajas y desventajas de cada de las funciones y así lograr determinar su aplicación en la protección de cada uno de los equipos de un sistema de potencia o distribución

## PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

Ésta protección es la forma más simple y la menos costosa de proteger un equipo. La protección de sobrecorriente aclara las fallas con un retardo de tiempo que depende de la magnitud de corriente circulante, suministrando un respaldo para otros equipos.

Cuando los equipos se protegen con relés de sobrecorriente, es necesario buscar la coordinación con los demás dispositivos de protección, no sólo del equipo protegido sino también de los elementos adyacentes (líneas, alimentadores, transformadores, etc.).

## PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

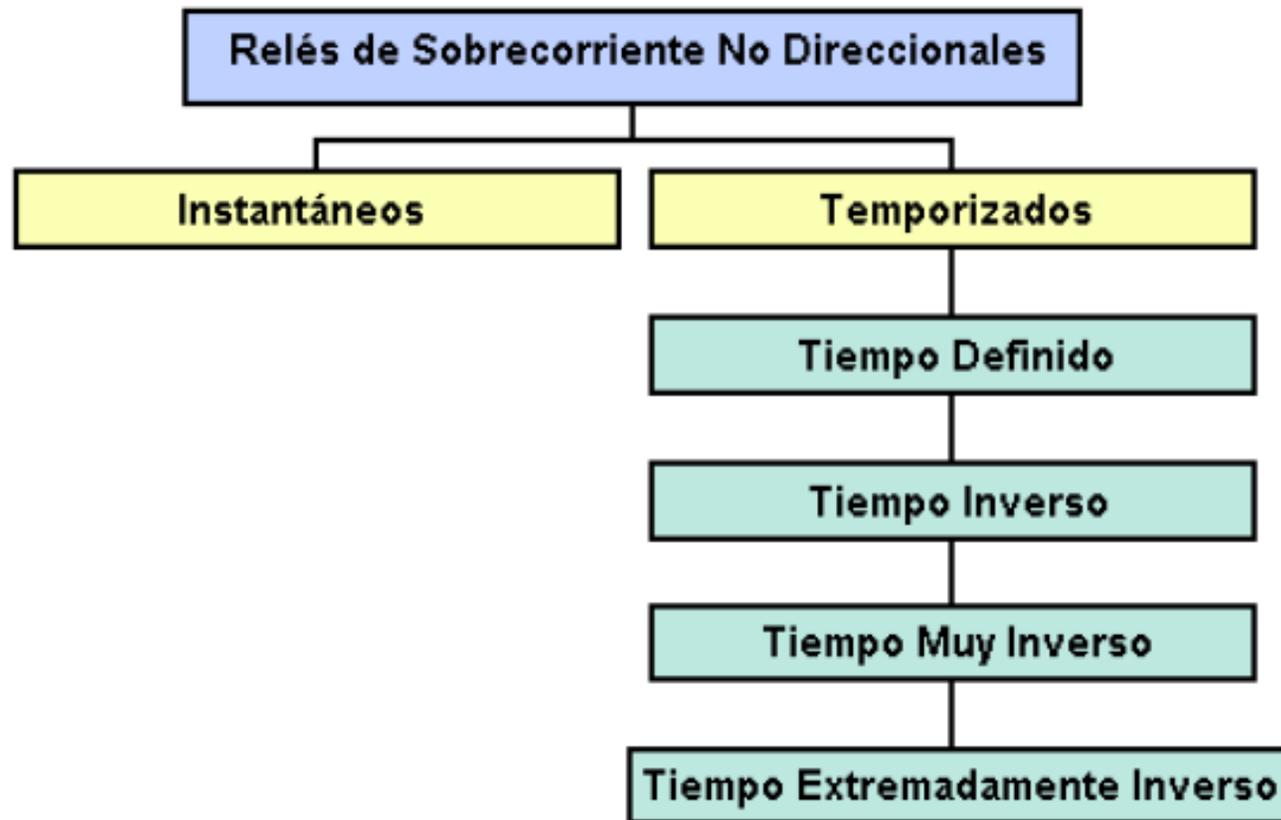
Son relés cuya operación depende de la magnitud de la corriente a través del equipo que se está protegiendo. La característica de operación puede ser de tiempo inverso, de tiempo definido o instantánea.

- Un relé de sobrecorriente instantáneo opera cuando la corriente supera un umbral de ajuste, el tiempo de retardo de la operación no es intencional y depende del equipo
- Un relé de tiempo definido opera cuando la corriente supera un umbral y tiene un retardo intencional fijo en el tiempo de operación.
- Un relé de tiempo inverso opera cuando la corriente supera un umbral y tiene un retardo intencional inversamente proporcional a la magnitud de la corriente. Con mayor corriente, el tiempo de operación es menor y viceversa.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## TIPOS DE RELÉS SOBRECORRIENTE

La clasificación de los relés de sobrecorriente no direccionales se presenta en el siguiente esquema:



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

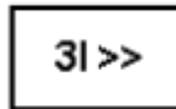
## RELÉS INSTANTÁNEOS

### SIMBOLOGÍA

Relé Instantáneo de  
Sobrecorriente



Según  
ANSI / IEEE

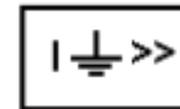


Según IEC

Relé Instantáneo de  
Sobrecorriente  
de Tierra



Según  
ANSI / IEEE



Según IEC

Son los relés que operan sin un retardo de tiempo intencional. Opera de manera inmediata cuando alcanza el valor de corriente definido

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

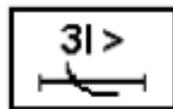
## RELÉS TEMPORIZADOS

### SIMBOLOGÍA

Relé Temporizado de  
Sobrecorriente



Según  
ANSI / IEEE

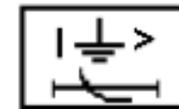


Según IEC

Relé Temporizado de  
Sobrecorriente  
de Tierra



Según  
ANSI / IEEE



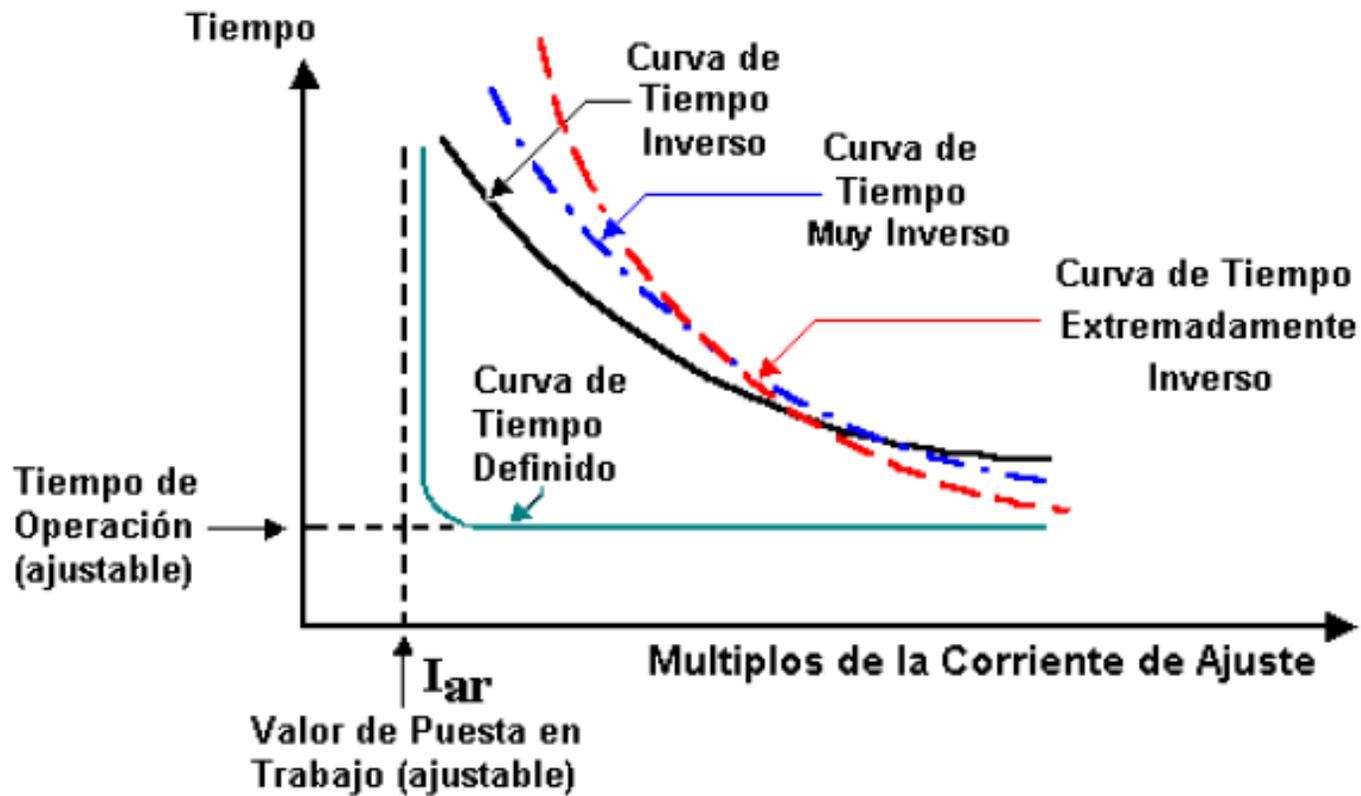
Según IEC

Son los relés que tienen tiempo de operación definidos o tiempos que son inversamente proporcional a la magnitud de la corriente. Se utilizan principalmente en alimentadores simples o radiales.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## RELÉS TEMPORIZADOS

CURVAS CARACTERÍSTICAS TIEMPO-CORRIENTE DE LOS RELÉS TEMPORIZADOS



## PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

### SOBRECORRIENTES DE TIEMPO DEFINIDO

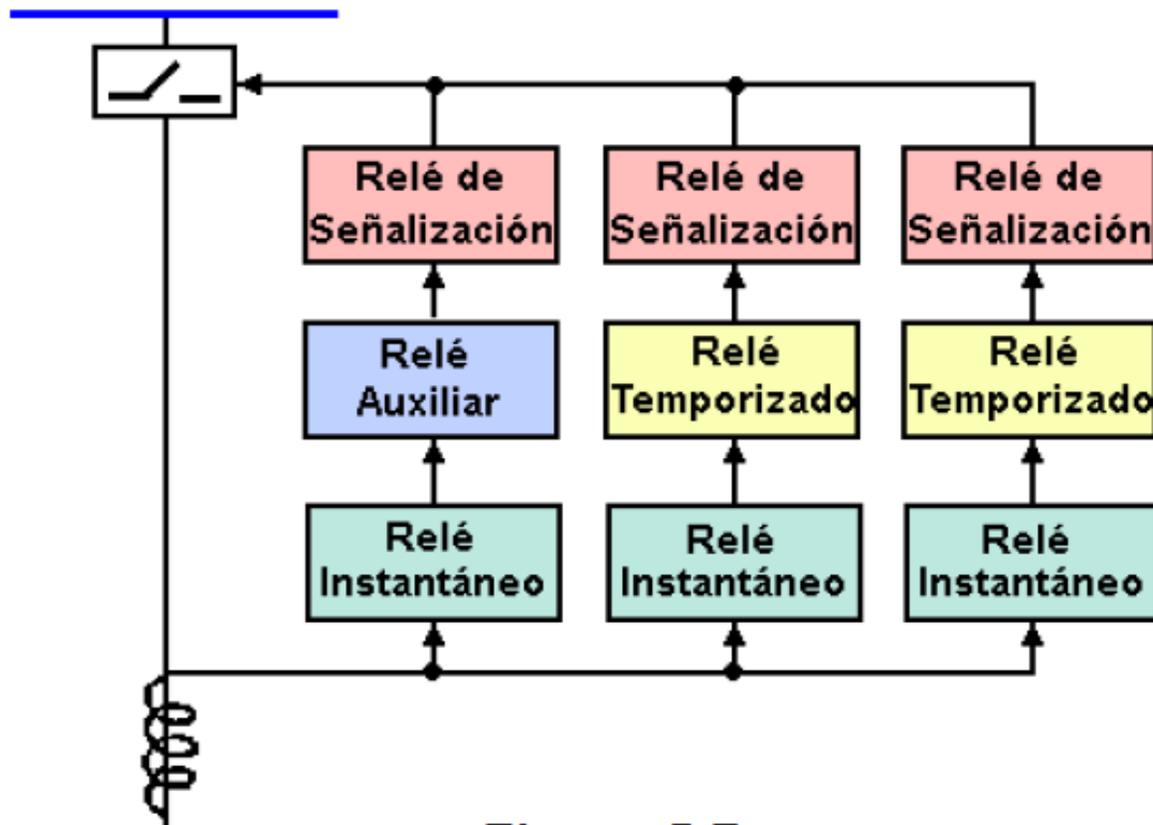
En los relés de tiempo definido, la temporización es siempre la misma, cualquiera que sea la magnitud eléctrica que provoca el funcionamiento del relé.

La variante más utilizada de la protección de sobrecorriente de tiempo definido, es la que tiene dos o tres zonas o escalones con diferentes tiempos de operación, el primero de los cuales es instantáneo.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

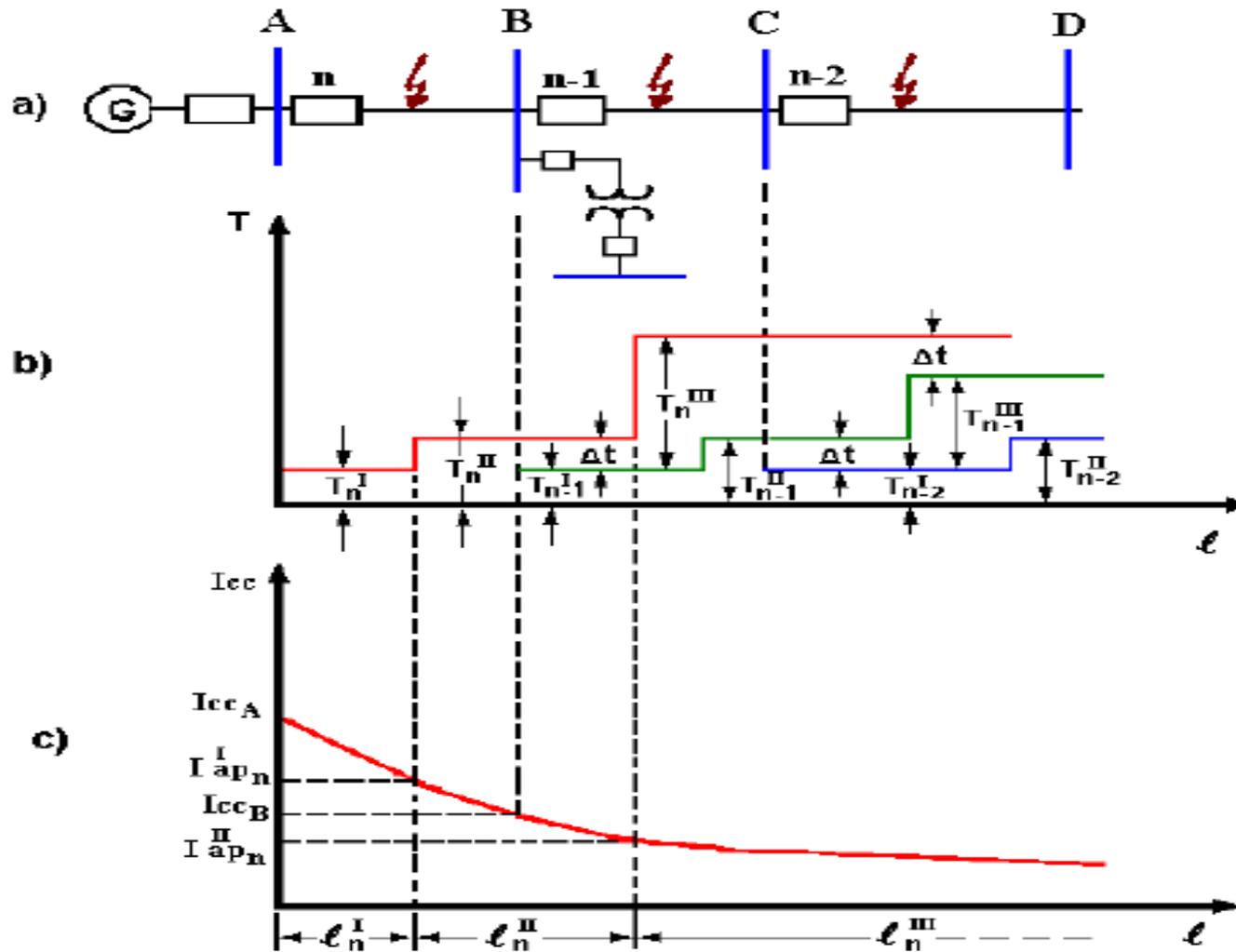
## SOBRECORRIENTES DE TIEMPO DEFINIDO

DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO DEFINIDO DE TRES ESCALONES



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO DEFINIDO DE UNA RED RADIAL



a) Esquema de la Red    b) Características  $T = f(l)$     c) Curva  $I_{cc} = f(l)$

# SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO

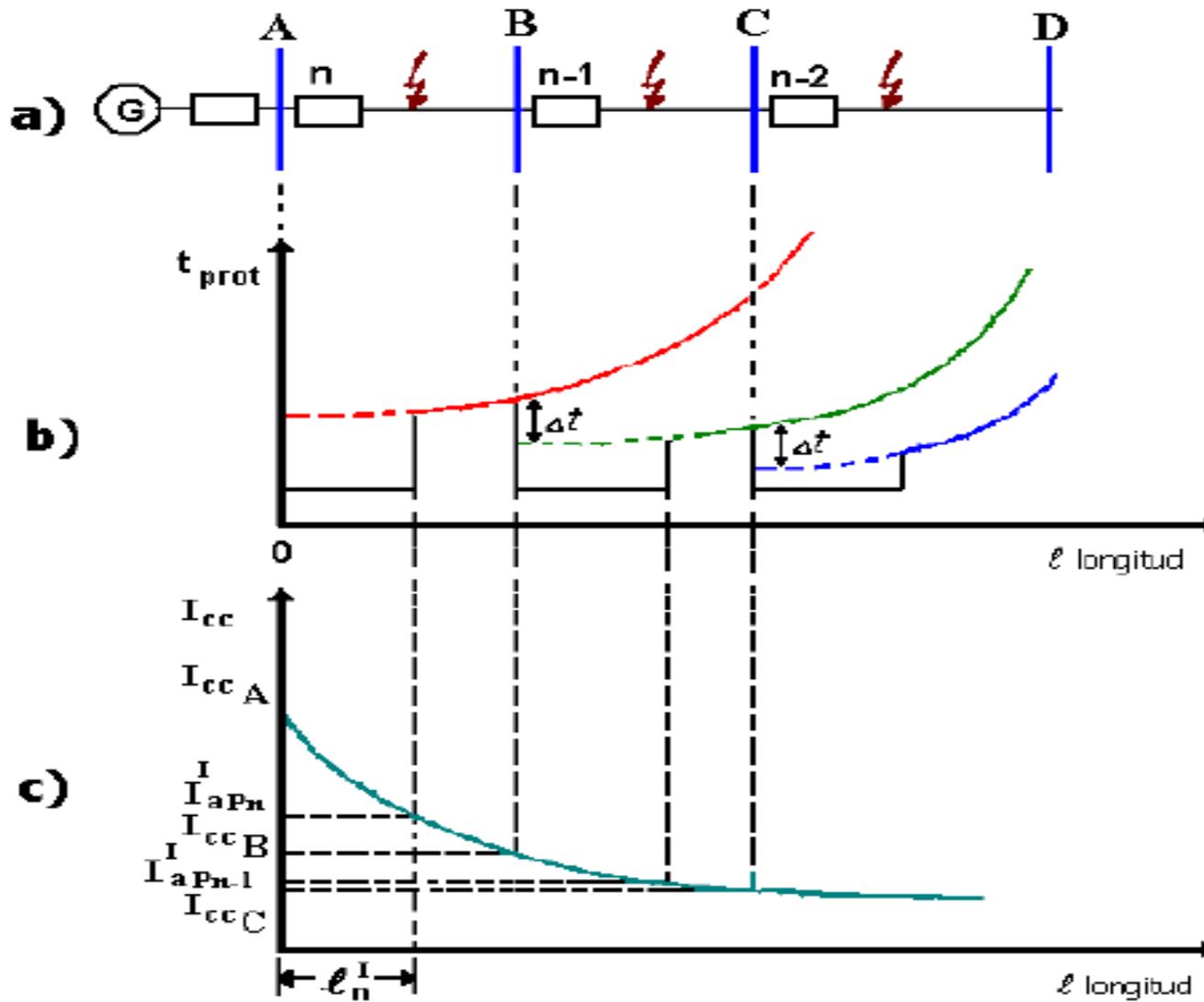
Las características de operación dependen del tipo de curvas características tiempo-corriente que sean tenga el relé, tales como:

- Inversa
- Moderadamente Inversa
- Muy Inversa
- Extremadamente Inversa

La calibración de un relé de sobrecorriente se hace seleccionando:

- El valor de arranque que corresponde al mínimo valor de corriente a partir del cual la curva entra a operar
- El ajuste de tiempo o selección de la curva a utilizar.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)



Protección de sobrecorriente de tiempo inverso de una red radial.  
 a) Esquema de la red    b) Características  $t = f(l)$     c) Curva  $I_{cc} = f(l)$

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## CURVAS IEC

La norma IEC-255-4 establece las siguientes ecuaciones para los relés de sobrecorriente de tiempo inverso:

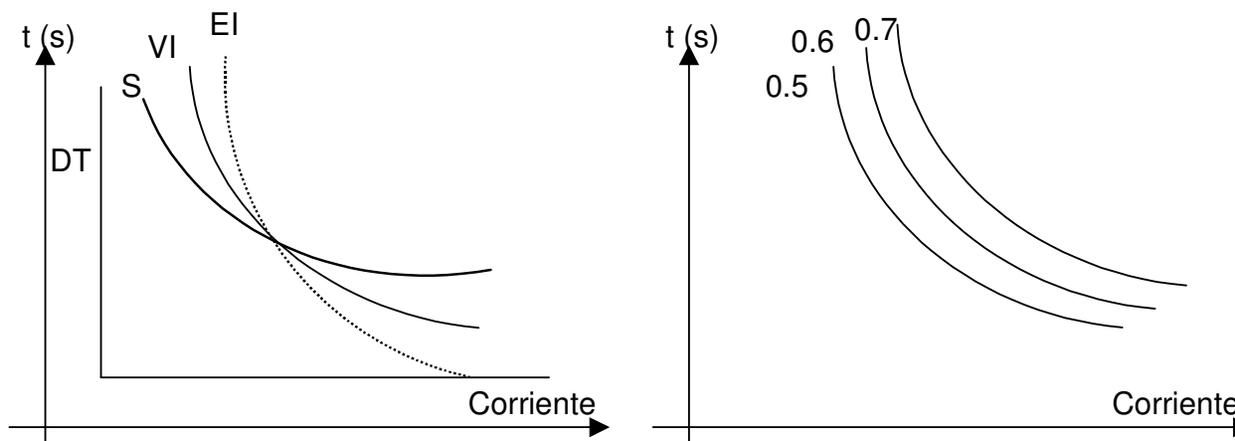
$$t = \frac{k}{\left[ \left( \frac{I}{I_p} \right)^\alpha - 1 \right]} \times tp$$

|          | Normal inversa | Muy Inversa | Extremadamente inversa | Back up de tiempo largo |
|----------|----------------|-------------|------------------------|-------------------------|
| K        | 0.14           | 13.5        | 80                     | 120                     |
| $\alpha$ | 0.02           | 1           | 2                      | 1                       |

Dónde:

tp: Ajuste o dial de tiempo (time setting)

I<sub>p</sub>: Corriente de puesta e trabajo o Pick up



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## CURVAS ANSI

Las curvas ANSI curvas se encuentran definidas de acuerdo con la norma ANSI C37.112, las cuales tienen la siguiente ecuación:

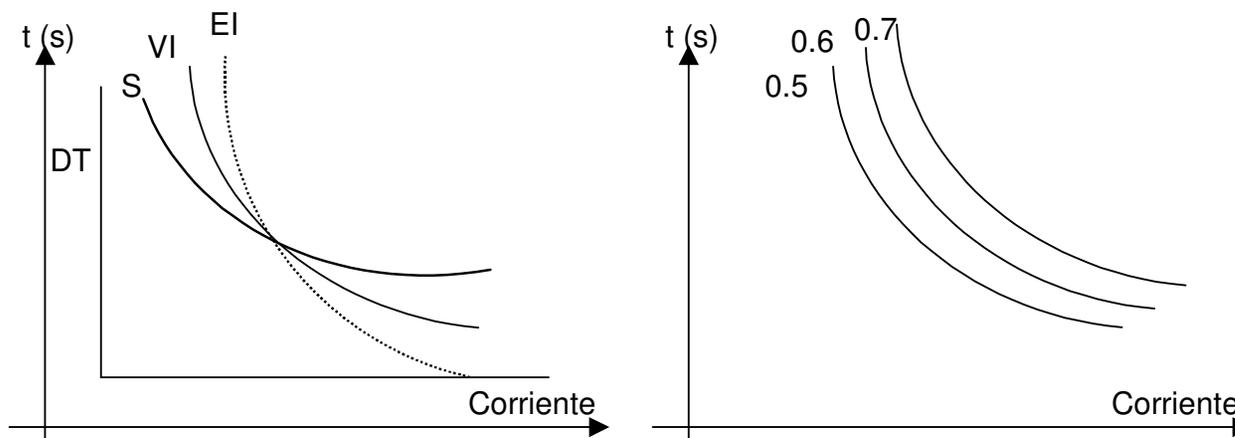
$$t = \frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} + B$$

| Characteristic     | A      | B      | p        | t <sub>r</sub> |
|--------------------|--------|--------|----------|----------------|
| Moderately inverse | 0.0515 | 0.1140 | 0.020 00 | 4.85           |
| Very inverse       | 19.61  | 0.491  | 2.0000   | 21.6           |
| Extremely inverse  | 28.2   | 0.1217 | 2.0000   | 29.1           |

Dónde:

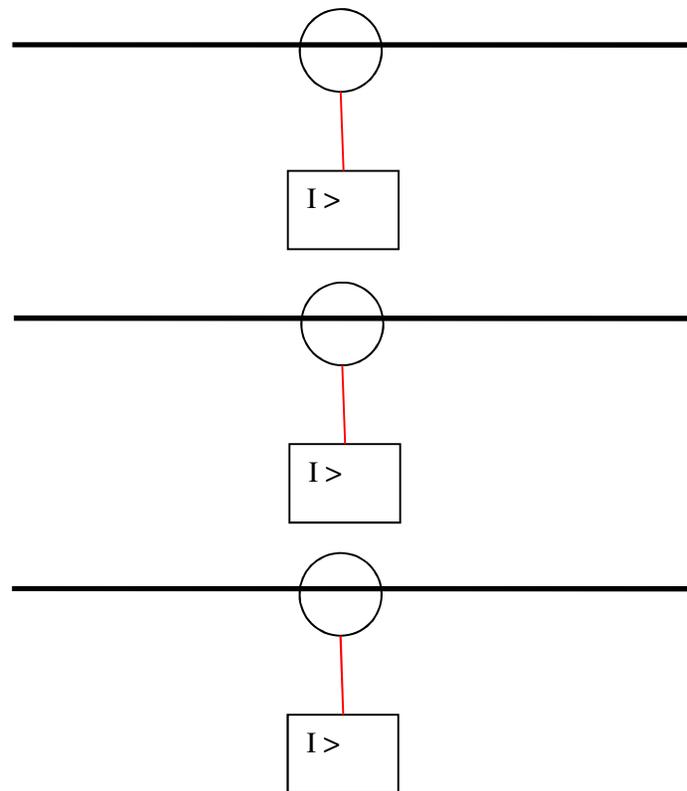
A, B, p: constantes que dependen del tipo de curva

I<sub>s</sub>: Corriente de puesta de trabajo o Pick up



## SOBRECORRIENTE DE FASES

Operan con la corriente de cada fase, por lo cual operan para todo tipo de falla. El ajuste de la corriente de arranque debe estar por encima de la máxima corriente de carga esperada.



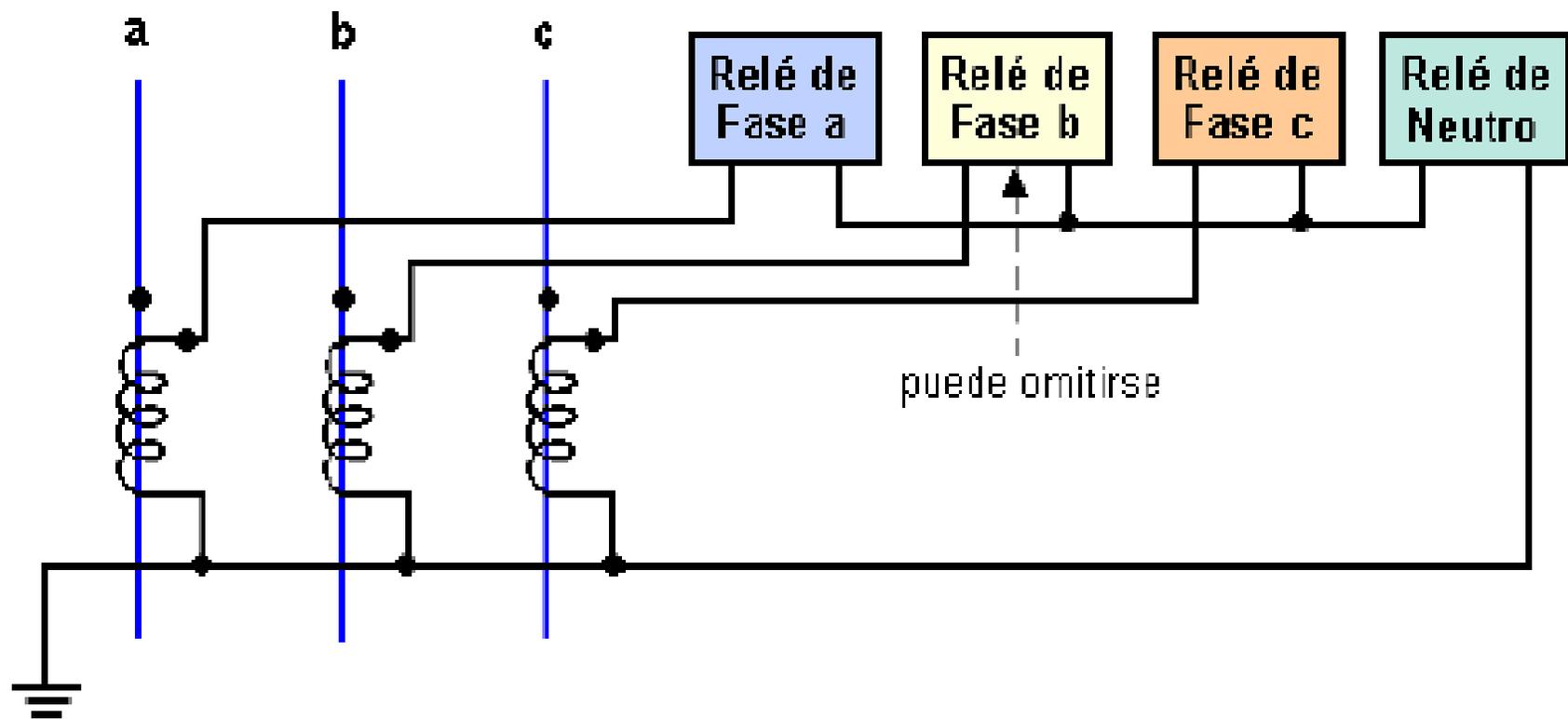
### SOBRECORRIENTE DE FASES

- Esta protección normalmente se ajusta para que detecte la menor corriente de falla en su área de influencia, y permita la operación normal y en contingencia.
- La corriente de arranque normalmente se selecciona entre el 100% y el 130% de la corriente nominal del equipo a proteger (transformadores, cables, motores, etc.)
- Es recomendable que los diferentes dispositivos de protección tengan el mismo tipo de curva, para lo cual es recomendable utilizar equipos con curvas normalizadas IEC o IEEE, o equipos del mismo fabricante.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## SOBRECORRIENTE DE FASES

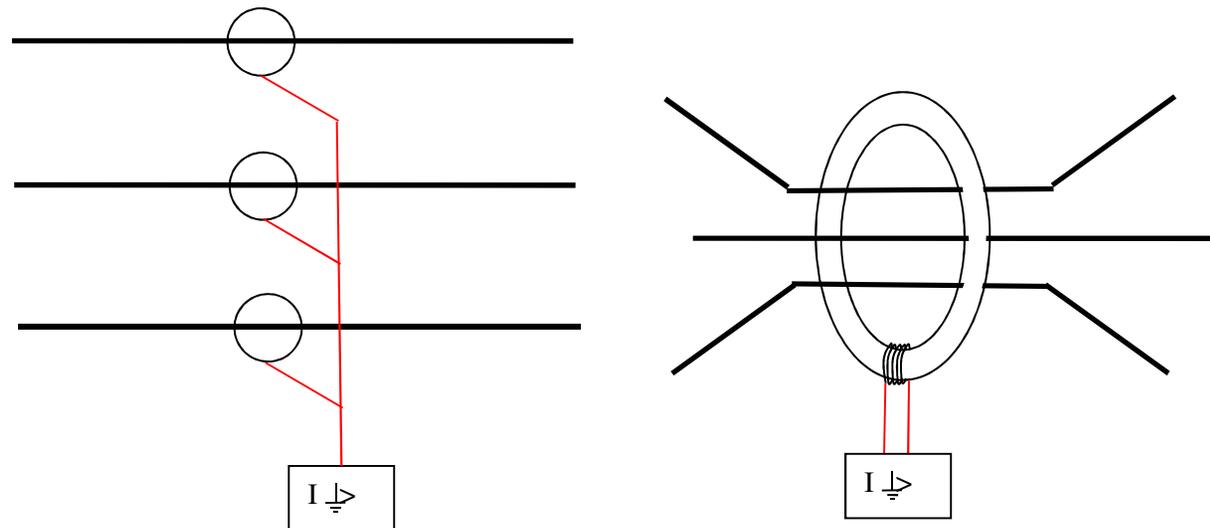
### CONEXIÓN TÍPICA DE RELÉS DE SOBRECORRIENTE



## PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

### SOBRECORRIENTE DE TIERRA

Operan con la corriente de tierra o la corriente residual. Su ventaja es que pueden tener ajustes considerablemente más bajos que los ajustes de los relés de fases. La corriente residual se puede obtener por suma de corrientes en el primario o en el secundario.

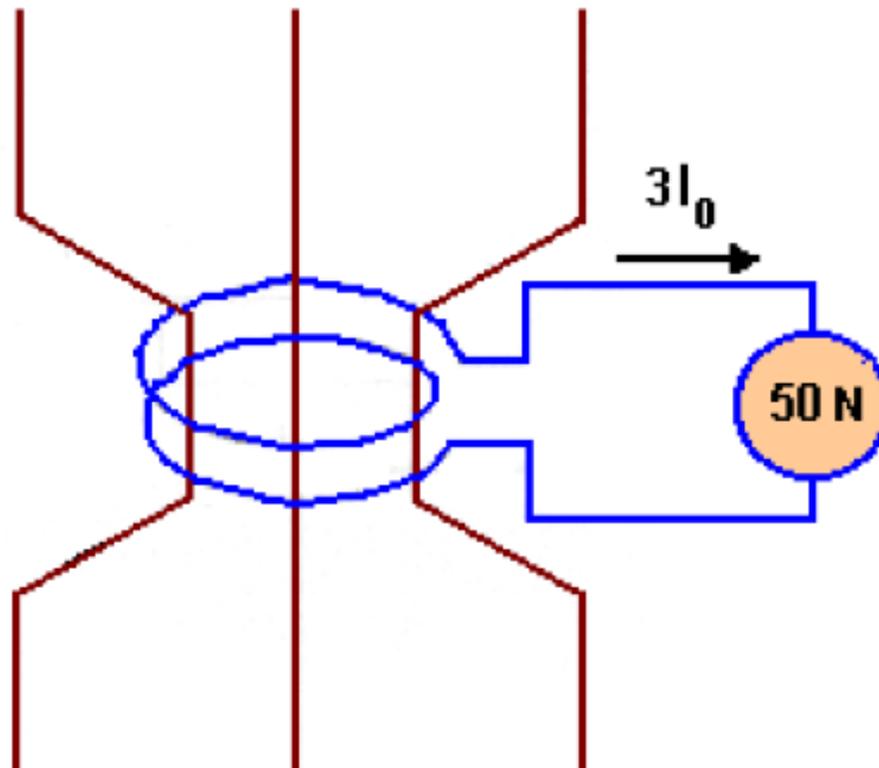


### SOBRECORRIENTE DE TIERRA

- Los elementos de tierra se recomienda ajustarlos con una corriente residual baja, de tal forma que se garantice una buena sensibilidad ante fallas de alta impedancia. Normalmente la corriente de arranque se ajusta alrededor del 20% de la corriente nominal del equipo a proteger.
- Para su ajuste deben tenerse en cuenta la corriente residual que exista en régimen permanente y la corriente residual que puede ver el relé debido a los errores de los transformadores de corriente.
- Al igual que en los sobrecorrientes de fases, las curvas de los diferentes dispositivos deben ser de la misma familia para facilitar la coordinación.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

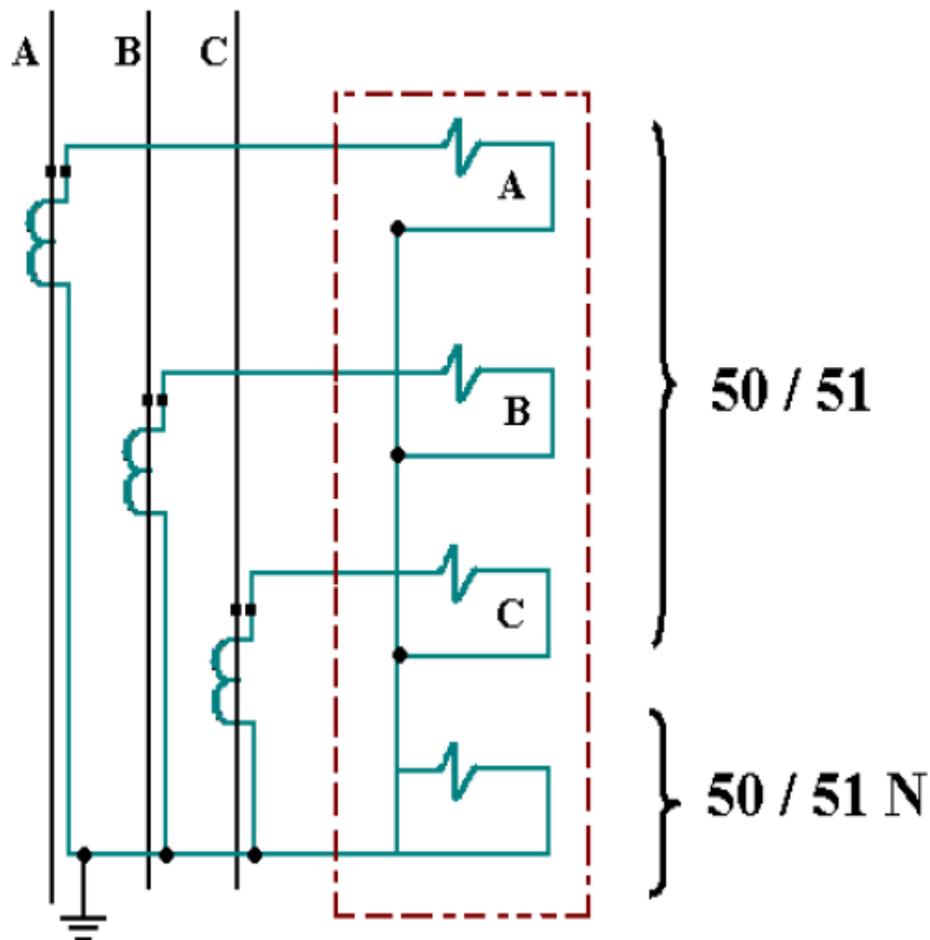
## RELÉ DE SECUENCIA CERO



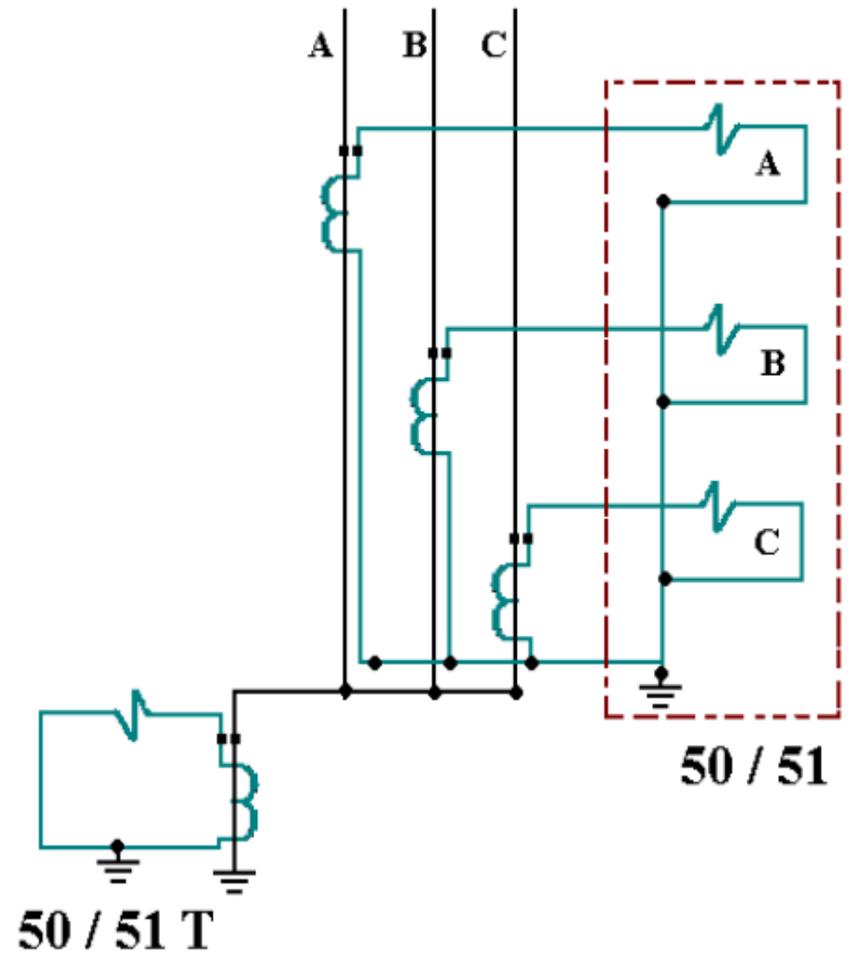
# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## CONEXIÓN CT's

CONEXIÓN EN ESTRELLA



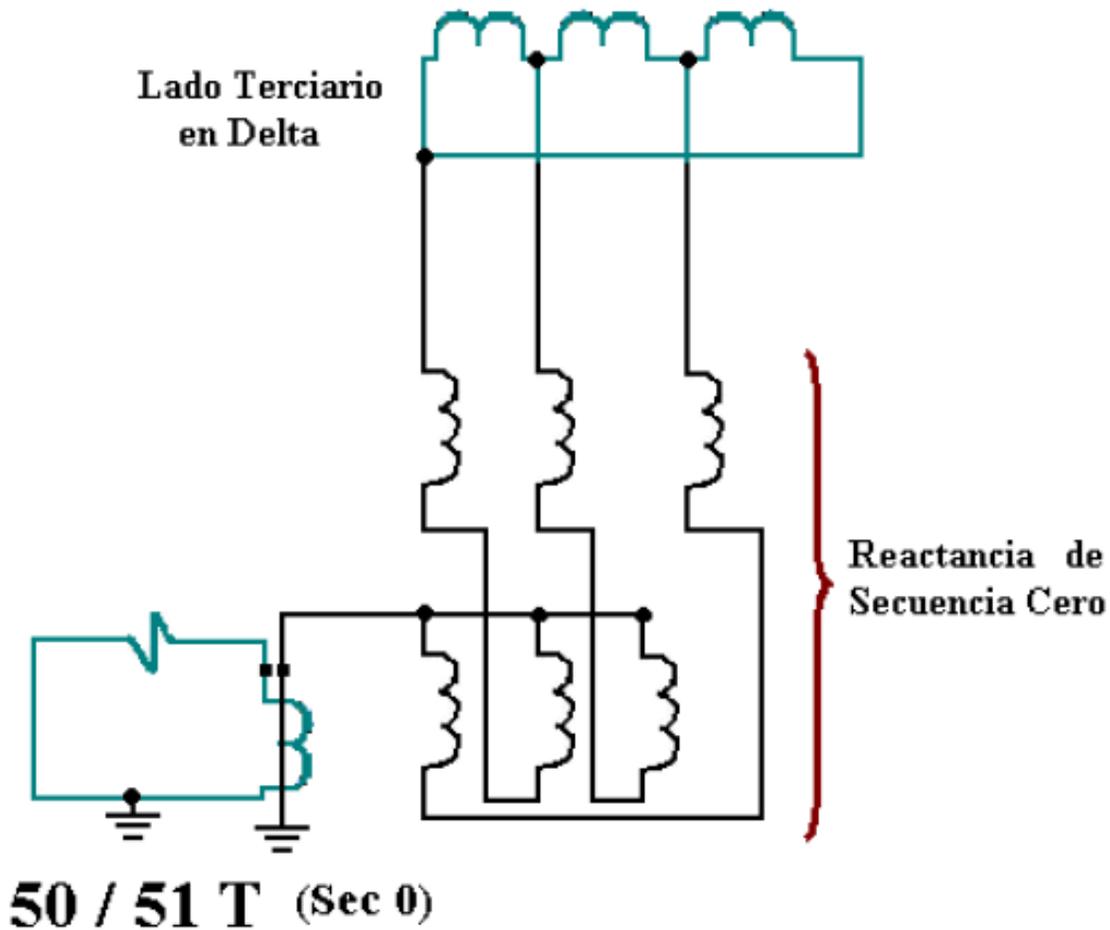
CON CONEXIÓN RESIDUAL



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## CONEXIÓN CT's

### CONEXIÓN PARA SECUENCIA CERO

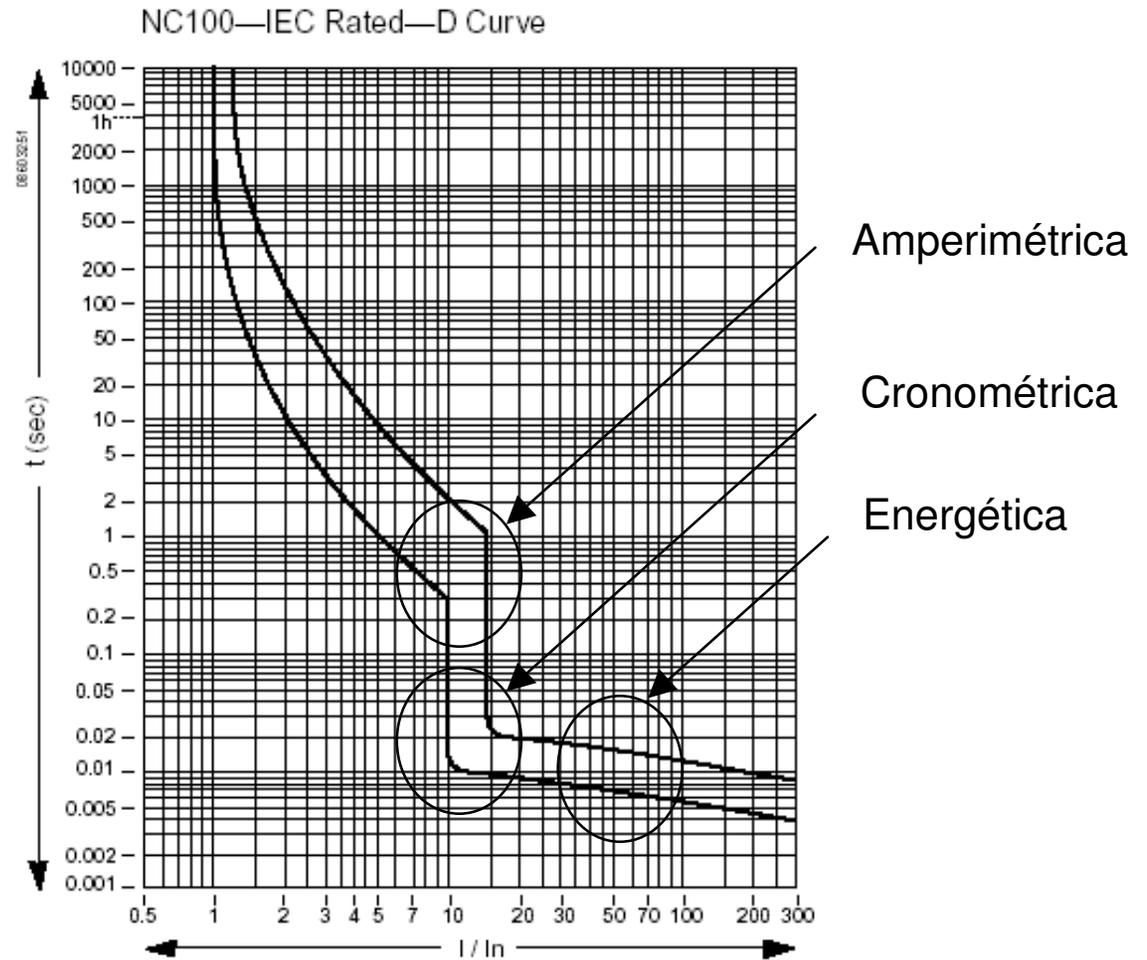
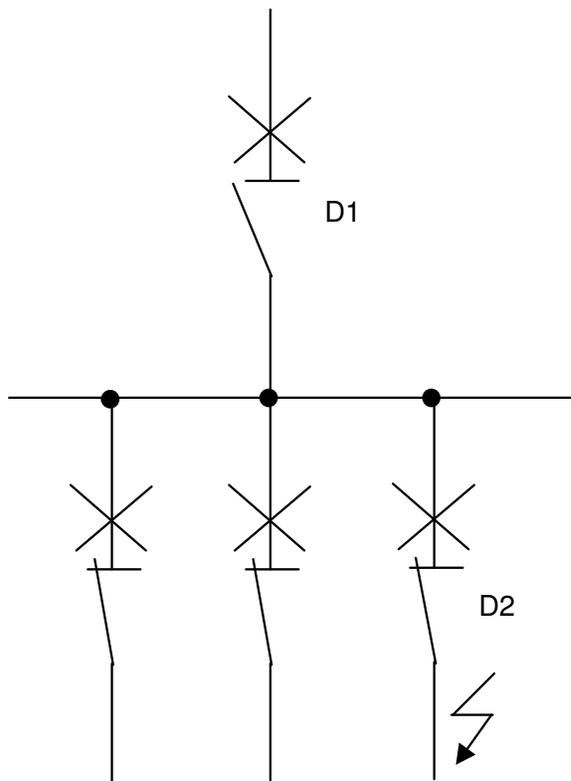


### CRITERIOS DE SELECTIVIDAD

- **Selectividad amperimétrica:** la selectividad se garantiza porque el dispositivo de protección aguas abajo detecta la falla, mientras que para el dispositivo aguas arriba no la detecta (no arranca).
- **Selectividad cronométrica:** el disparo del aparato aguas arriba está ligeramente temporizado; el disparo del aparato de aguas abajo es más rápido.
- **Selectividad energética:** la energía disipada en el aparato de aguas arriba es insuficiente para provocar su disparo, ya que el aparato de aguas abajo lo limita fuertemente (durante el corto solo pasa una corriente de falla inferior a corriente de la especificación). Se utiliza en interruptores termomagnéticos.

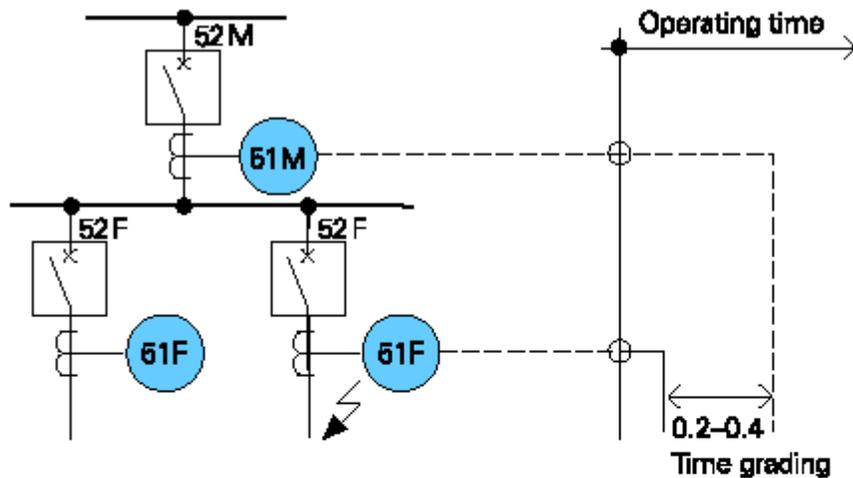
# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## CRITERIOS DE SELECTIVIDAD



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## TIEMPO DE COORDINACIÓN



$$t_{rs} = t_{51M} - t_{51F} = t_{52F} + t_{OS} + t_M$$

Example 1  $t_{TG} = 0.10 \text{ s} + 0.15 \text{ s} + 0.15 \text{ s} = 0.40 \text{ s}$

Oil circuit-breaker  $t_{52F} = 0.10 \text{ s}$

Mechanical relays  $t_{OS} = 0.15 \text{ s}$

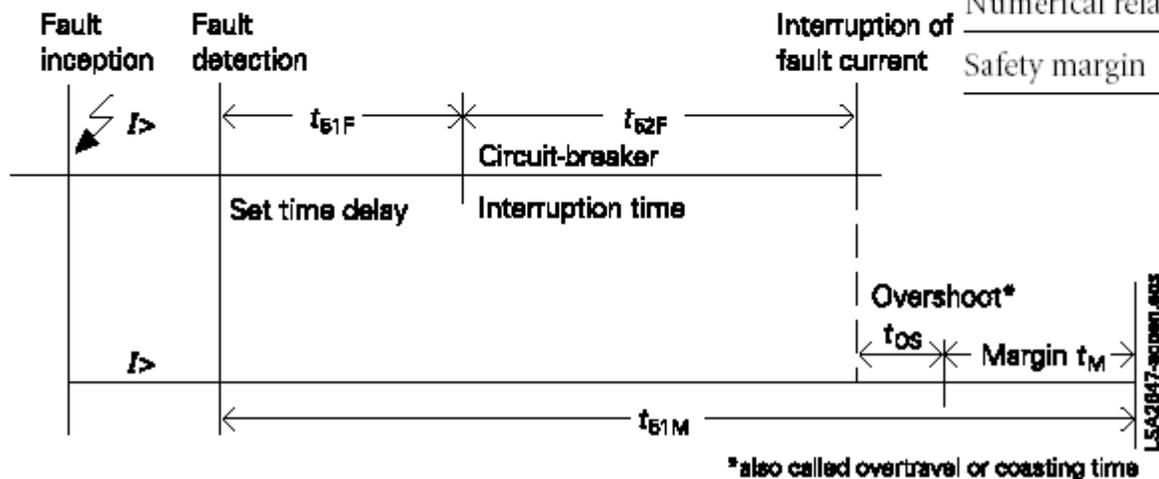
Safety margin for measuring errors etc.:  $t_M = 0.15 \text{ s}$

Example 2  $t_{TG} = 0.08 + 0.02 + 0.10 = 0.20 \text{ s}$

Vacuum circuit-breaker  $t_{52F} = 0.08 \text{ s}$

Numerical relays  $t_{OS} = 0.02 \text{ s}$

Safety margin  $t_M = 0.10 \text{ s}$



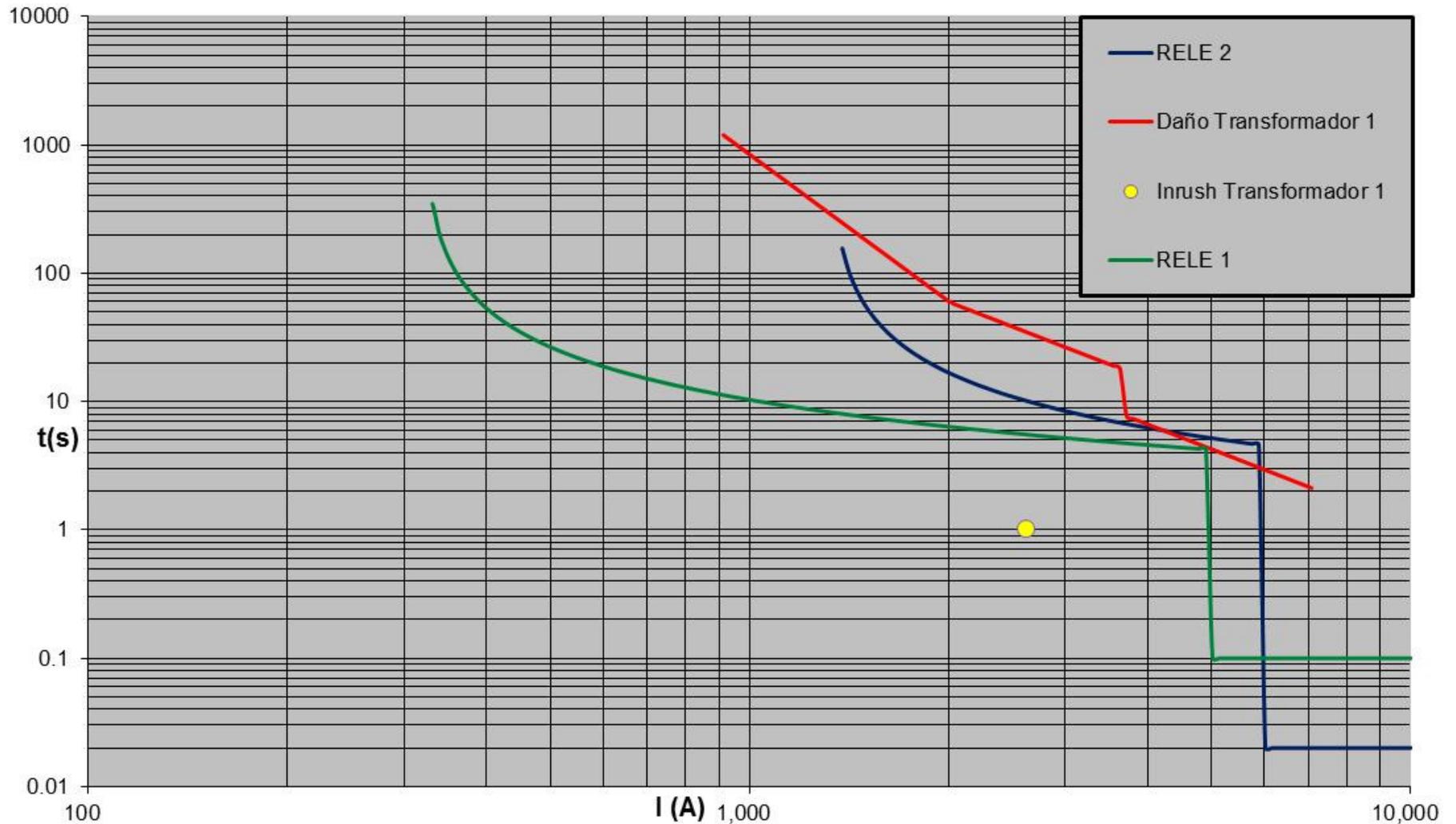
# GRÁFICAS DE COORDINACIÓN

Las gráficas de coordinación de protecciones deben mostrar los relés y dispositivos de protección para visualizar la coordinación. Además, se deben mostrar las características de soportabilidad de los equipos protegidos para verificar que la protección es la adecuada. También se deben mostrar curvas que pueden afectar a las protecciones, tales como corrientes inrush de transformadores y corrientes de arranque de motores.

Para éstas gráficas se utilizan escalas logarítmicas, las cuales permiten visualizar tiempos desde los milisegundos hasta minutos.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE (50, 51)

## GRÁFICAS DE COORDINACIÓN



### RESUMEN

- Únicamente necesitan información de corrientes
- Es económico y simple.
- Los elementos de fase (51) tienen baja sensibilidad
- Los elementos de tierra (51N) tienen alta sensibilidad
- Requieren revisión frecuente de ajustes
- Aplicación principal: líneas radiales, especialmente de distribución o en sistemas industriales.

## PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

- Son relés que detectan la dirección hacia la cual se presenta la falla
- Los relés direccionales se utilizan principalmente en sistemas enmallados donde la corriente de falla o de carga puede fluir en ambas direcciones, dado que la fuente no se encuentra ubicada a un solo lado del sistema.
- La coordinación de relés, presenta una mayor simplicidad.
- Este tipo de relés requiere las señales tanto de corriente como de tensión para determinar la dirección de la falla. Los relés direccionales de fase son polarizados por el voltaje de fase, mientras que los relés de tierra emplean varios métodos de polarización, usando cantidades de secuencia cero o de secuencia negativa.
- Los elementos direccionales se utilizan en conjunto con relés de sobrecorriente o de impedancia para mejorar la selectividad.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Se denomina protección direccional de sobrecorriente a aquella que responde al valor de la corriente y a la dirección de la potencia de cortocircuito en el punto de su ubicación. La protección opera si la corriente sobrepasa el valor de arranque y la dirección de la potencia coincide con la correspondiente a un circuito en la zona protegida.

Se compone de una protección de sobrecorriente con selectividad relativa, complementada con un órgano de medición que determina la dirección de la potencia de cortocircuito, que es el denominado relé direccional.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

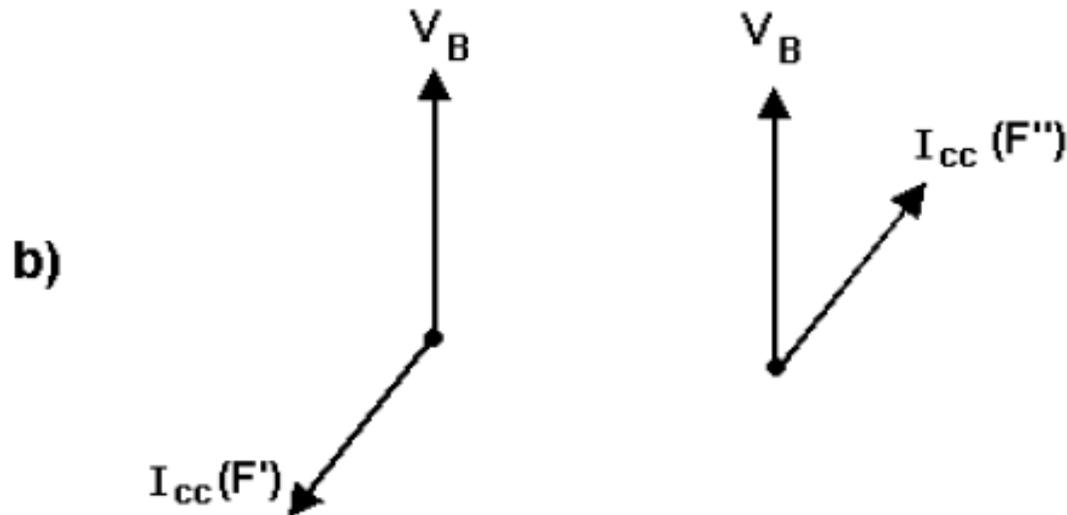
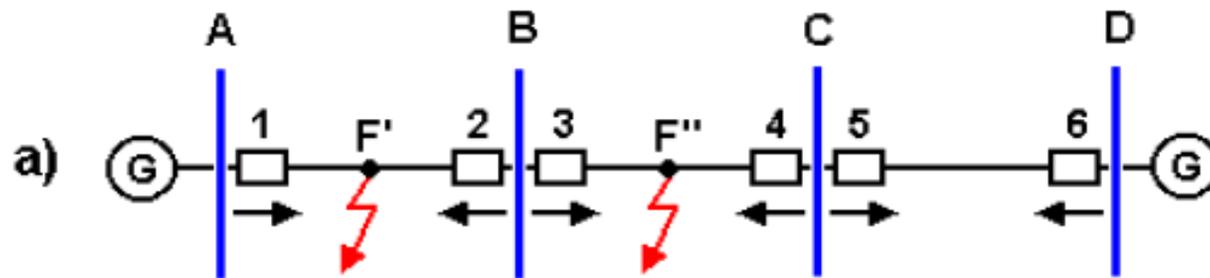
La necesidad de la direccionalidad puede demostrarse a partir de la red con alimentación bilateral mostrada en la figura. Para lograr la selectividad por tiempo entre las protecciones de sobrecorriente 2 y 3 de esta red, la protección 2 debe estar más rápida que la 3 para la falla  $F'$  y más lenta para la falla  $F''$ , lo cual es imposible de cumplir.

La adición de relés direccionales en las protecciones de la red, cuyas direcciones de operación son las indicadas por las flechas en la figura, resuelve estos problemas. La protección 3 no responde al cortocircuito  $F'$  y la protección 2 no opera para el cortocircuito  $F''$ .

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

RED CON ALIMENTACIÓN BILATERAL Y DIAGRAMAS FASORIALES PARA CORTOCIRCUITOS EN DOS PUNTOS



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

De acuerdo con su direccionalidad, las protecciones de la red de la figura a, se dividen en dos grupos: 2, 4, 6 y 5, 3, 1. Las protecciones del primer grupo pueden solamente operar para cortocircuitos que ocurran a la izquierda de su punto de ubicación, mientras que las del segundo grupo lo hacen para cortocircuitos a su derecha. Esto da la posibilidad de seleccionar los parámetros de ajustes de forma independiente para las protecciones de cada grupo, como si estuvieran en una red radial.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

La dirección de la potencia del cortocircuito se caracteriza por los ángulos de desfase entre las corrientes y tensiones, así por ejemplo, para la protección 3 de la figura a, la tensión de la barra B no cambia apreciablemente su ángulo para las fallas  $F'$  y  $F''$ , mientras que la corriente que pasa por la protección tiene ángulos de fase que difieren en unos 180 grados para ambas fallas, como se aprecia en la figura b. Por lo tanto, un relé direccional ubicado en la protección 3, que responda al ángulo de fase entre la tensión en B y la corriente de cortocircuito, discrimina entre las fallas en la línea protegida BC y las fallas en AB, sobre la base de las diferentes direcciones de la potencia de cortocircuito en uno y otro caso.

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

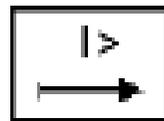
## TIPOS DE PROTECCIONES DIRECCIONALES

### SIMBOLOGÍA

Relé Direccional de  
Sobrecorriente  
de Fases



Según  
ANSI/IEEE

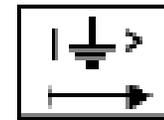


Según IEC

Relé Direccional de  
Sobrecorriente  
de Tierra



Según  
ANSI/IEEE



Según IEC

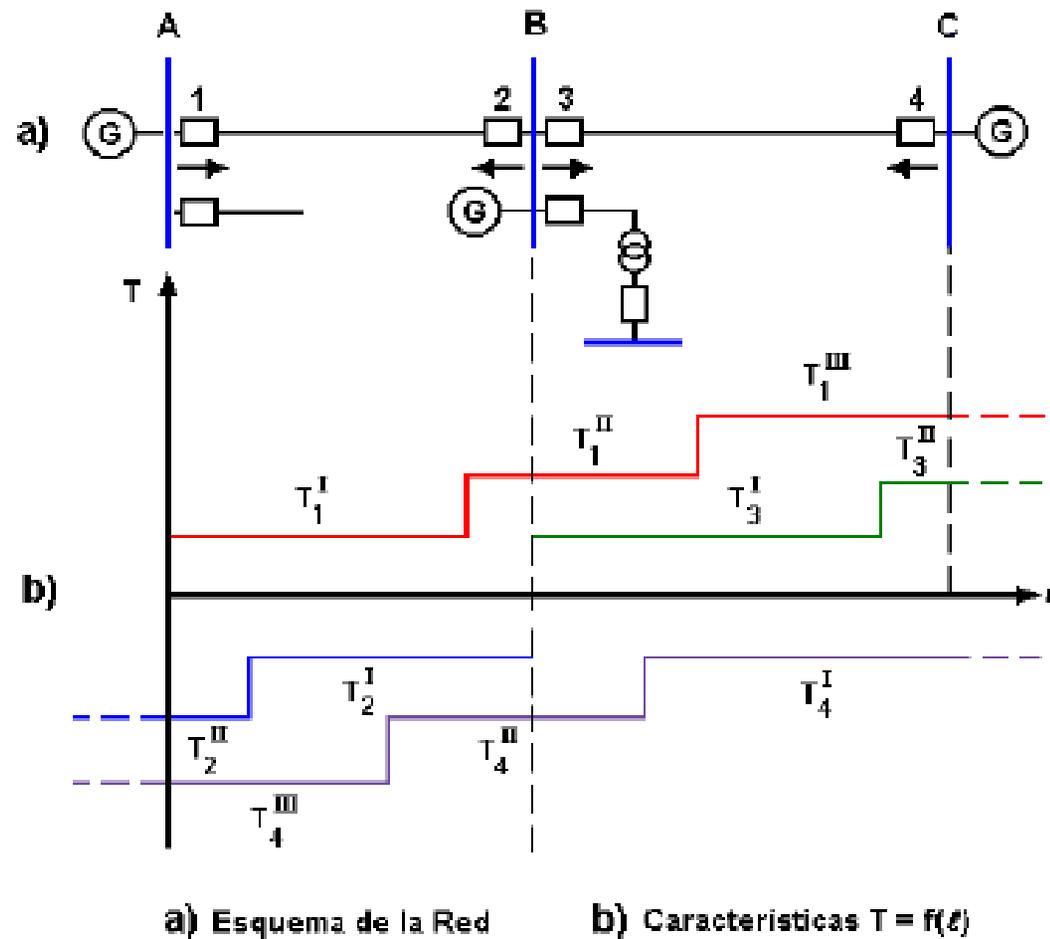
Existen dos tipos fundamentales de protecciones direccionales de sobrecorriente que son:

- ☐ De Tiempo Definido o Constante
- ☐ De Tiempo Inverso

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

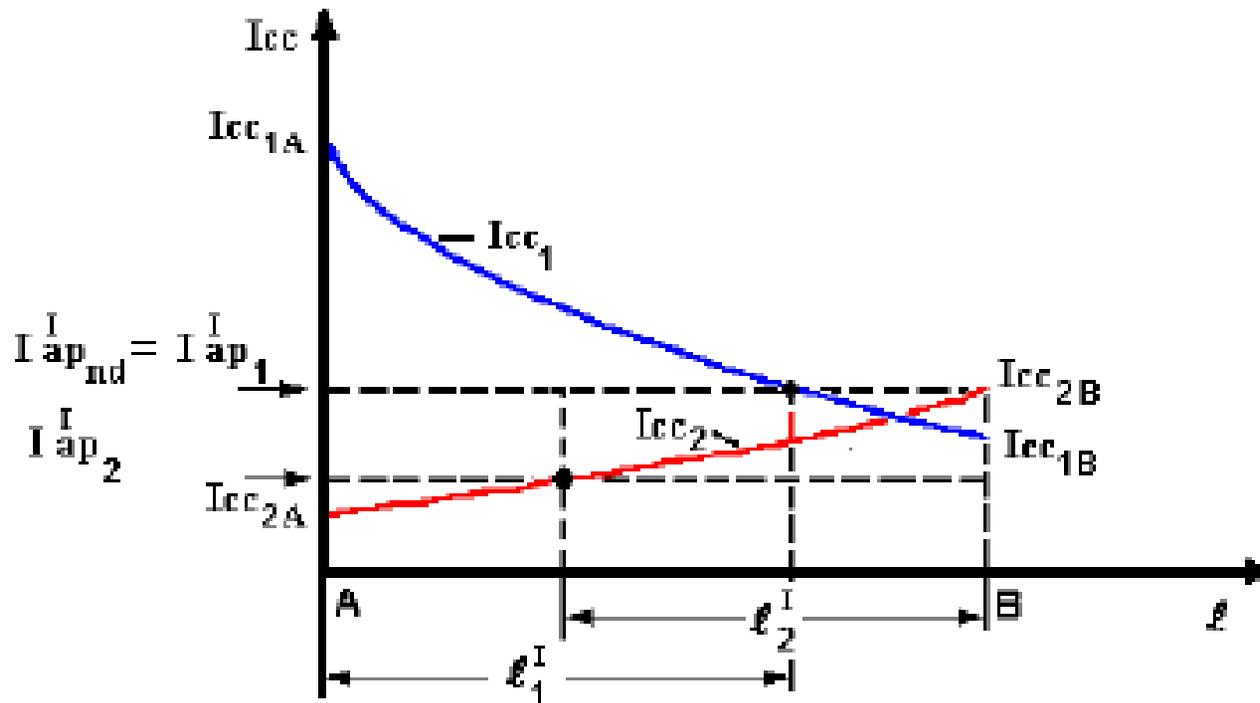
## DIRECCIONAL DE TIEMPO DEFINIDO

PROTECCIÓN DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE  
DE TRES ESCALONES DE UNA RED CON  
ALIMENTACIÓN EN VARIOS PUNTOS



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## DIRECCIONAL DE TIEMPO DEFINIDO



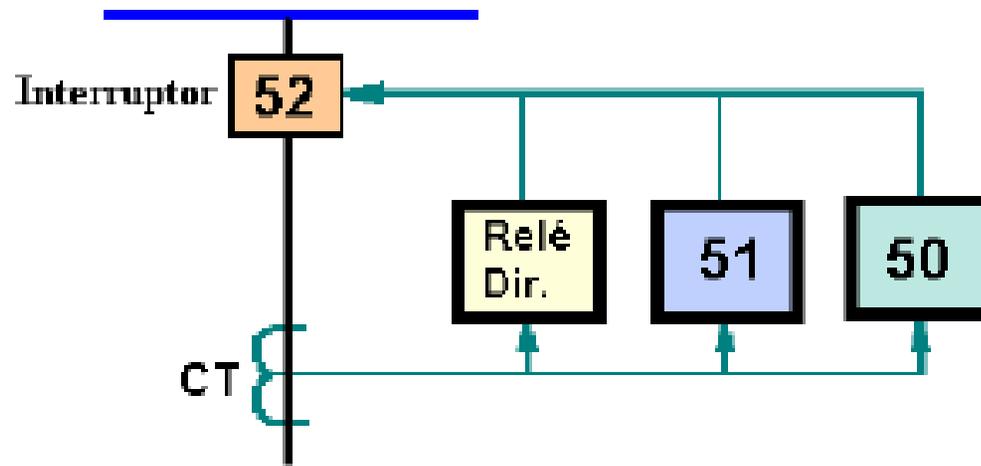
CURVAS  $I_{CC} = f(l)$  PARA LAS PROTECCIONES 1 Y 2

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## DIRECCIONAL DE TIEMPO INVERSO

Esta protección se obtiene al añadir un relé direccional al esquema de protección de sobrecorriente de tiempo inverso.

### DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA PROTECCIÓN DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO INVERSO

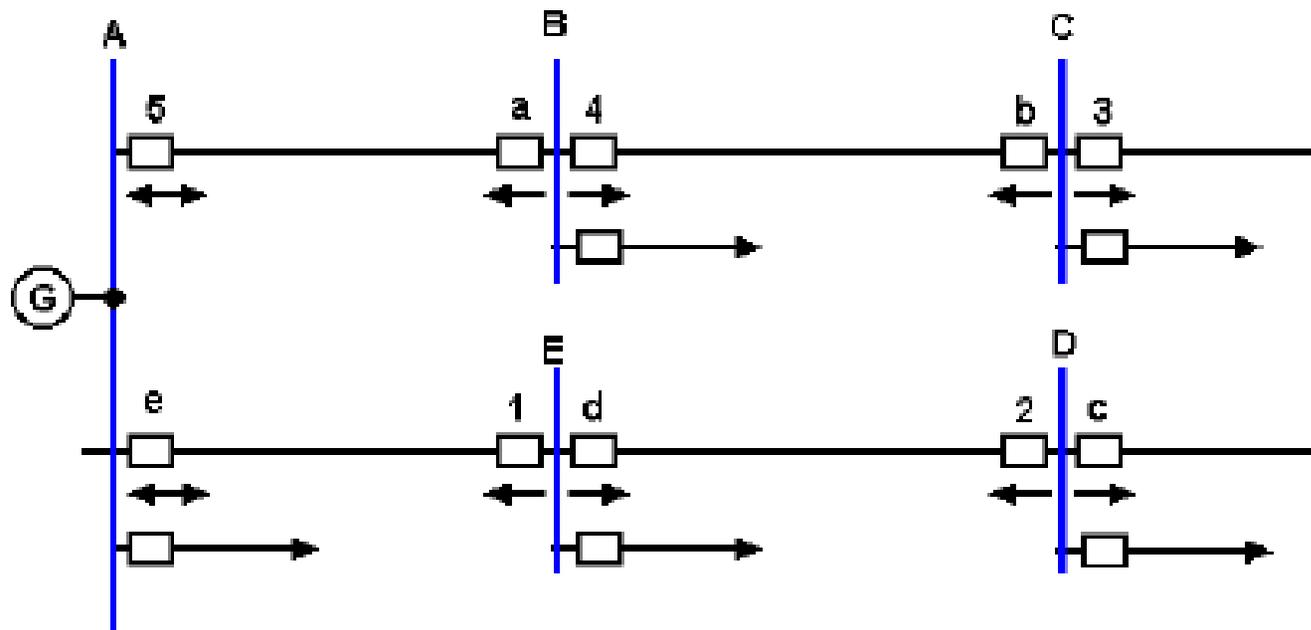


# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## DIRECCIONAL DE TIEMPO INVERSO

Esta protección se obtiene al añadir un relé direccional al esquema de protección de sobrecorriente de tiempo inverso.

PROTECCIÓN DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE DE UNA RED EN MALLA CON UNA SOLA FUENTE DE ALIMENTACIÓN



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## DIRECCIONAL DE TIEMPO INVERSO

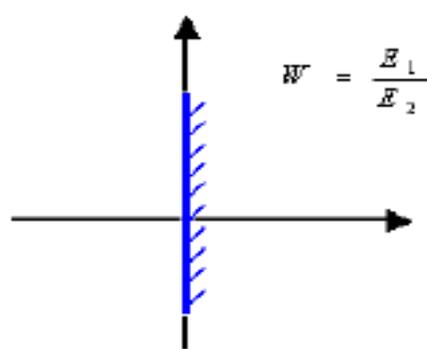
La representación gráfica de la condición de operación de relés direccionales puede hacerse mediante la característica angular (en el plano complejo impedancia o en coordenadas rectangulares) y mediante característica tensión - corriente.

$$-(90^\circ - \varphi_{sm}) \leq \varphi_r \leq (90^\circ + \varphi_{sm})$$

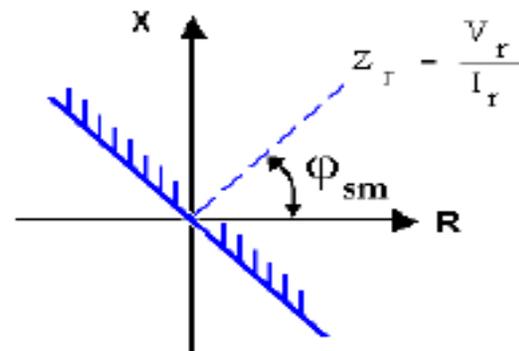
Donde,  $\varphi_{sm}$  = ángulo de sensibilidad máxima del relé (el cual puede ser ajustable)

$\varphi_r$  = ángulo de desfase entre tensión y corriente

**REPRESENTACIÓN DE LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN DE RELÉS DIRECCIONALES EN EL PLANO COMPLEJO IMPEDANCIA**



a) Característica Angular  $W$

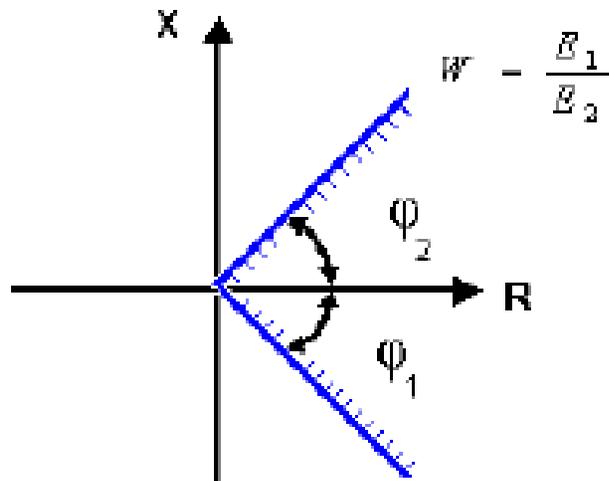


b) Representación en el Plano Complejo  $Z$

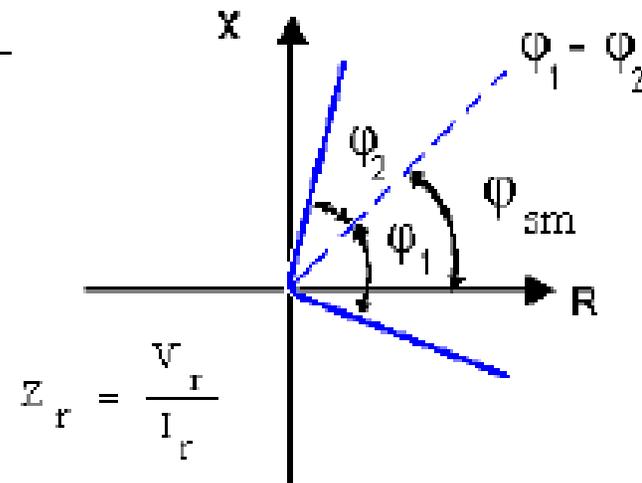
# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## DIRECCIONAL DE TIEMPO INVERSO

### REPRESENTACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE LOS RELÉS DIRECCIONALES



a) Representación en el Plano Complejo  $W$



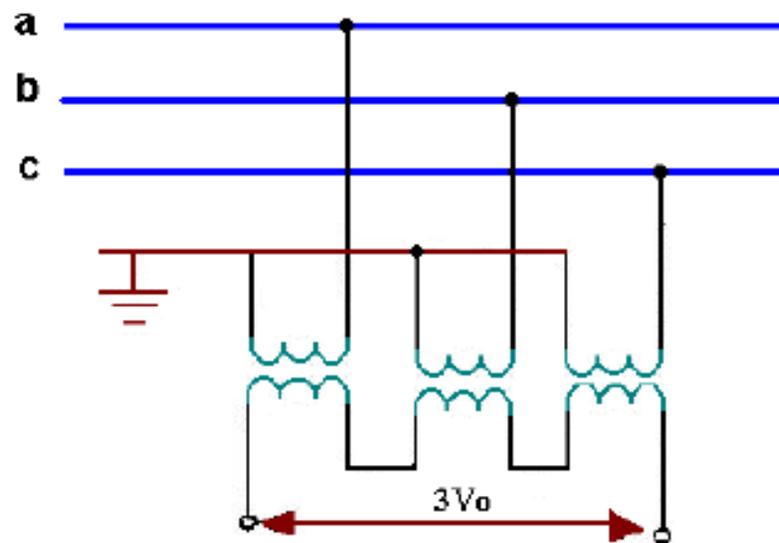
b) Representación en el Plano Complejo  $Z$

# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## DIRECCIONAL CONTRA CORTOCIRCUITOS A TIERRA

Esta protección, que puede ser de tiempo definido ó de tiempo inverso, se logra al conectar los relés de sobrecorriente y la bobina de corriente del relé direccional en el neutro de la conexión en estrella de los transformadores de corriente de la línea protegida, de modo que reciban corriente de secuencia cero; la bobina de potencial del relé direccional (que por lo general es del tipo tensión - corriente) se alimenta con la tensión de secuencia cero, obtenida con la conexión estrella aterrizada - delta rota de los transformadores de potencial, como se muestra

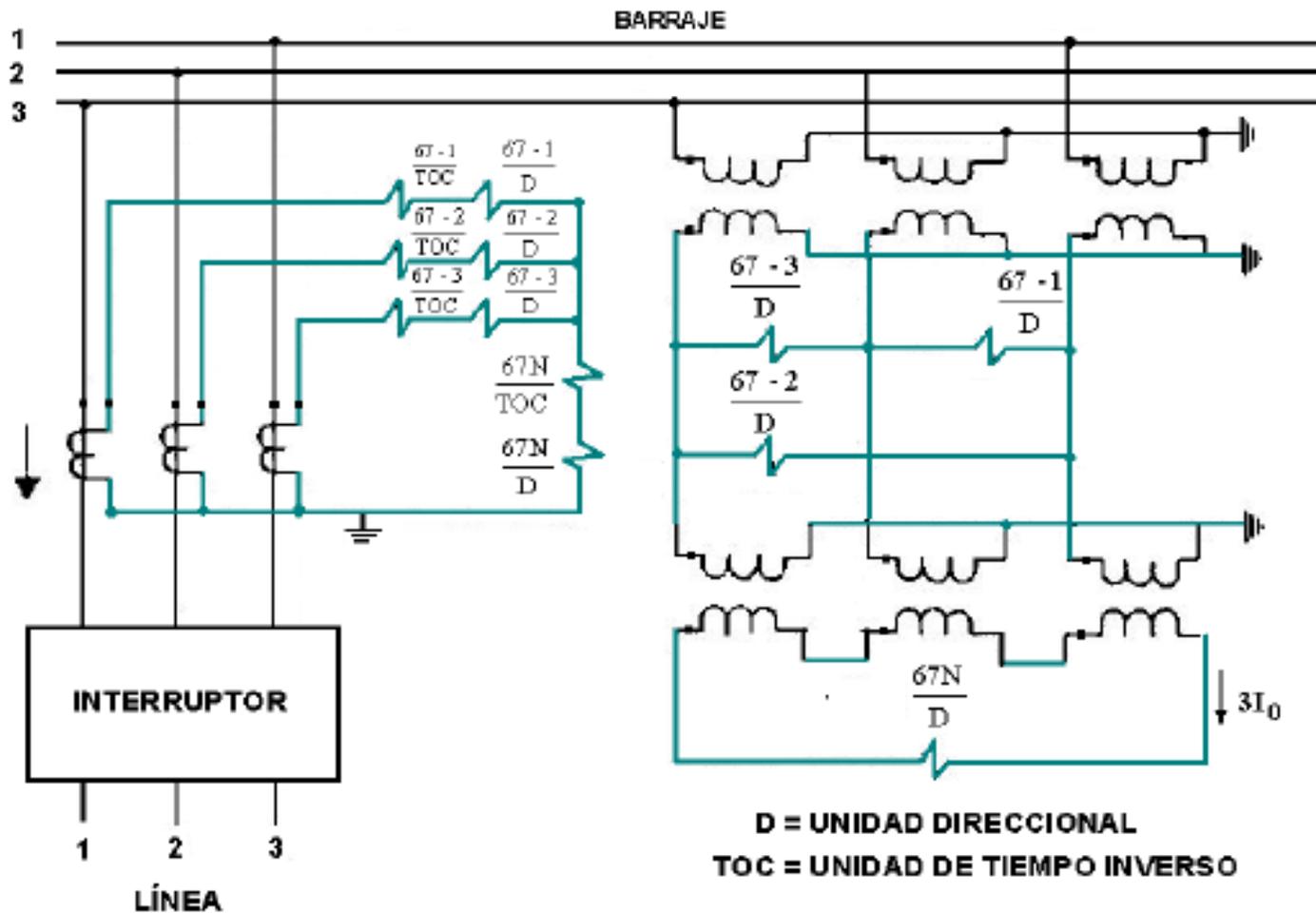
CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA ROTA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL PARA OBTENER TENSIÓN DE SECUENCIA CERO



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## CONEXIÓN DE LOS RELÉS DIRECCIONALES CONTRA FALLAS A TIERRA

RELÉS DIRECCIONALES DE FASE Y TIERRA PARA PROTECCIÓN DE CORTOCIRCUITOS.  
GENERAL ELECTRIC CCP130



# PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL (67, 67N)

## RESUMEN

- Requieren información de voltaje y corriente
- Elementos de fase: baja sensibilidad
- Elementos a tierra: Alta sensibilidad
- Requiere revisión frecuente de ajustes
- Aplicación: líneas paralelas y lazos

# FUNCIONES SELECTIVAS

## ESQUEMAS COMPLETAMENTE SELECTIVOS

Éstos esquemas garantizan una selectividad total y tiempos de operación bajos. Se basan completamente en canales de comunicación entre las subestaciones. Debido a la selectividad, no ofrecen respaldo para otras líneas y equipos. Se deben complementar con protecciones de distancia o sobrecorriente que garanticen la operación ante la pérdida de los canales de comunicaciones. Los esquemas más utilizados son:

- Diferenciales de línea
- Comparación de fases
- Onda viajera

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

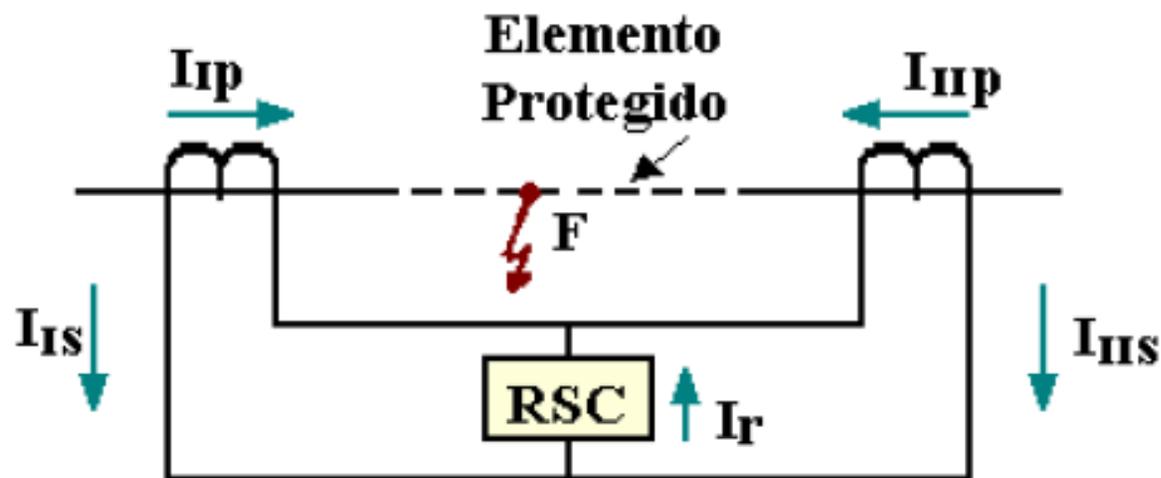
Los relés diferenciales son los que funcionan cuando el vector diferencia de dos o más cantidades eléctricas similares excede una cantidad predeterminada.

Esta es una protección con selectividad absoluta en que se hace comparación directa de las señales eléctricas provenientes de todas las interconexiones de elementos protegidos con el resto del sistema o una comparación directa de las señales eléctricas provenientes de dos o más circuitos. Con base en esa comparación, la protección diferencial discrimina entre los cortocircuitos en la zona protegida y los externos.

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

En la figura se presenta el esquema de la conexión de la protección diferencial para una fase de un elemento del sistema que tiene dos terminales. En los terminales del elemento protegido se instalan transformadores de corriente con igual relación de transformación, sus secundarios se conectan de la manera mostrada en la figura y entre los conductores de unión se conecta un relé de sobrecorriente.



# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

La conexión del relé se hace de forma tal que cuando no hay cortocircuito interno, la corriente  $I_r = 0$  en el caso ideal, mientras que para cortocircuitos en la zona protegida,  $I_r$  tiene un valor igual a la de corriente de cortocircuito referida al secundario.

Tomando como positivos los sentidos señalados en la Figura para las corrientes se tiene:

$$I_r = I_{Is} + I_{IIs}$$

Para condiciones normales de operación, oscilaciones de potencia, ó cortocircuitos externos si se desprecia la admitancia transversal en el elemento protegido, es  $I_{Ip} = - I_{IIp}$ , si los transformadores de corriente no tienen errores, es también  $I_{Is} = - I_{IIs}$ , por lo que es  $I_r = 0$ .

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

protección no opera, pues no existe diferencia entre la corriente que entra y la que sale del elemento protegido, de ahí el nombre de protección diferencial.

En el caso de cortocircuito en la zona protegida (punto F), las corrientes  $I_{Ip}$  e  $I_{IIp}$  son en general diferentes, y su suma es igual a la corriente de cortocircuito:

$$I_{CC} = I_{Ip} + I_{IIp}$$

Por lo tanto hay errores en los transformadores de corriente:

$$I_{Ip} = \frac{I_{CC}}{n_{tc}}$$

Si esta corriente es mayor que la de arranque del relé de sobrecorriente, éste opera e inicia la acción de disparo de los interruptores del elemento protegido (no mostrados en la figura por simplicidad).

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Si hay alimentación por un solo extremo, para falla en la zona protegida es por ejemplo  $I_{Ip} = 0$ .

En este caso puede considerarse que la corriente  $I_{Is}$  circula por su totalidad por el relé de sobrecorriente, sin derivarse por el secundario del transformador de corriente que no tiene corriente primaria, ya que éste presenta una impedancia muy alta, prácticamente igual a la de magnetización referida al secundario. En esta condición es también:

$$I_r \approx I_{Is} = \frac{I_{CC}}{n_{tc}}$$

En la conexión analizada en cualquier condición está circulando entre los transformadores de corriente y sólo un cortocircuito interno da lugar a corriente por el relé. Por esto se denomina esquema de corrientes circulantes, y es el más utilizado en la práctica.

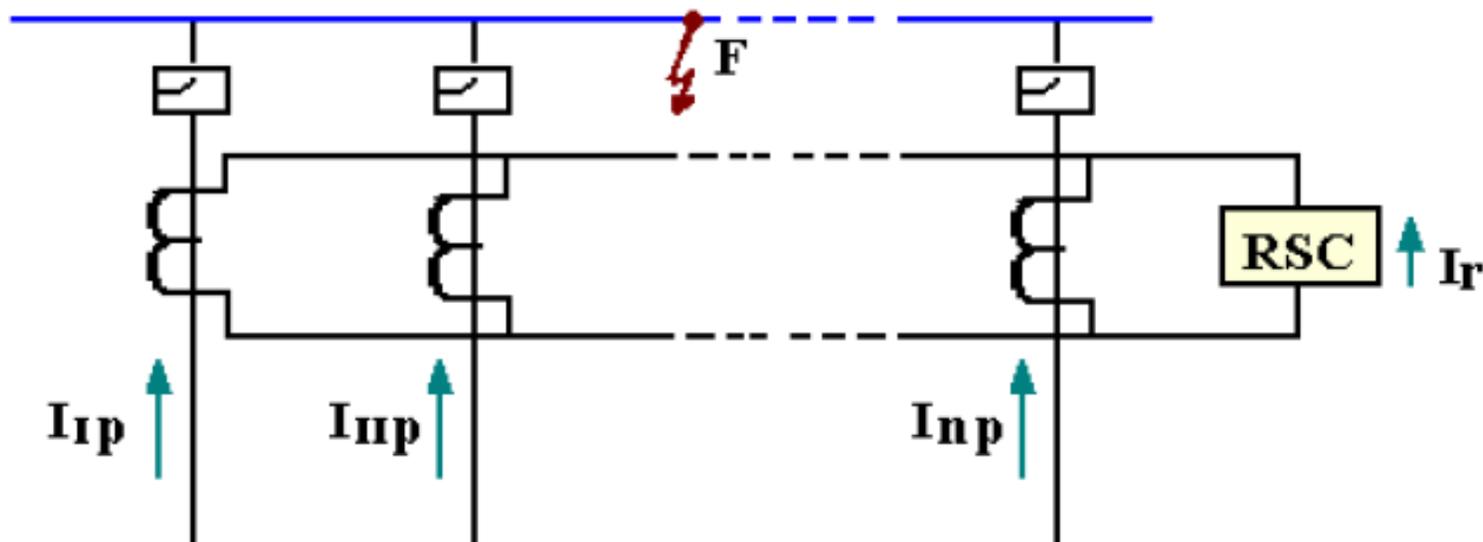
# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

El principio de la protección diferencial es también aplicable a elementos del sistema que tienen más de dos terminales, como puede apreciarse en la Figura. En este caso cuando hay cortocircuito interno es:

$$I_r = \sum_{i=1}^n I_{Is} = 0$$

### PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE UN ELEMENTO DE MÁS DE DOS TERMINALES



# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Cuando ocurre un cortocircuito en la zona protegida (punto F) se cumple:

$$I_r = \sum_{i=1}^n I_{Is} = \frac{I_{CC}}{n_{tc}}$$

En el análisis anterior se ha supuesto que los transformadores de corriente se comportan idealmente; en el caso real existen errores de transformación, que pueden ser diferentes para los distintos transformadores de corriente, lo que da lugar a una corriente diferencial de desbalance ó de error  $I_d$  que circula por le relé de sobrecorriente, aun sin falla interna. La corriente  $I_d$  puede tomar valores altos para cortocircuitos externos, en que se presenta saturación de los transformadores de corriente. Esta corriente, para la cual no debe operar la protección diferencial, fija un límite mínimo a su corriente de arranque, y afecta, por lo tanto la sensibilidad.

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN

La corriente de arranque del relé de sobrecorriente del esquema diferencial se selecciona de modo que no opere incorrectamente por el efecto del máximo valor posible de corriente de desbalance, es decir:

$$I_r \geq k I_{d\text{máx}}$$

Al coeficiente  $k$  puede asignarse un valor del orden de 1.5. Para la determinación de  $I_{d\text{máx}}$  se utiliza la mayor corriente que puede circular por la protección diferencial sin falla interna, sea ésta debida a un cortocircuito interno, ó a una oscilación de potencia.

# DIFERENCIAL

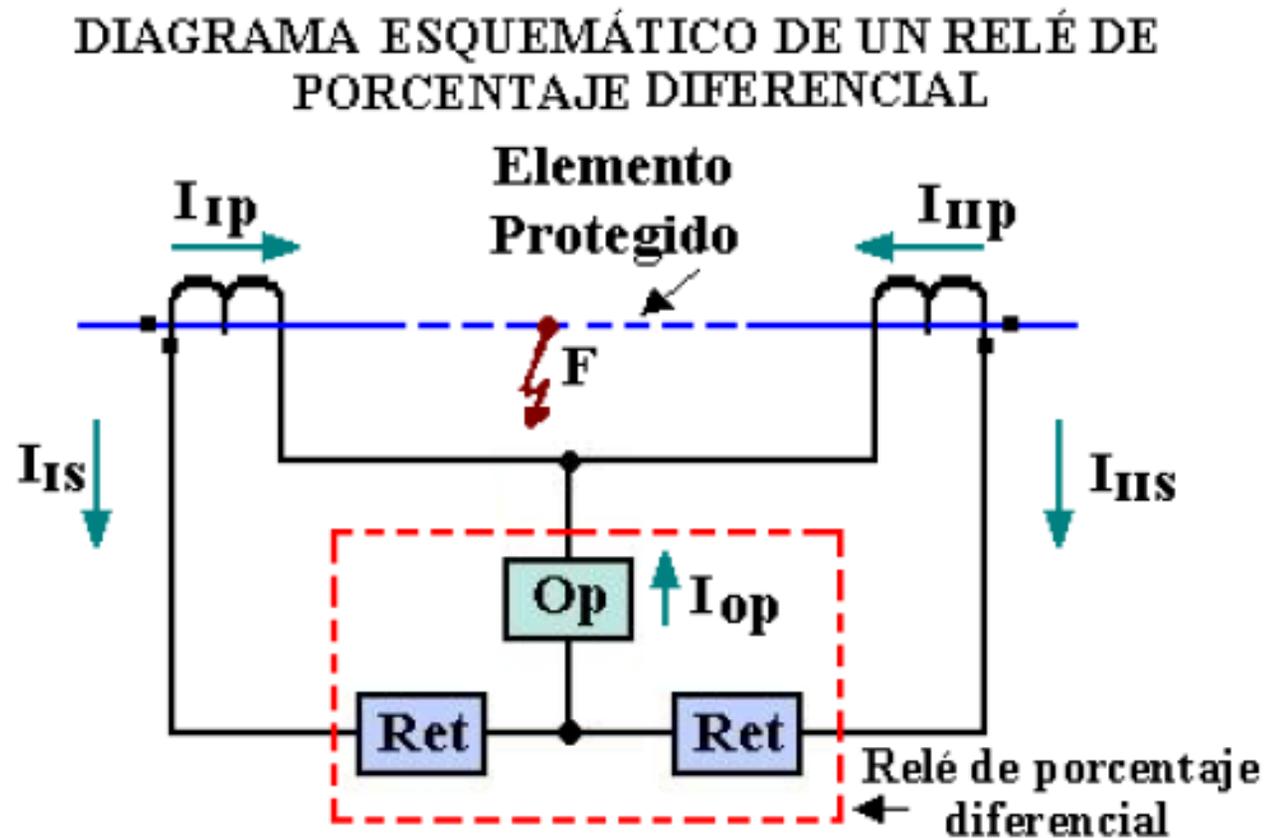
## PRINCIPIO DE OPERACIÓN – PORCENTAJE DIFERENCIAL

La corriente de desbalance del esquema diferencial aumenta cuando crece la corriente que circula a través del esquema hacia un cortocircuito externo ó por una oscilación de potencia.

El relé de porcentaje diferencial es aquel cuya corriente de arranque crece automáticamente con el incremento de la corriente que circula a través del esquema. De esta forma es posible garantizar que no opere incorrectamente para grandes corrientes fluyendo hacia el exterior, sin perder la sensibilidad de operar para fallas internas.

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN – PORCENTAJE DIFERENCIAL



# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN – PORCENTAJE DIFERENCIAL

En resumen, las variantes de corrientes de retención que se han aplicado en la práctica en los relés de porcentaje diferencial son:

$$I_{\text{ret}} = I_{\text{Is}} - I_{\text{IIs}}$$

$$I_{\text{ret}} = \frac{I_{\text{Is}} - I_{\text{IIs}}}{2}$$

$$I_{\text{ret}} = I_{\text{Is}}$$

$$I_{\text{ret}} = I_{\text{IIs}}$$

$$I_{\text{ret}} = |I_{\text{Is}}| + |I_{\text{IIs}}|$$

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN – PORCENTAJE DIFERENCIAL

En la Figura se presenta la característica de operación de un relé de porcentaje diferencial en el que se hace directamente la comparación de las corrientes de operación y retención. La condición de operación es:

$$\left| I_{op} \right| > k \left| I_{ret} \right|$$

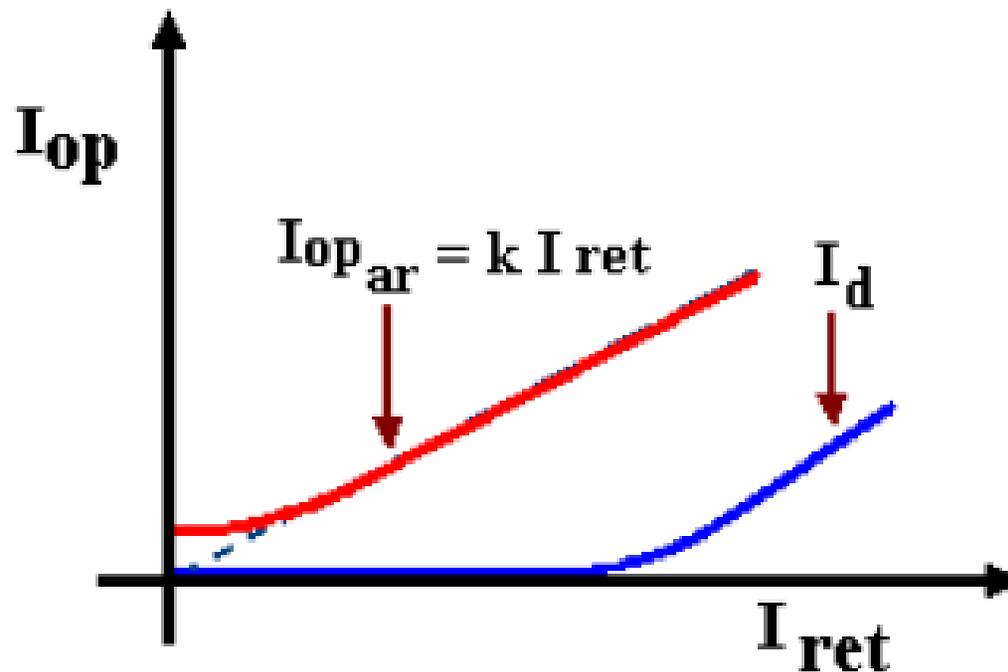
la característica de operación es la recta:

$$I_{op_a} = k I_{ret}$$

# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN – PORCENTAJE DIFERENCIAL

### CARACTERÍSTICA DE OPERACIÓN DE UN RELÉ DE PORCENTAJE DIFERENCIAL



# DIFERENCIAL

## PRINCIPIO DE OPERACIÓN – PORCENTAJE DIFERENCIAL

En la Figura se presenta también la variación de la corriente de desbalance del esquema diferencial con la de retención (y, por ende, con la corriente que circula hacia una falla externa, por ejemplo). La característica del relé de insensibilizarse para grandes valores de corriente de retención reduce considerablemente su posible afectación por la corriente de desbalance.

El principio de la protección de porcentaje diferencial es extensible a elementos del sistema con más de dos terminales; es deseable en ese caso que la señal de corriente proveniente de cada terminal en que hay generación se aplique a un elemento de retención.

# DIFERENCIAL

El principio básico de la protección diferencial consiste en calcular la diferencia entre las corrientes que entran y salen de la zona protegida; la protección opera cuando esta diferencia excede un umbral de ajuste. La corriente diferencial es procesada individualmente para cada fase y se calculan dos corrientes, una  $I_{diff}$  y una  $I_{bias}$  que responden a las siguientes ecuaciones:

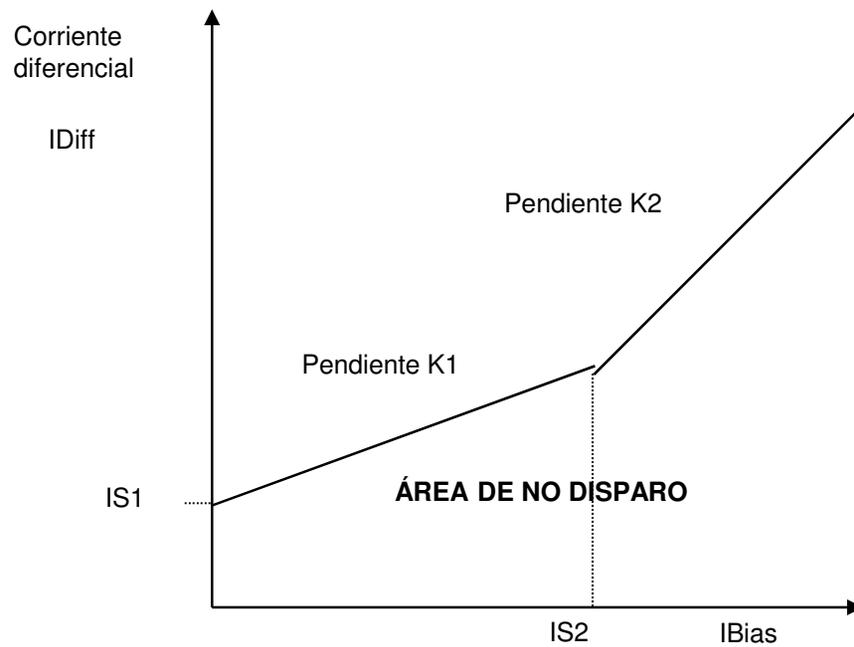
$$I_{Diff} = | I_A + I_B | \quad I_{Bias} = \frac{| I_A | + | I_B |}{2}$$

Donde :       $I_A \rightarrow$  Corriente terminal local

$I_B \rightarrow$  Corriente terminal remota

# DIFERENCIAL

## CARACTERÍSTICA FUNCIÓN DIFERENCIAL DE LÍNEA



# DIFERENCIAL

La característica del relé es determinada por cuatro ajustes:

$I_{s1}$ : Ajuste de corriente diferencial básica la cual determina el mínimo nivel de arranque del relé.

$k1$ : Ajuste del porcentaje más bajo de restricción usado cuando la corriente de restricción es menor que  $I_{s2}$ .

$I_{s2}$ : Umbral de ajuste de una corriente de restricción, por encima del cual se usa el más alto porcentaje de restricción ( $k2$ ).

$k2$ : Ajuste del porcentaje más alto de restricción usado para mejorar la estabilidad del relé bajo condiciones de fallas críticas.

# DIFERENCIAL

## RESUMEN

- Requiere únicamente información de corriente
- Alta selectividad
- Alta sensibilidad
- Requiere canal de comunicación
- Aplicación: líneas paralelas, malladas, transformadores, reactores, barras, generadores, etc.