



FUNCIONES DE PROTECCIÓN

Códigos ANSI



Nº ANSI	Función
21	Distancia
24	Sobreexcitación
25	Comprobación de sincronismo
27	Subtensión
32	Inversión de potencia
32M	Sobrepotencia
32m	Subpotencia
37	Subintensidad
40	Pérdida de campo
46	Desequilibrio de intensidades
46FA	Fase abierta
47	Desequilibrio de tensiones
48	Arranque largo
49	Imagen térmica
49RTD	Sobrecalentamiento mediante RTD
50	Sobreintensidad instantáneo de fase
50CSC	Bloqueo del regulador de tensión
50G	Sobreintensidad instantáneo de tierra
50N	Sobreintensidad instantáneo de neutro
50NS	Sobreintensidad instantáneo de neutro sensible
50Nd	Sobreintensidad instantáneo de desequilibrio de neutro
50R	Sobreintensidad instantáneo de neutro calculada
50BF	Fallo de interruptor
51	Sobreintensidad temporizado de fase
51G	Sobreintensidad temporizado de tierra
51N	Sobreintensidad temporizado de neutro
51NS	Sobreintensidad temporizado de neutro sensible

Nº ANSI	Función
51Nd	Sobreintensidad temporizado de desequilibrio de neutro
51R	Sobreintensidad temporizado de neutro calculada
51RB	Rotor bloqueado
51V	Sobreintensidad controlada por tensión
52	Interruptor
59	Sobretensión
59N (64)	Sobretensión homopolar
66	Arranques sucesivos
67	Sobreintensidad direccional de fases
67N	Sobreintensidad direccional de neutro
67NA	Sobreintensidad de neutro aislado
67NS	Sobreintensidad direccional de neutro sensible
68FF	Fallo de fusible
68OP	Oscilación de potencia
68ZC	Enmascaramiento de zona
74TC/CC	Supervisión de los circuitos de apertura y cierre
78	Salto vector
79	Reenganchador
79 (81m)	Reenganchador por subfrecuencia
81M	Sobrefrecuencia
81m	Subfrecuencia
81R	Derivada de frecuencia
85	Teleprotección
86	Bloqueo de cierre del interruptor
87	Diferencial
87G	Tierra restringida



PROTECCIÓN DE SOBREINTENSIDAD DE FASE Y NEUTRO (50/51 ; 50N/51N)

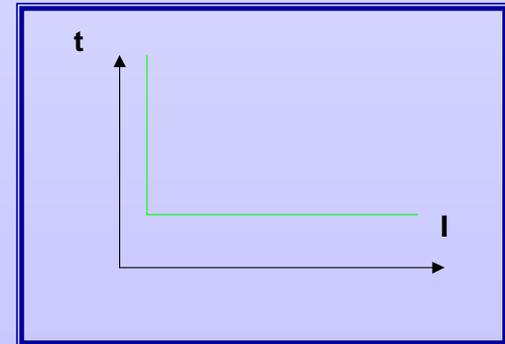
▶ **Función de sobreintensidad.**

- ↳ El relé opera cuando la intensidad supera el umbral fijado por el usuario.
- ↳ Está ligado a un transformador de intensidad que lo alimenta con una corriente proporcional a la del sistema.
- ↳ Sus **características** son:
 - ▶ Sencillez en implementación y utilización
 - ▶ Basado en la aparición de sobreintensidades en la mayoría de fenómenos con deterioro del equipamiento.
 - ▶ En conjuntos de tres unidades protegen contra faltas entre fases y otra más contra faltas a tierra.
 - ▶ Se ajustan por encima de la corriente superior de carga y para que en máximo cortocircuito proporcionen coordinación de tiempos en el disparo de interruptores.

Son de dos tipos:

▶ De tiempo definido

- ↪ Se incluyen aquí los denominados instantáneos que no tienen retardo en la actuación aunque siempre hay una demora en la operación desde que aparece la señal de falta.
- ↪ El tiempo de actuación es prácticamente constante para cualquier intensidad.
- ↪ Para conseguir la selectividad es necesario incrementar el tiempo de actuación en dirección a la generación.
- ↪ Puede resultar que para faltas cercanas a la generación el tiempo de actuación sea inadmisiblemente alto dado que las intensidades son máximas para esas faltas.



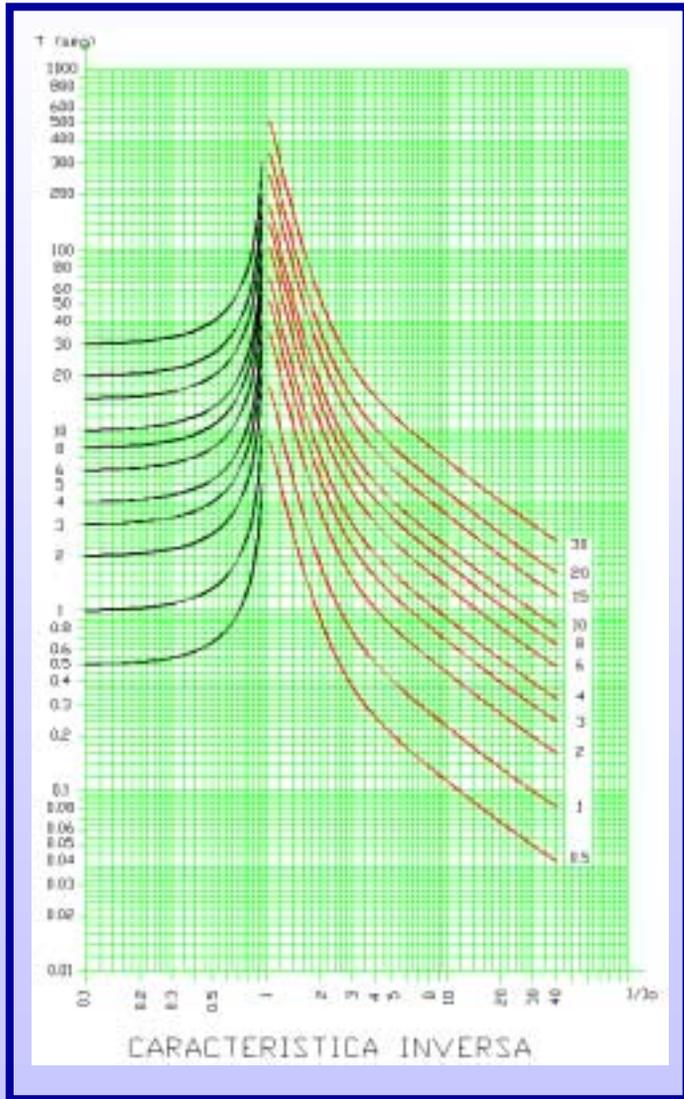
▶ De tiempo inverso

- ↪ El tiempo de operación varía inversamente al valor de la intensidad de la corriente de acuerdo a una fórmula.
- ↪ Hay normalizadas varias familias de curvas siendo las más implantadas las ANSI y las BS-142 British Standard.

Según su característica se denominan:

- ▶ Inversa
 - ▶ Muy inversa
 - ▶ Extremadamente inversa
 - ▶ Moderadamente inversa
 - ▶ Corta y larga Inversa
- ↪ Se diferencian unas de otras por la proporción con que disminuye el tiempo de operación al aumentar la corriente.
 - ▶ Para seleccionar el tiempo de actuación se fija el tipo de curva, el arranque y el índice de tiempos.
 - ▶ La selección de la curva se realizará en función del elemento a proteger y de la necesidad de coordinación con otras unidades.
 - ▶ Dentro de una familia de curvas determinada se seleccionan unas u otras por medio del índice de tiempos.

Curvas temporizadas I. ANSI



Tipo ANSI según la siguiente fórmula:

$$T := M \cdot \left[A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_0} - C\right)} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_0} - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_0} - C\right)^3} \right] \quad T_{\text{RECAIDA}} := M \cdot \frac{tr}{\left(\frac{I}{I_0}\right)^2 - 1}$$

T ⇒ tiempo de disparo (seg)

T_{RECAIDA} ⇒ tiempo de recaída (seg)

M ⇒ multiplicador ("índice de tiempos").

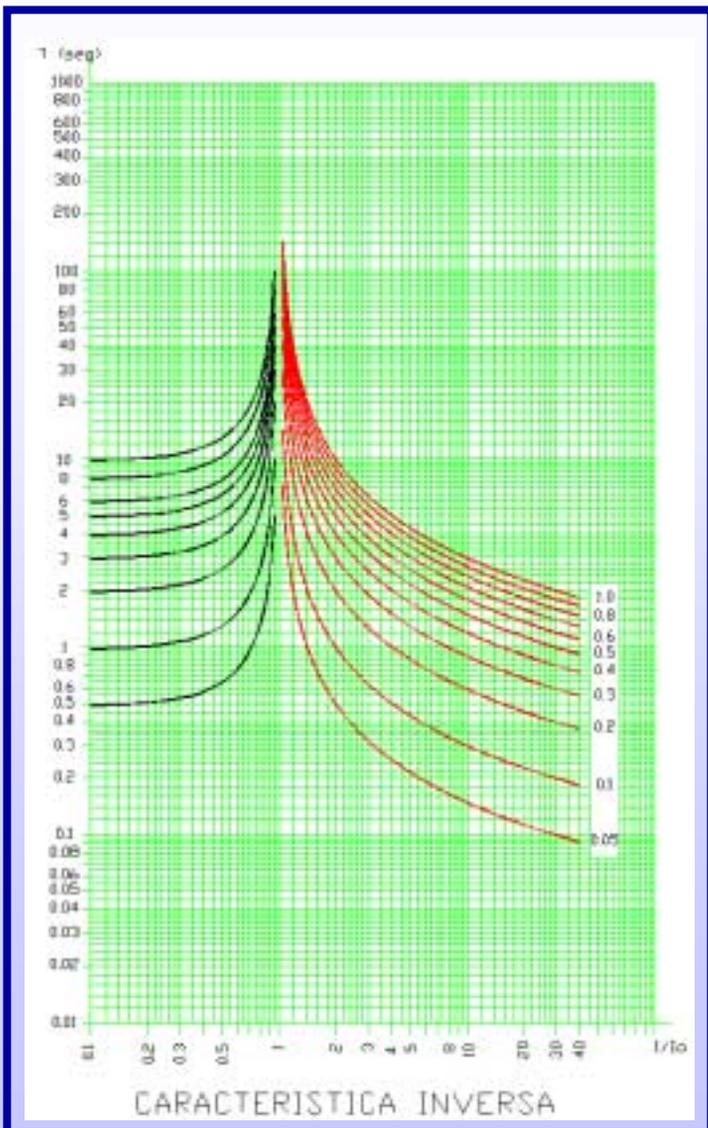
I ⇒ Intensidad medida

I₀ ⇒ Ajuste de intensidad de arranque

A, B, C, D, E, tr ⇒ constantes que dependen del tipo de curva:

Constantes	Caract. inversa	Muy inversa	Extremad. inversa	Moderad. inversa
A	0.0274	0.0615	0.0399	0.1735
B	2.2614	0.7989	0.2294	0.6791
C	0.3000	0.3400	0.5000	0.8000
D	-4.1899	-0.2840	3.0094	-0.0800
E	9.1272	4.0505	0.7222	0.1271
tr	0.99	4.678	6.008	1.2

Curvas temporizadas II. IEC



Tipo IEC según la siguiente fórmula:

$$T := M \cdot \frac{k}{\left(\frac{I}{I_0}\right)^\alpha - 1} \quad T_{RECAIDA} := M \cdot \frac{tr}{\left(\frac{I}{I_0}\right)^2 - 1}$$

$T \Rightarrow$ tiempo de disparo (seg)

$T_{RECAIDA} \Rightarrow$ tiempo de recaída (seg)

$M \Rightarrow$ multiplicador ("índice de tiempos").

$I \Rightarrow$ Intensidad medida

$I_0 \Rightarrow$ Ajuste de intensidad de arranque

$K, \alpha, tr \Rightarrow$ constantes que dependen del tipo de curva:

Constantes	Normal inversa	Corta inversa	Larga inversa	Muy inversa	Extremad. inversa	MI Especial
K	0.14	0.05	120	13.50	80.00	2.60
α	0.02	0.04	1	1.00	2.00	1.00
tr	9.7	0.5	120	43.2	58.2	21.2

Comparación sobreintensidad tiempo fijo – tiempo dependiente

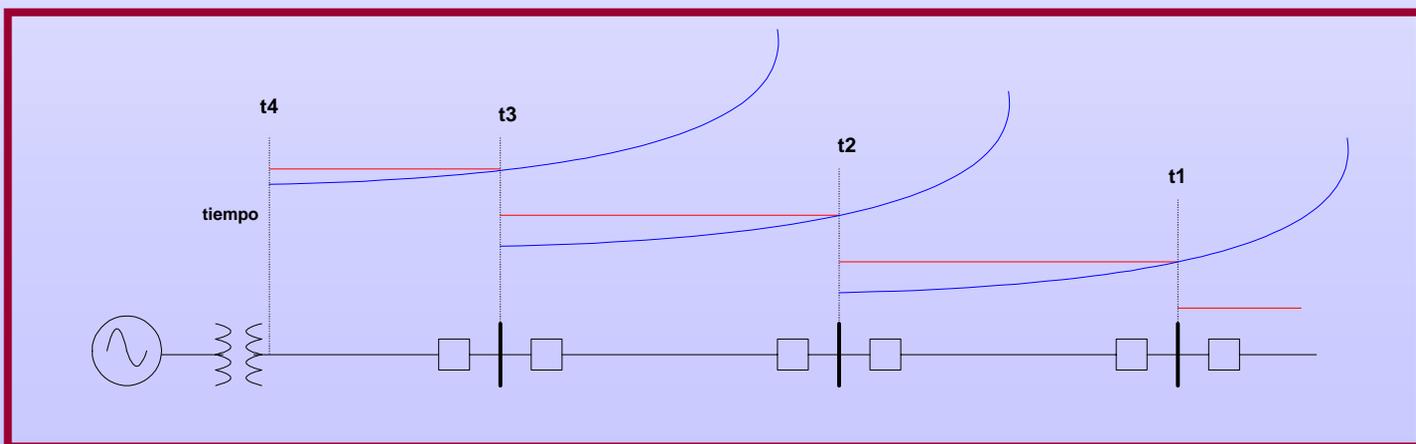
- ▶ La relación de intensidades en el terminal cercano a la fuente y la intensidad al final de la línea viene dada por $Z_f / (Z_f + Z_l)$

Z_f =Impedancia fuente

Z_l =Impedancia de la zona protegida

- ▶ Comparado las curvas de tiempo con el de tiempo definido se observa que \Rightarrow el tiempo de actuación es menor manteniendo la selectividad.

En el caso expuesto los relés de las cercanías del generador funcionarían como relés de apoyo de los más lejanos en el caso de que estos no actuaran o no se abriera algún interruptor.



Sobreintensidad tiempo fijo – tiempo dependiente \Rightarrow Aplicación

- ▶ Las intensidades de cortocircuito en el comienzo y final de la línea siguen la fórmula

$$I_{cc}(\text{inicio de línea}) = E/Z_f$$

$$I_{cc}(\text{final de línea}) = E/(Z_f+Z_I)$$

Si la Z_f es grande la relación Z_f/Z_f+Z_I es próxima a la unidad \Rightarrow No hay gran variación entre una falta en el comienzo y en el final de la línea por lo que no se gana tiempo apreciable en la utilización de unidades de tiempo inverso frente a temporizadas.

- ▶ **Los relés definidos** \Rightarrow para faltas a tierra son mejores para sistemas con puesta a tierra a través de impedancia.
- ▶ **Los de tiempo inverso** \Rightarrow se utilizan cuando la impedancia de la fuente es pequeña respecto a la impedancia del circuito:
 - \curvearrowright Líneas largas
 - \curvearrowright Sistemas puestos a tierra sólidamente en cada estación.
 - \curvearrowright Típicamente para $Z_f / Z_I < 2$

Sobreintensidad tiempo fijo – tiempo dependiente ⇒ Aplicación

▶ **Curvas muy inversas** ⇒ se utilizan para líneas en que las variaciones en las intensidades de falta son grandes entre el extremo donde se halla la protección y el extremo remoto. Son más rápidas para intensidades grandes que las inversas.

▶ **Curvas extremadamente inversas** se usan donde se necesiten bajos tiempos de disparo.

↳ Se puede usar el mismo ajuste para muchos relés en serie.

↳ Aplicaciones comunes de las curvas extremadamente inversas:

▶ Es útil en protección de aparatos contra sobrecalentamientos

▶ En la tierra de transformadores, en cables caros, etc.

▶ Para coordinar con fusibles

▶ Cuando hay que restablecer el servicio en una línea de distribución tras un tiempo largo fuera de servicio (cargas frías). Los hornos, bombas, etc. tienen puntas de reconexión de entre 3 y 4 veces la corriente de máxima carga que decaen muy lentamente.

▶ En ocasiones la unidad instantánea se usa como complemento de los de retardo inverso.

▶ Se ajusta para la intensidad de cortocircuito en el extremo más alejado de la línea a proteger. De esta forma no verá sobrecargas más lejos de su zona a proteger.

Sobreintensidad de neutro

- ▶ Basado en la medida de la corriente residual $I_n=3xI_0$
- ▶ **Ventajas** de I_{neutro} :
 - ↪ Gran alcance resistivo
 - ↪ Fáciles de ajustar
 - ↪ No les afecta la carga circulante
 - ↪ No afectadas por las cargas conectadas fase-fase (p.ej. delta-estrella)
- ▶ **Desventajas**
 - ↪ Afectadas por cambios en las fuentes
 - ↪ Afectadas por la impedancia mutua
 - ↪ Afectadas por el desbalance normal
 - ↪ Afectadas por aperturas del interruptor y fases abiertas
- ▶ Se ajusta por encima del máximo desbalance sin falta debido a:
 - ↪ Líneas de transmisión no transpuestas
 - ↪ Carga desbalanceada

Sobreintensidad de neutro \Rightarrow Cálculo de faltas a tierra

a) Defecto simple Fase-tierra

$$I_R = \frac{3V}{2Z_1 + Z_0} = \frac{3}{(2+K)} \cdot \frac{V}{Z_1}$$

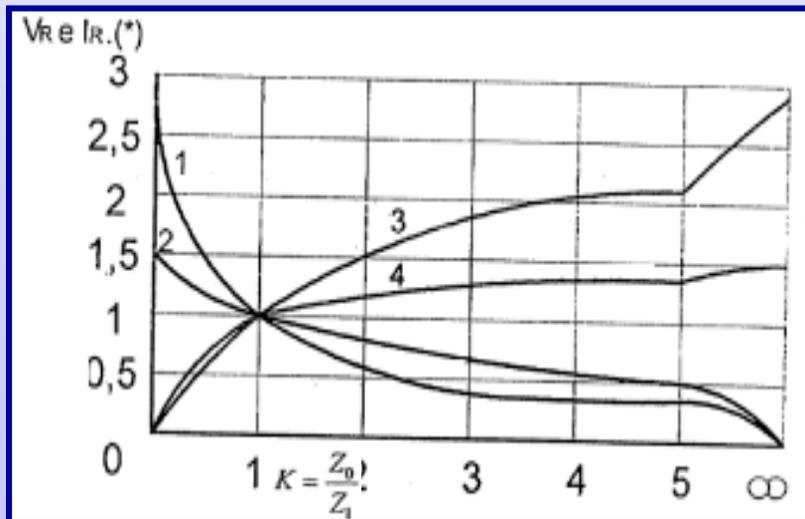
$$V_R = \frac{3K}{2+K} V$$

$V = \text{Tensionsimple}$

b) Defecto doble fase-tierra

$$I_R = \frac{3VZ_1}{2Z_1Z_0 + Z_1^2} = \frac{3}{(2K+1)} \cdot \frac{V}{Z_1}$$

$$V_R = \frac{3K}{2K+1} V$$



- 1.- I_R para doble falta fase-tierra.
- 2.- I_R para simple falta fase-tierra.
- 3.- V_R para simple falta fase-tierra.
- 4.- V_R para doble falta fase-tierra.

Sobreintensidad de neutro \Rightarrow Ajustes

▶ Faltas a tierra

- ↪ La corriente residual es cero en condiciones normales y varía con la distancia a la falta y no tanto con la condición de generación.
- ↪ Se ve limitada con el método de puesta a tierra
- ↪ El ajuste debe ser tal que dispare con la falta más lejana de la zona a proteger.

▶ En sistemas puestos a tierra sólidamente o con baja impedancia:

- ↪ 10%-20% de la carga
- ↪ Para motores y generadores se suele limitar la corriente de falta a tierra a 10A por lo que usa un toroidal y un ajuste en torno a 6A primarios.

Sobreintensidad de neutro ⇒ **Ajustes**

▶ **Faltas a tierra para sistemas con puesta a tierra con resistencia:**

Calcular una falta en el secundario del trafo

- ↳ 70% de corriente de falta a tierra con un pequeño retraso de 100ms.
- ↳ 40% de corriente de falta a tierra con un pequeño retraso de 400ms. Detectaría faltas con resistencia. El retraso protege de disturbios del sistema como apertura/cierre de líneas.
- ↳ 10% de la corriente de falta con retraso de 0,8s. Detectaría faltas con gran resistencia. No debe haber secuencia homopolar en condiciones de funcionamiento sin falta. El retraso protege ante ruido en el circuito del CT.

▶ **Para neutro aislado y bobina Petersen**

- ↳ Se usa el neutro sensible como direccional

Selección de TC

- ▶ La corriente de carga no debe superar la capacidad permanente del TC y del relé.
- ▶ La corriente secundaria en condiciones de corto mínimo debe ser superior a la sensibilidad mínima del relé.
- ▶ La corriente secundaria en condiciones de corto máximo debe ser inferior a la capacidad máxima del relé sin saturación del TC.

$$R_{\text{total}} = R_{\text{CT}} + 2 \times R_{\text{cable}} + R_{\text{relé}}$$

$$V_{\text{max}} = R_{\text{total}} \times I_{\text{máxima}} \times (1 + X/R)$$

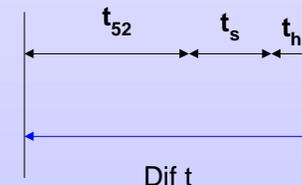
Si $V_{\text{máx}} < V_k$ con un factor de seguridad no hay saturación

- ▶ El **objetivo de las protecciones** ⇒ **despejar** las faltas existentes en el sistema de potencia ⇒ dejando **fuera de servicio la mínima área** posible ⇒ **minimizando** de este modo los **cortes de tensión**.
- ▶ Para conseguir este objetivo de selectividad ⇒ los ajustes de las funciones y automatismos incorporadas en cada protección deben ser las correctas, y además deben estar coordinadas con las protecciones adyacentes a ella.
- ▶ Existen diferentes formas de obtener dicha selectividad. A continuación analizaremos alguna de ellas
 - ↪ Selectividad cronométrica
 - ↪ Selectividad amperimétrica
 - ↪ Selectividad lógica
 - ↪ Uso complementario de selectividades

▶ Selectividad cronométrica

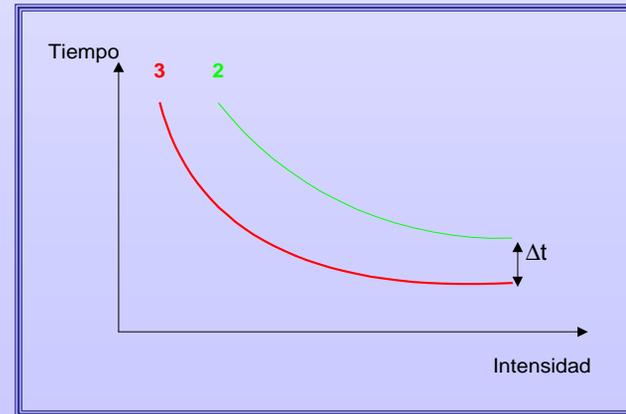
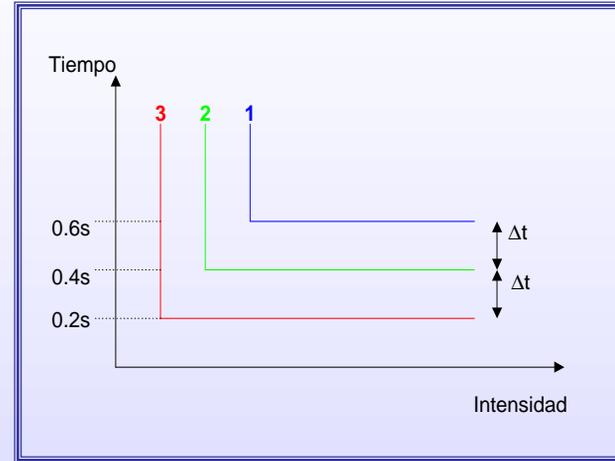
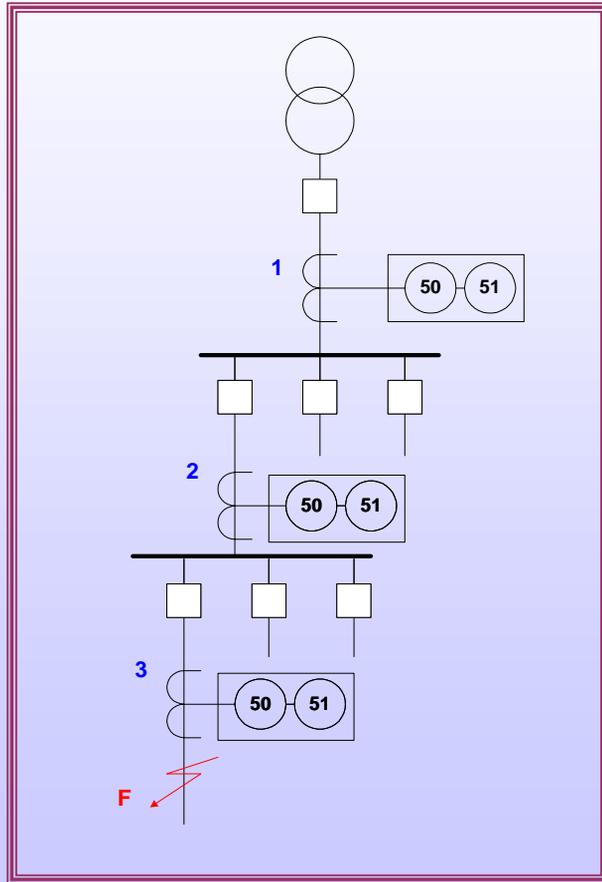
- ↪ **Consiste en** \Rightarrow obtener selectividad ante una falta coordinando las temporizaciones de las funciones de protección de forma que las protecciones instaladas mas cerca de la carga tengan una temporización menor que las instaladas aguas arriba.
- ↪ La diferencia en tiempo de los ajustes de las diferentes protecciones deberá ser como mínimo de 200 ms.
 - ▶ Este tiempo comprende el tiempo de actuación del interruptor, la histéresis de la protección (la protección debido a su inercia continua operando aun cuando la falta haya sido despejada) y un margen de seguridad.

$$\Delta t = t_{52} + t_s + t_h \approx 200 \text{ ms}$$



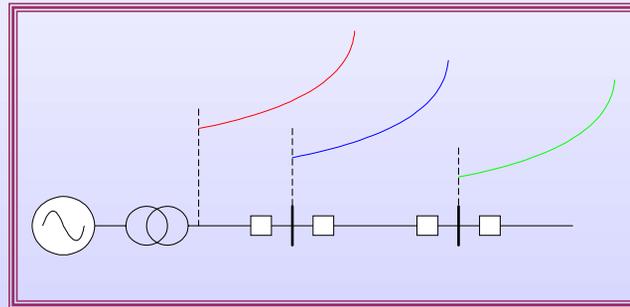
- ▶ Donde: t_{52} = tiempo de actuación del Interruptor
 t_s = margen de seguridad
 t_h = tiempo debido a la histéresis

▶ Selectividad cronométrica ⇒ ejemplo



▶ Selectividad amperimétrica

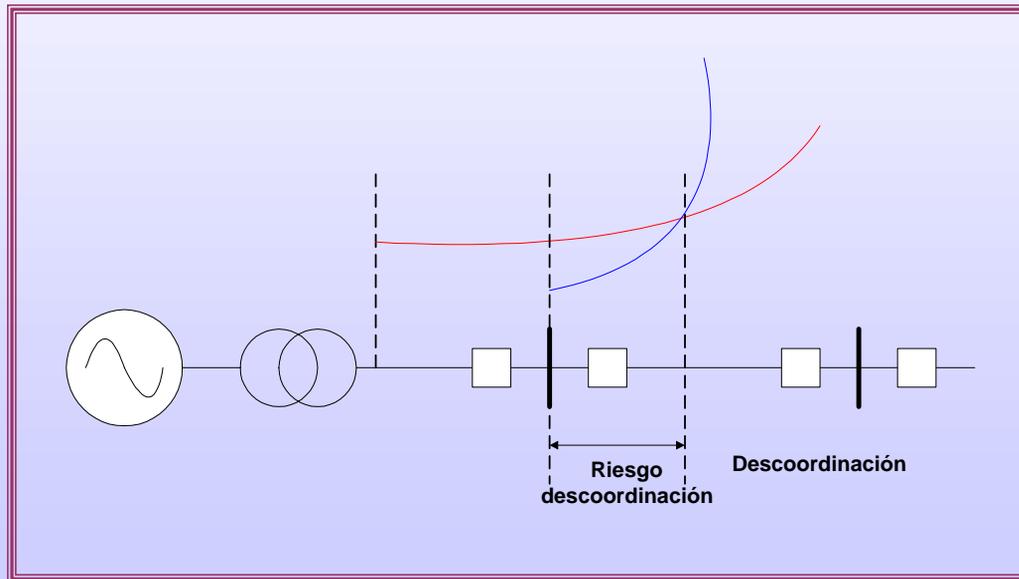
- ↻ Se basa \Rightarrow en el amortiguamiento que sufre la corriente de cortocircuito con la impedancia del circuito en falta.
- ↻ Se suele utilizar en la parte final del sistema de protección (carga), o en aquellos sistemas en los que existe una diferencia de impedancia entre dos protecciones a coordinar.
- ↻ A continuación se muestra un ejemplo:



- ↻ El relé mas lejano a la alimentación tendrá el ajuste mas bajo
- ↻ Entre dos protecciones hay que tener en cuenta
 - ▶ Tiempo de eliminación de falta mediante interruptor (tiempo de apertura + tiempo extinción arco)
 - ▶ Errores en los elementos asociados
 - ▶ Márgenes de seguridad

► Selectividad amperimétrica

- ✚ Al coordinar relés de sobreintensidad temporizados, es preferible que todos posean características similares, de lo contrario habrá descoordinación.

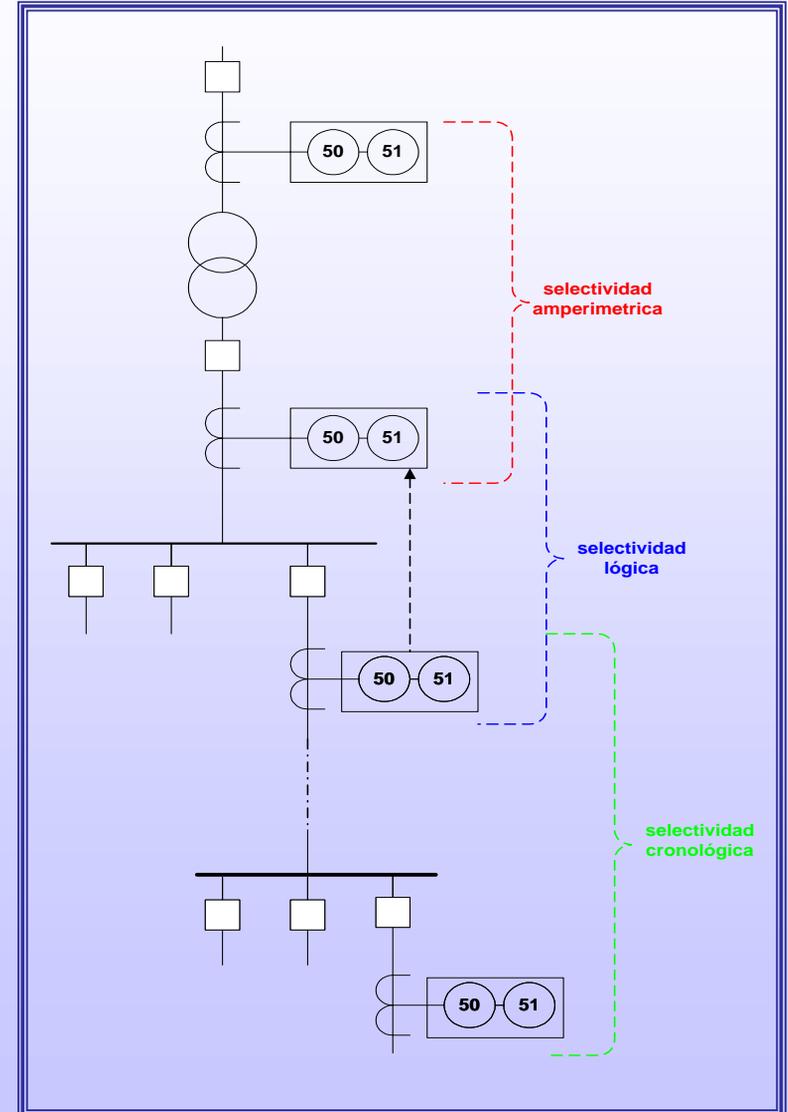


▶ Selectividad lógica

- ↪ **Ventaja** ⇒ Se pueden tener todos los relés ajustados con un mismo tiempo de actuación, dado que la selectividad la se obtiene con las señales de bloqueo ⇒ no se tiene la limitación en cuanto a tiempo de espera admisible que se tiene en la selectividad cronométrica.
- ↪ Una de las **aplicaciones** de esta selectividad es ⇒ en aquellos casos en los que no se pueda aplicar la selectividad cronometrica por necesitar en los equipos de cabecera unos tiempos de retardo cercanos a 1 segundo.
- ↪ **Desventaja** ⇒ requiere un cableado entre protecciones (para enviar la señal de bloqueo) o un canal de comunicación (IEC61850 o propietario)⇒ en función del sistema a proteger la distancia entre dichas protecciones puede ser considerable.

► Uso complementario de selectividades

- ↪ Cada una de las selectividades descritas tiene sus ventajas y sus desventajas ⇒ la obtención de la óptima selectividad en un sistema vendrá dada por la aplicación de la correcta selectividad en cada parte del sistema.
- ↪ La siguiente figura muestra un ejemplo de aplicación de tres selectividades ⇒ lógica, amperimétrica y cronométrica.



50/51 y 50/51N : Sobreintensidad de fase y neutro

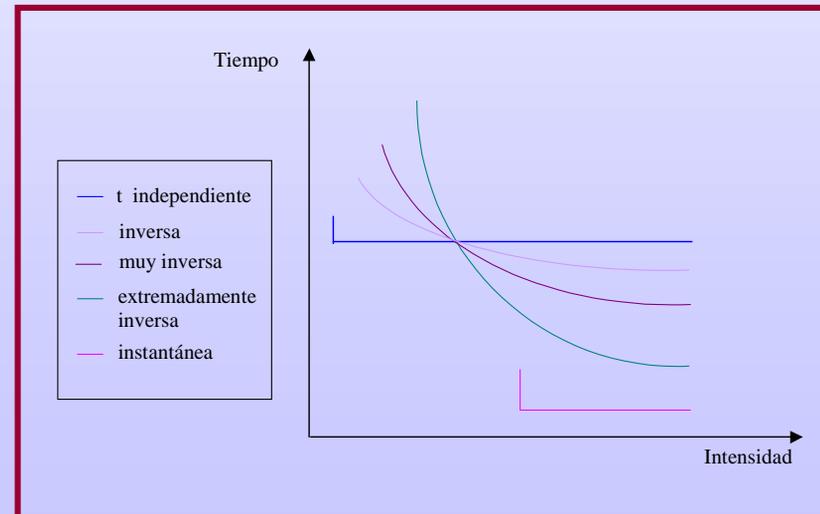
- ▶ La protección de sobreintensidad actúa cuando la intensidad de fase/neutro supera el valor ajustado y tras transcurrir el tiempo ajustado.

Característica temporizada

- ↻ Tiempo normal inverso (I BSC o I ANSI)
- ↻ Tiempo corto inverso (IC BSC)
- ↻ Tiempo largo inverso (IL BSC)
- ↻ Tiempo muy inverso (MI BSC o MI ANSI)
- ↻ Tiempo extremadamente inverso (EI BSC o EI ANSI)
- ↻ Tiempo muy inverso especial (MIEs BSC)
- ↻ Tiempo moderadamente inverso (ANSI)
- ↻ Curva de usuario (USUAR 1 o USUAR 2)
- ↻ Tiempo fijo
- ↻ Recaída con opción de emulación de disco

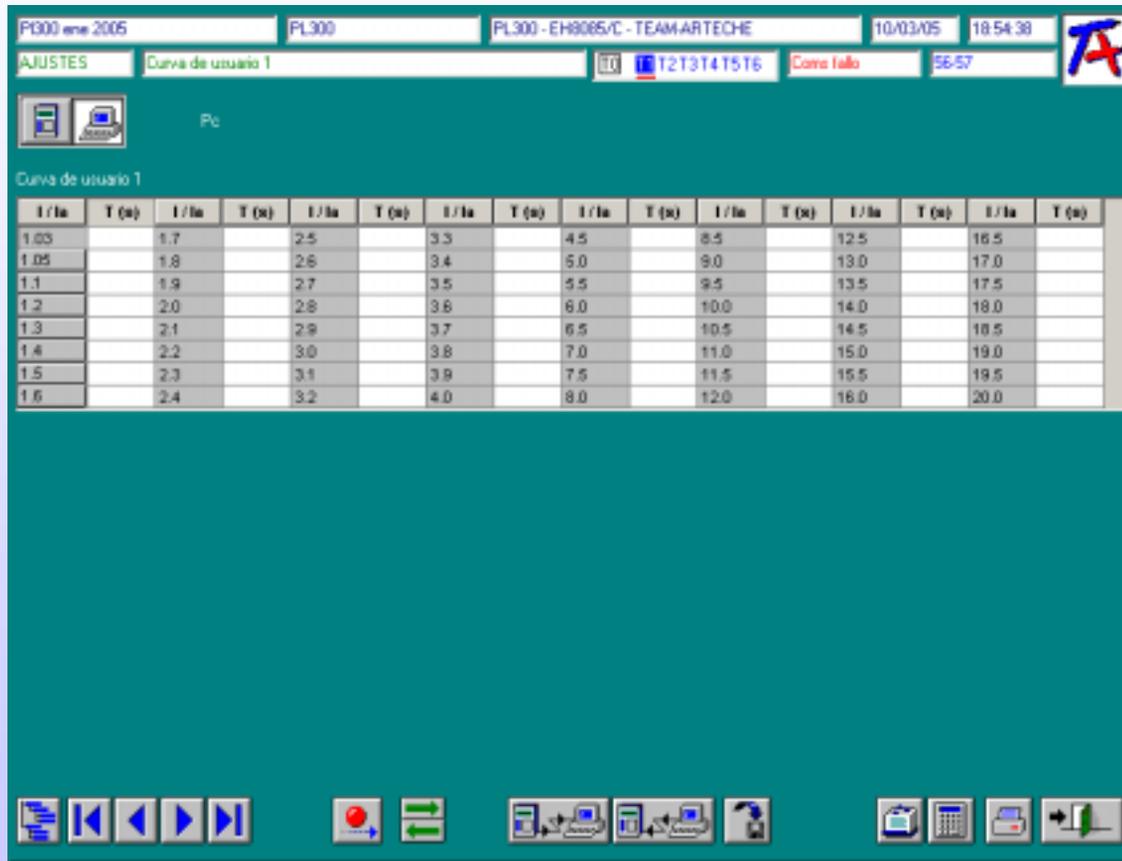
Característica instantánea

- ↻ Dos elementos instantáneos
- ↻ Tiempo adicional



Sobreintensidad en equipos de T&A II

Curvas de usuario



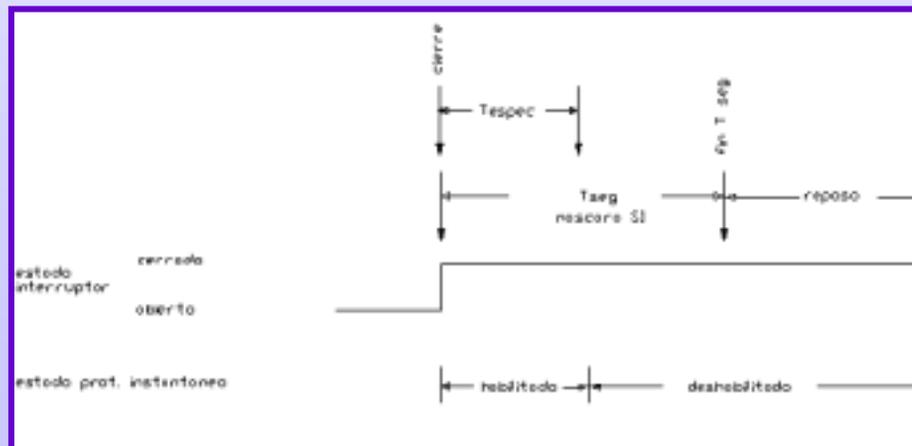
50/51 y 50/51N : Sobreintensidad de fase y neutro

- ▶ Mediante se puede seleccionar el funcionamiento de la función de sobreintensidad
 - ↳ Producir disparo
 - ↳ Arrancar pero no llega a dar señal de disparo
 - ↳ Que la recaída se produzca emulando disco ⇒ La unidad permite ajustar características de tiempo de recaída, emulando así el disco de inducción de relés electromecánicos y permitiendo una mejor coordinación de la protección.

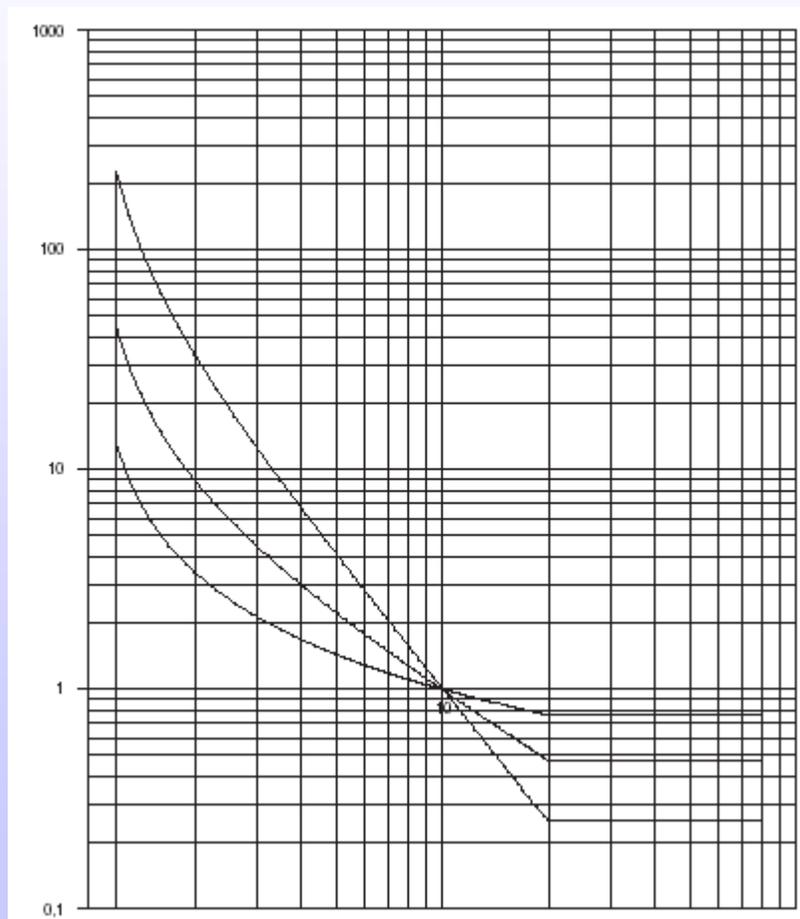
- ▶ Anulación de temporizados
 - ↳ Se puede programar para cada función de temporizado de sobreintensidad una entrada digital o lógica tal que si se activa la función deje de estar temporizada y pase a comportarse como instantánea

Funciones 50/50N coordinadas con reenganchador o cierre de interruptor:

- ▶ **Habilitación temporal tras cierre**
 - ↪ Posiciones de transformador.
 - ↪ Para ver cierre sobre falta.
- ▶ **Temporización tras cierre**
 - ↪ Cambia el tiempo de disparo para intentar “quemar” la falta en el caso de faltas repetitivas después de cualquier cierre.
- ▶ **Temporización tras reenganche 1**
 - ↪ Cambia el tiempo de disparo para intentar “quemar” la falta en el caso de faltas repetitivas después del primer reenganche



- ▶ **Funcionamiento especial 50/51N \Rightarrow Límite unidad 51N por unidad 50N**

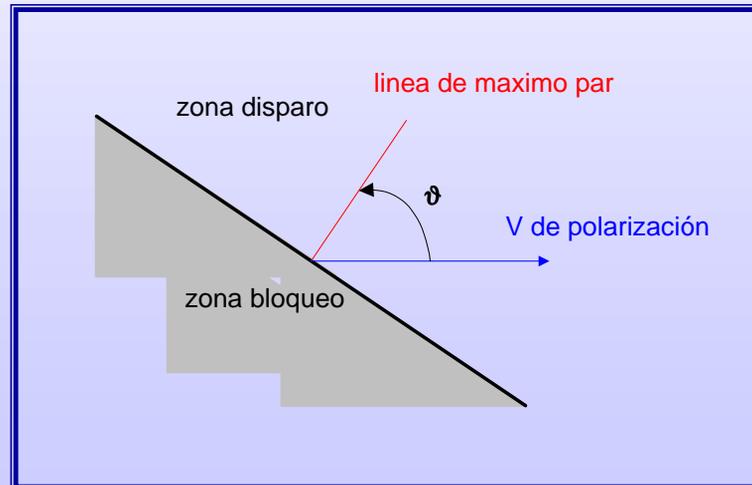




PROTECCIÓN DIRECCIONAL (67 / 67N)

- ▶ Su funcionamiento es idéntico a las unidades de sobreintensidad con la excepción de que su operación es supervisada por una unidad direccional.
- ▶ Responden a faltas en una sólo dirección
- ▶ Aumentan la capacidad del relé para determinar si una falta esta en la zona a proteger por lo que permiten ajustarlo más sensible.
- ▶ También requieren coordinación por tiempo.
- ▶ Hay dos tipos en cuanto a funcionamiento:
 - Supervisión direccional. La dirección bloquea el disparo de la sobreintensidad.
 - Control de par direccional. La dirección controla el arranque también. No hay carreras de tiempos entre la sobreintensidad y la dirección.

- ▶ **Actúan cuando**
 - ↳ La sobreintensidad supera el ajuste
 - ↳ Cuando las sobrecargas o faltas se produzcan **en una dirección**
- ▶ **Para determinar la dirección** ⇒ Utilizan la comparación de ángulos entre una intensidad y una tensión o intensidad de polarización

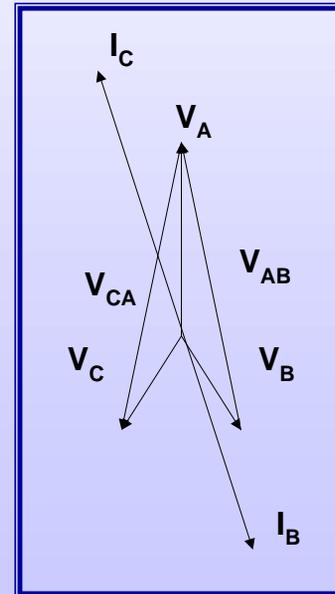
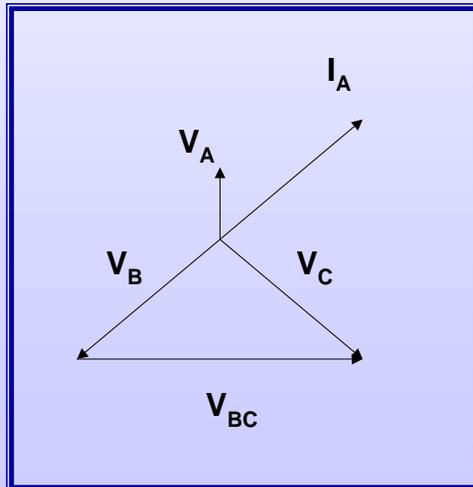


► **Funcionamiento**

- ↪ A partir de la tensión de polarización y del ajuste del ángulo característico (impedancia secuencia positiva de la línea) \Rightarrow se determina la línea de máximo par \Rightarrow indica la línea en que caerán la mayoría de faltas.
- ↪ A partir de esa línea se definen dos zonas: la de disparo y la de bloqueo
- ↪ La situación real de falta considerando la carga y la resistencia de falta aleja la intensidad de falta de la línea de máximo par.

Magnitud de polarización

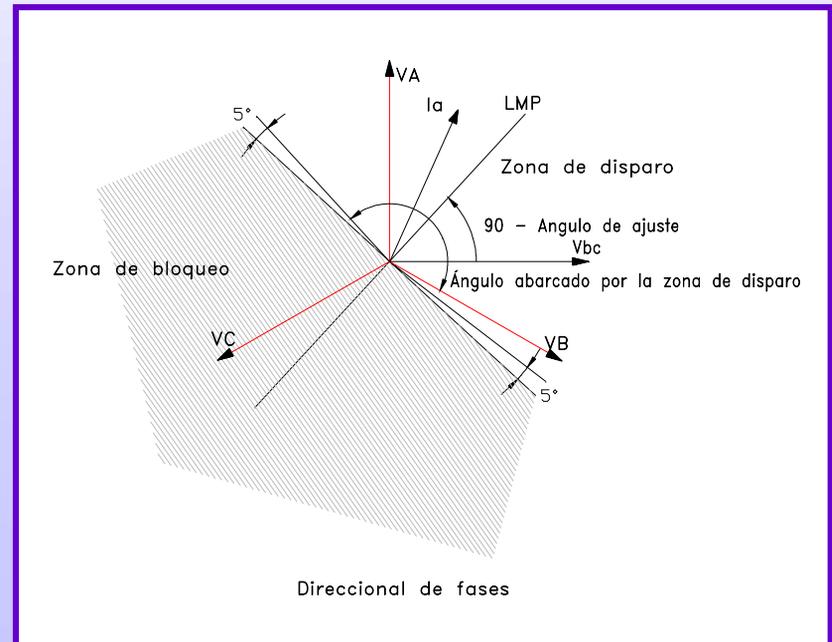
- ▶ Debe cumplir:
 - ↪ No debe anularse en las situaciones de falta
 - ↪ El sentido de la magnitud elegida no debe cambiar con independencia del sentido de circulación de la corriente



- ▶ Sobre todo en distribución y subtransmisión cuando la corriente de falta y/o carga pueden fluir en ambas direcciones.

Polarización por cuadratura

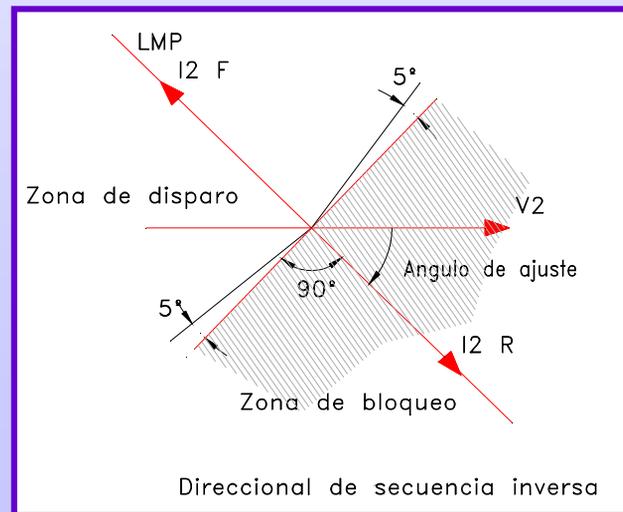
- ▶ Es la solución más común y sencilla para polarizar un direccional de fases
- ▶ Para cada fase la tensión de polarización es la tensión compuesta de las otras dos fases
- ▶ Si la falta es monofásica la tensión que cae es la de la fase en falta manteniéndose inalterables la de polarización
- ▶ Si la falta es bifásica una de las tensiones que interviene en la polarización bajará pero la otra se mantendrá constante con lo que no llegará a cero.
- ▶ Dispone de memoria \Rightarrow Si la tensión es inferior a un valor se polariza por medio de la tensión memorizada 2 ciclos antes de desaparecer la tensión.
- ▶ Amplitud de zona $\Rightarrow 5^\circ$ a cada lado para obtener la zona de bloqueo \Rightarrow En esta zona el relé mantiene el último estado en que hubiera estado (delante o detrás).



Polarización por secuencias

- ▶ Dispone de memoria. Si la tensión es inferior a este valor se polariza por medio de la tensión memorizada 2 ciclos antes de desaparecer la tensión. Se mantiene 25 segundos.
- ▶ No le afecta la carga
- ▶ **Secuencia inversa**
 - ↳ La dirección se determina por comparación entre la tensión y la intensidad de secuencia negativa, con I_2 superior a un umbral y V_2 superior a un umbral.

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

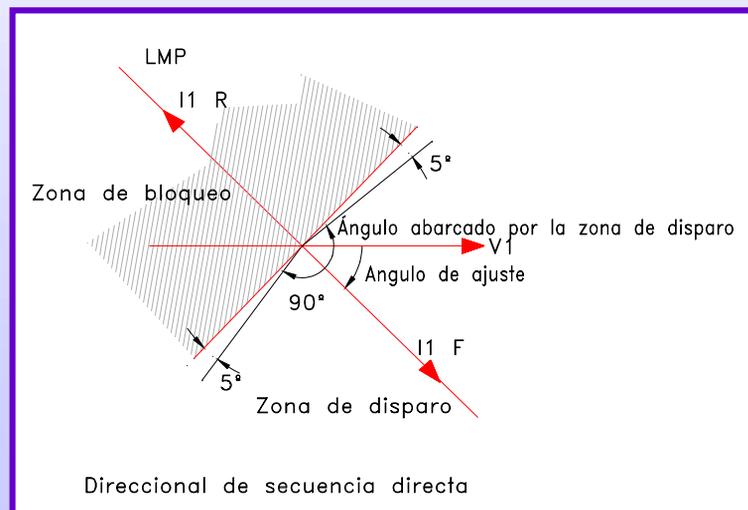


Polarización por secuencias

► Secuencia directa

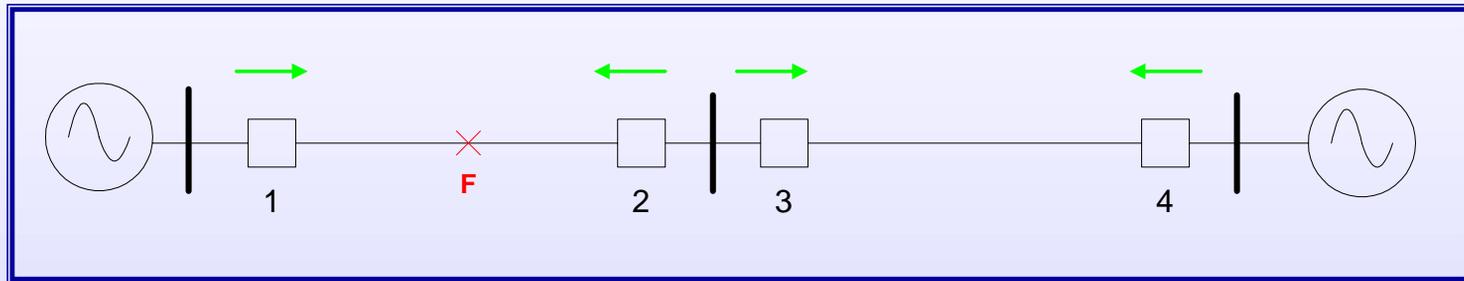
- ↪ La dirección se determina por comparación entre la tensión y la intensidad de secuencia positiva.

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



Aplicación

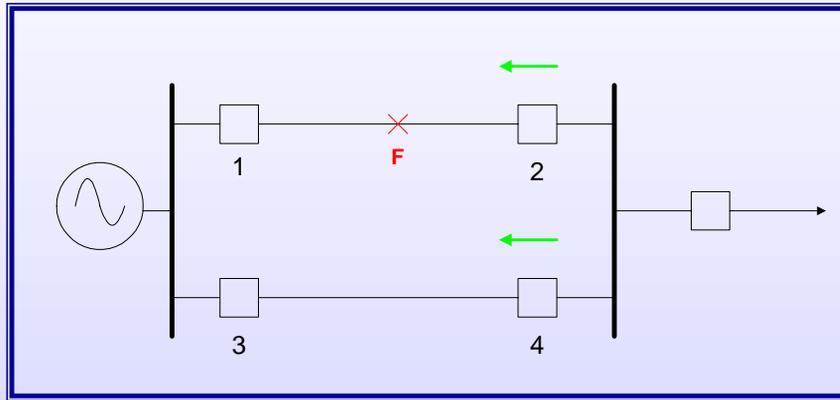
► Varias alimentaciones (fases)



- ↳ En el ejemplo la falta **F** la verían los relés 1, 2. También el 4 pero estará coordinado por tiempo para no llegar a disparar

Aplicación

► En circuitos dobles

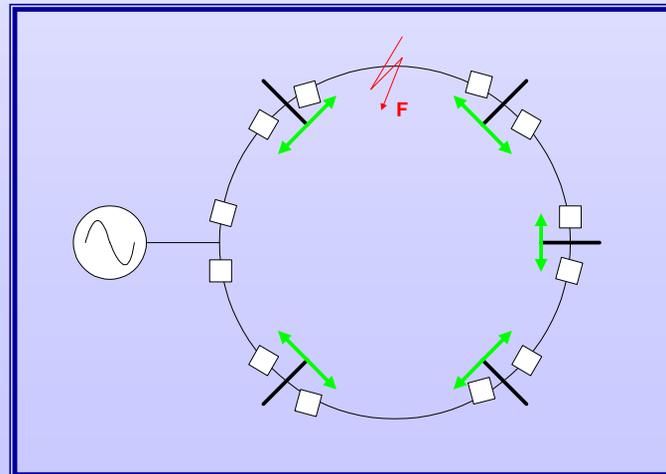


- ↩ En este tipo de circuitos se aplica la protección direccional en los extremos “receptores” y no direccional en los extremos de generación para obtener una correcta discriminación
- ↩ Generalmente los relés 2 y 4 se ajustan al 50% de la intensidad a plena carga

Aplicación

► Circuitos en anillo

- ↪ La distribución en anillo es común en redes de distribución
- ↪ Dado que la corriente puede circular en cualquier sentido \Rightarrow hay que aplicar relés direccionales
- ↪ El procedimiento habitual para ajustar anillos con una alimentación es abrir el anillo desde el punto de alimentación y coordinar los relés primero en sentido horario y luego antihorario.



- ▶ **No** son **necesarios** en los siguientes casos:
 - ↪ En circuitos radiales con alimentación por un extremo
 - ↪ Cuando la intensidad en la dirección de disparo es varias veces la de la dirección contraria

67N. Sobreintensidad direccional de neutro

- ▶ Actúa cuando la intensidad de neutro, circulando en la dirección definida supera el valor ajustado
- ▶ Mediante el ajuste de *control de par* permite que la unidad actúe como direccional o solamente como sobreintensidad
- ▶ Características:
 - ↳ Temporizada
 - ↳ Instantánea
- ▶ **Polarización:**
 - ↳ Polarización por V_0
 - ↳ Polarización por V_0 e I_0 (bajo pedido)
 - ↳ Polarización por secuencia negativa o cero

► Polarización por tensión V_0

El valor de V_0 depende de:

- ↩ Localización de la falta
- ↩ Impedancia fuente detrás del relé
- ↩ Impedancias de secuencia de la línea

Tener en cuenta

- ↩ En subestaciones con transformadores con puesta a tierra sólida (Z_s pequeña) debe chequearse la V_0 para faltas remotas.
- ↩ Puede haber problemas debido a inexactitud en la medida de la tensión fuente o a desequilibrio debido a líneas no transpuestas

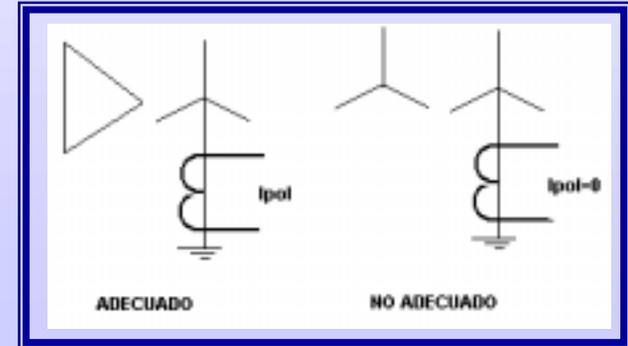
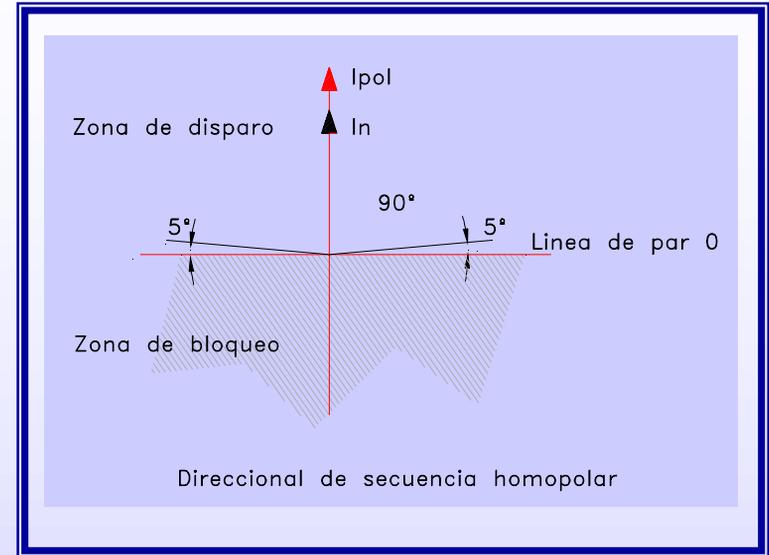
Polarización por secuencia homopolar

► Polarización por intensidad

- ↪ Con una falta a tierra la intensidad por la puesta a tierra
- ↪ Nunca es cero y además siempre circula desde la tierra hacia la subestación.
- ↪ El ángulo característico siempre es 0°
- ↪ Se utiliza en subestaciones con transformadores con la puesta a tierra accesible. Normalmente solidamente puestos a tierra donde la V_0 puede ser muy pequeña o cuando la falta se da en puntos muy lejanos y la tensión es baja.
- ↪ Hay que tener en cuenta el tipo de trafo para poder aplicarlo o no.

► Polarización por $V_0 + I_{pol}$

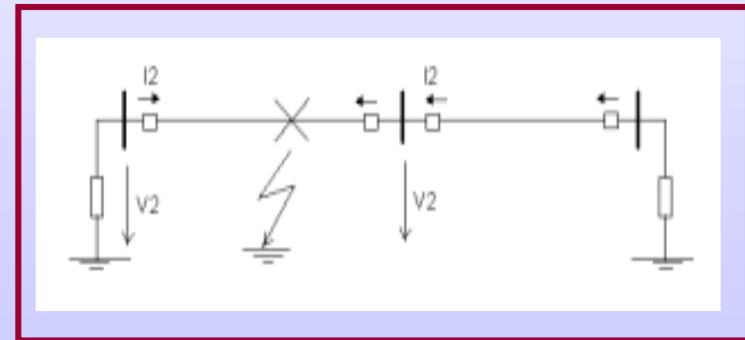
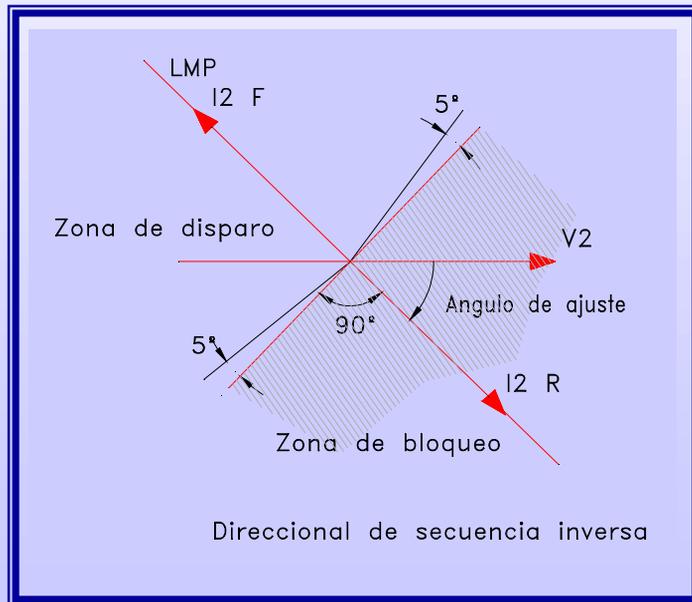
- ↪ Se realiza la determinación de la dirección independientemente con los criterios anteriores (V_0 e I). Si cualquiera de ellos determina que la dirección es de disparo, se da permiso de disparo



Polarización por secuencia inversa

- ▶ Utiliza la intensidad residual (suma de las tres de fase) como magnitud de operación.
- ▶ Se toma como magnitud de polarización la tensión de secuencia inversa y la intensidad de secuencia.

$90^\circ - \text{ángulo ajuste} < \arg(I_2) - \arg(V_2) < 270^\circ - \text{ángulo ajuste}$



Polarización por secuencia inversa

- ▶ Es insensible al acoplamiento de secuencia homopolar.
- ▶ $I_2 > I_0$ para faltas a tierra remotas con resistencia alta.
- ▶ V_2 e I_2 se pueden calcular de los valores fase-fase y no está afectada por la secuencia cero

Polarización por V0+V2

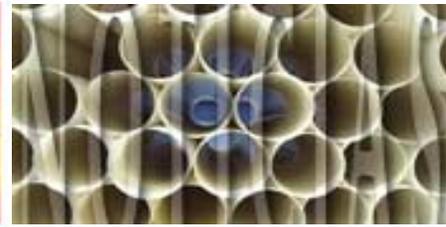
- ▶ Se realiza la determinación de la dirección independientemente con los dos criterios anteriores. Si cualquiera de ellos determina que la dirección es de disparo, se da permiso de disparo

Polarización por V2+Ipol

- ▶ Se realiza la determinación de la dirección independientemente con los criterios anteriores (V2 e I). Si cualquiera de ellos determina que la dirección es de disparo, se da permiso de disparo.

Polarización por V0+V2+Ipol

- ▶ Se realiza la determinación de la dirección independientemente con los criterios anteriores (V0, V2 e I). Si cualquiera de ellos determina que la dirección es de disparo, se da permiso de disparo.



NEUTRO AISLADO (67NA)

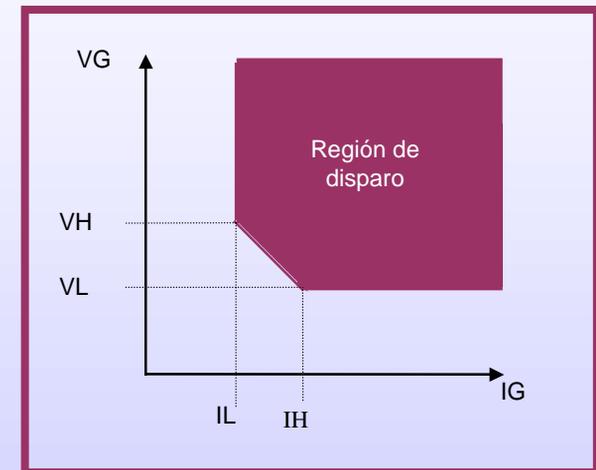
- ▶ **Protección de neutro aislado** \Rightarrow realiza una protección direccional contra *faltas a tierra en sistemas de neutro aislado*.
- ▶ Sistema de distribución de neutro aislado \Rightarrow pequeña intensidad homopolar en los defectos fase-tierra \Rightarrow ya que dicha intensidad únicamente se podrá cerrar a través de la capacidad homopolar propia del sistema.
 - ↳ Esta capacidad del sistema, varía de acuerdo con la proporción de líneas aéreas y/o subterráneas del sistema, siendo su capacidad mayor, a medida que la longitud del cable sea mayor.
- ▶ La intensidad homopolar de la línea en falta, se cerrará por tanto, a través de la capacidad de las líneas sin falta.

- ▶ Este tipo de faltas las detecta el equipo a través de la curva característica

- ▶ Las señales utilizadas por el equipo son:

↪ *Intensidad homopolar (IG)*: Procede de la conexión en paralelo de los secundarios de 3 trafos de intensidad de fases, o de un trafeo toroidal que engloba a las 3 fases.

↪ *Tensión homopolar (VG)*: Procede de la conexión en triángulo abierto de 3 trafos de tensión, de tensión nominal de secundario $110/\sqrt{3}$ V.



- ▶ El primer disparo es temporizado, con el tiempo definido en el ajuste del parámetro correspondiente; los disparos sucesivos que se produzcan durante los 10 seg. a partir de ese primer disparo pueden ser instantáneos ó temporizados.

Ajustes recomendados

- ▶ El **ajuste de tiempo** se seleccionará de forma de que se establezca una selección de disparos con el interruptor instalado aguas arriba.
- ▶ Los ajustes recomendados para **tensión de alta (VH) y tensión de baja (VL)** son los siguientes:
 - ↳ **Tensión baja** \Rightarrow Se ajustará a 10 V
 - ↳ **Tensión alta** \Rightarrow Se ajustará dependiendo del valor de la tensión del devanado secundario de los transformadores de tensión.
 - ▶ Si los secundarios son de valor $110/\sqrt{3}$ V \Rightarrow se ajustará a 30 V
 - ▶ Si los secundarios son de valor $110/3$ \Rightarrow se ajustará en 15 V.
- ▶ Los valores de las tensiones se ajustan considerando que deban tener un valor lo suficientemente pequeño como para que sea sensible, pero teniendo en cuenta que no se active debido a pequeños desequilibrios de tensión homopolar que existan en la red de forma permanente o causados por actuaciones en elementos de maniobra con apertura fase a fase.

Ajustes recomendados

- ▶ Para determinar los ajustes de **Intensidad alta (IH) e Intensidad baja (IL)**, hay que tener en cuenta el nivel de intensidad homopolar que se desea detectar \Rightarrow Este nivel de intensidad vendrá definido por:
 - \curvearrowright La propia capacidad homopolar del sistema, que aporta la intensidad de falta en cuestión
 - \curvearrowright La resistencia de puesta a tierra, si la hubiera.
- ▶ Para el calculo de la intensidad se tendrán en cuenta las siguientes formulas
 - \curvearrowright *Sistema con puesta a tierra*

$$I_R = \frac{3V}{2Z_1 + Z_0}$$

Donde:

$Z_0 \Rightarrow$ Impedancia de secuencia cero

$Z_1 \Rightarrow$: Impedancia directa

$V \Rightarrow$ Tensión compuesta

Ajustes recomendados

- ▶ Para el calculo de la intensidad se tendrán en cuenta las siguientes formulas

↪ Sistema con neutro asilado

$$Z_0 \cong X_0 = \frac{1}{C_0 \cdot \omega}$$
$$I_G = \frac{3V}{2Z_1 + \frac{1}{C_0 \cdot 2\pi f}}$$

Donde C_0 = Capacidad homopolar

Despreciando Z_1 :

$$I_G = 3V \cdot C_0 \cdot 2\pi f$$

- ▶ **Intensidad baja** \Rightarrow Se recomienda ajustarlo al menor valor de ajuste permitido por el relé (como máximo 5 mA secundarios) o bien al 30% de la corriente aportada por el resto de las líneas.

\Rightarrow Se realizará la medición del valor de la corriente homopolar (I_0) en la instalación en tensión del cliente. El valor de I_0 esperado debería ser 0 mA o muy próximo a él, pero si dicho valor fuese muy cercano o superase el valor de ajuste de referencia de 5 mA, se debería de ajustar I_b a un valor tal que:

$$I_L = I_G + 5mA$$

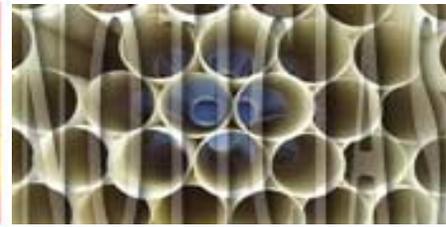
\Rightarrow *Ejemplo* \Rightarrow Si la intensidad a detectar es de 2.55 A y la relación de transformación (RTI) del toroidal es de 50/1 A, el ajuste a introducir en Intensidad baja (A) sería:

$$I_L = \frac{2.55}{\frac{50}{1}} = 0.051A$$

- ▶ **Intensidad alta** \Rightarrow Se ajustará la en torno a dos veces el valor del ajuste de I_b , salvo en los que se disponga de suficiente información de los valores de falta existentes en la red de MT a la que se conecte la instalación del cliente.

\curvearrowright *Ejemplo* \Rightarrow Continuando con el ejemplo anterior, el ajuste de I_H sería:

$$I_H = 2 \cdot I_L = 2 \cdot 0.051 = 0.102 A$$

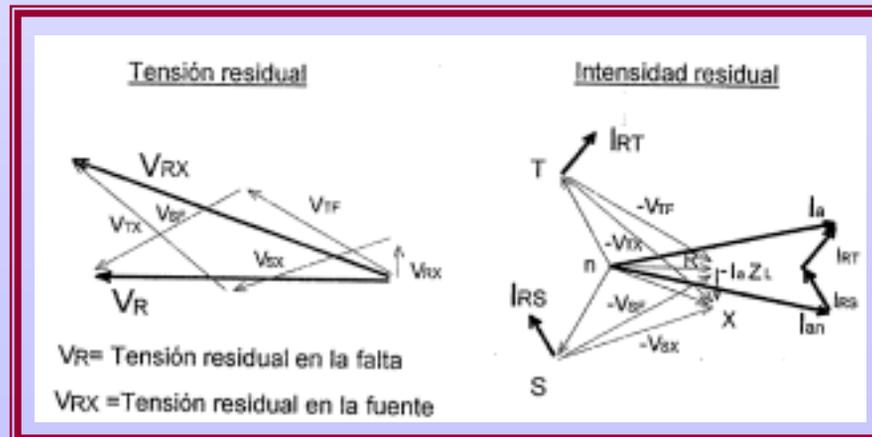
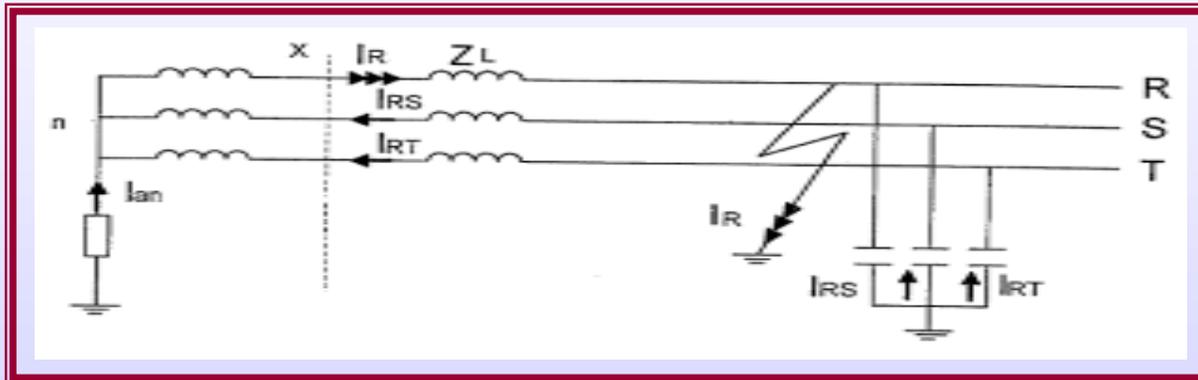


NEUTRO SENSIBLE y DIRECCIONAL

- ▶ **Sistemas de BT** ⇒ generalmente no están puestos a tierra a través de una impedancia ⇒ debido a las sobretensiones que pueden darse ⇒ problemas de seguridad
 - ▶ **Sistemas de AT** ⇒ podrían estar diseñados para soportar las sobretensiones, pero habitualmente están puestos a tierra a través de una impedancia
 - ▶ **Aplicación** ⇒
 - ↳ Una falta a tierra no implicando los conductores de tierra o que no son faltas francas sobre estructuras a tierra ⇒ bajo valor de intensidad
 - ↳ Terrenos de alta resistencia al paso de corriente ⇒ bajo valor de intensidad
- Estos bajos valores de intensidad ⇒ pueden no producir la actuación deseada de los relés de protección de neutro ⇒ En estos caso es necesario utilizar protecciones con capacidades de ajuste mucho menores que los que se emplean en sistemas convencionales.

Aplicación en puesta a tierra con resistencia I

- ▶ Puede precisar NS en función del CT y el nivel a detectar
- ▶ En estos casos la I_{an} suele ser mucho mayor que las corrientes capacitivas por lo que no se suele utilizar la función direccional



Aplicación en puesta a tierra con resistencia II

► Criterios de ajuste del 50N:

Calcular una falta en el secundario del trafo

- ↪ 70% de corriente de falta a tierra con un pequeño retraso de 100ms.
- ↪ 40% de corriente de falta a tierra con un pequeño retraso de 400ms. Detectaría faltas con resistencia. El retraso protege de disturbios del sistema como apertura/cierre de líneas.
- ↪ 10% de la corriente de falta con retraso de 0,8s. Detectaría faltas con gran resistencia. No debe haber secuencia homopolar en condiciones de funcionamiento sin falta. El retraso protege ante ruido en el circuito del CT.

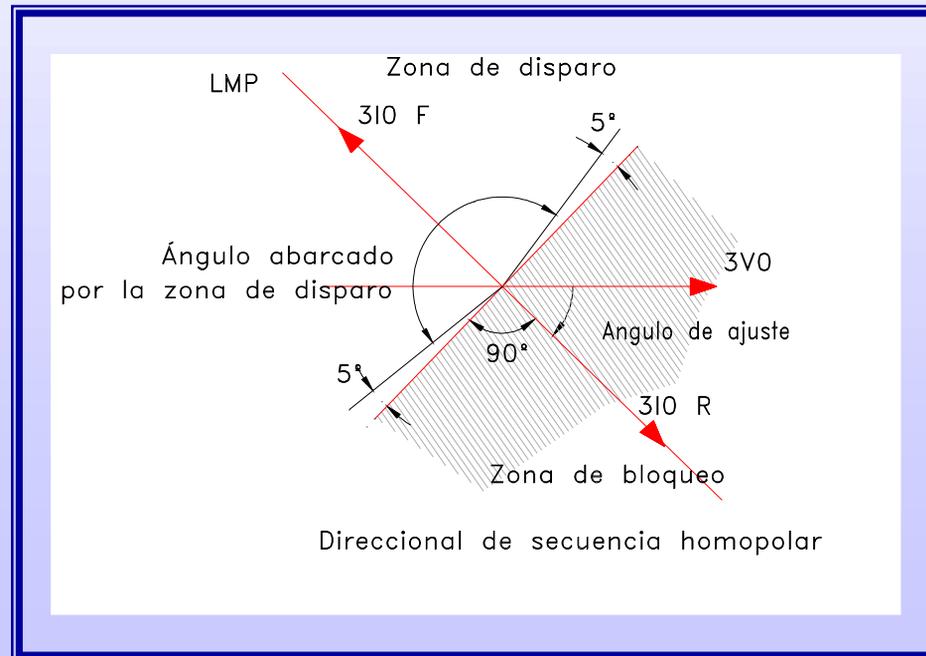
- ▶ La intensidad residual normal que puede circular durante condiciones normales \Rightarrow limita la aplicación de la protección de sobreintensidad residual no direccional

Funcionamiento como direccional

- ▶ Diferentes métodos
 - ↪ Angular
 - ↪ Watimétrico
 - ↪ $I \times \cos \varphi$
 - ↪ $I \times \sin \varphi$

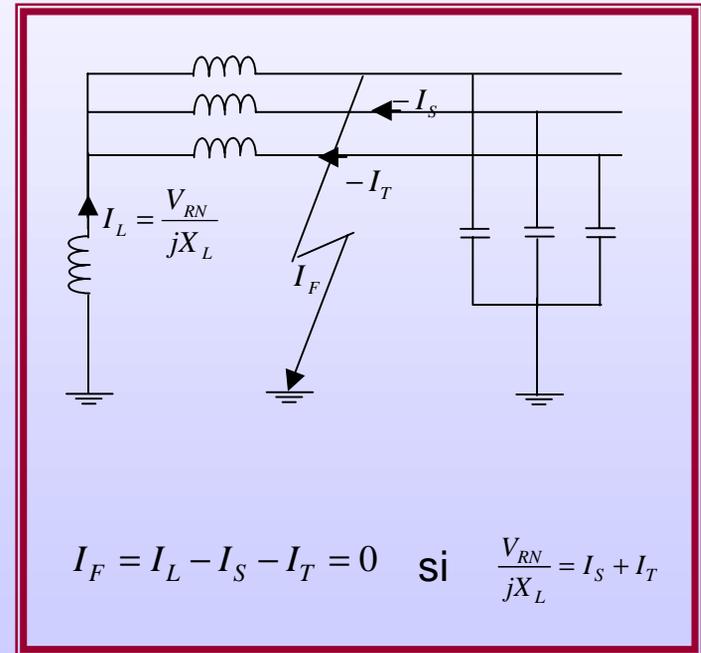
Funcionamiento con Polarización por V0, tensión homopolar

- ▶ Operación \Rightarrow Igual al explicado para direccional de neutro
- ▶ **Aplicación**
 - ↪ Para neutro aislado \Rightarrow MTA=90°
 - ↪ Para Bobina Petersen \Rightarrow MTA=180° \Rightarrow Mejor el relé watimétrico



Bobinas Petersen I

- ▶ Las bobinas Petersen son un caso particular de puesta a tierra de alta impedancia mediante reactancias.
- ▶ Basa su principio de operación en \Rightarrow conseguir que la corriente de falta se autoextinga \Rightarrow esto se obtiene \Rightarrow haciendo que **la impedancia inductiva de la bobina sea igual a la impedancia capacitiva del resto del sistema a la frecuencia de la red.**
- ▶ Si se consigue un buen ajuste de la inductancia de la bobina \Rightarrow la corriente de falta se autoextinguirá tal y como se puede ver en el siguiente dibujo.



Bobinas Petersen II

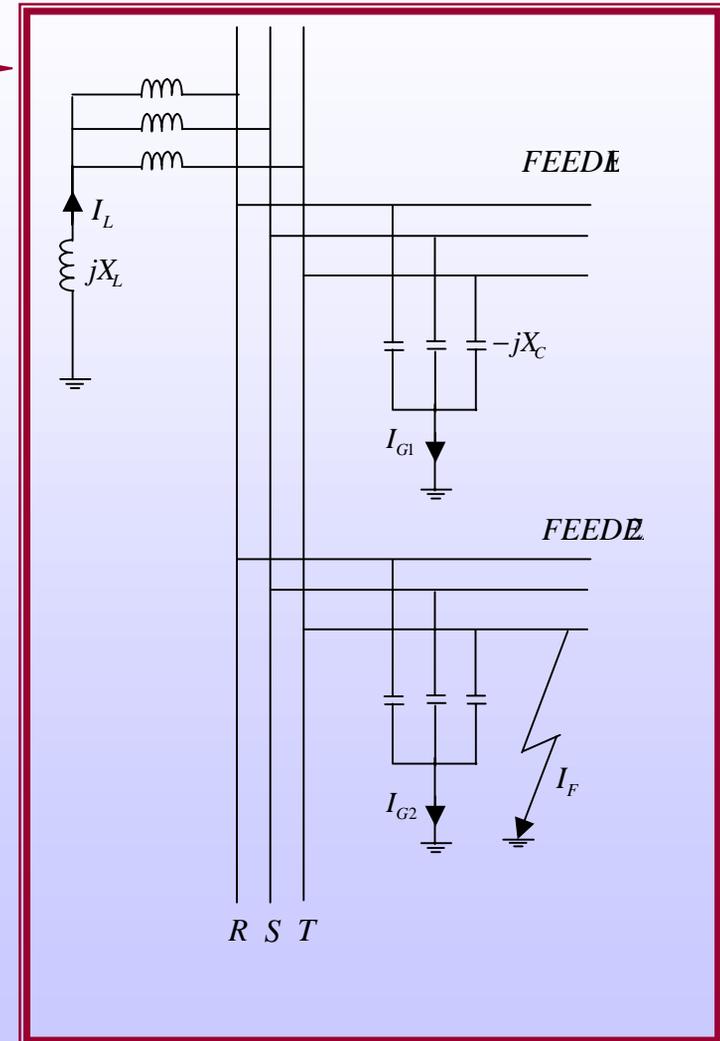
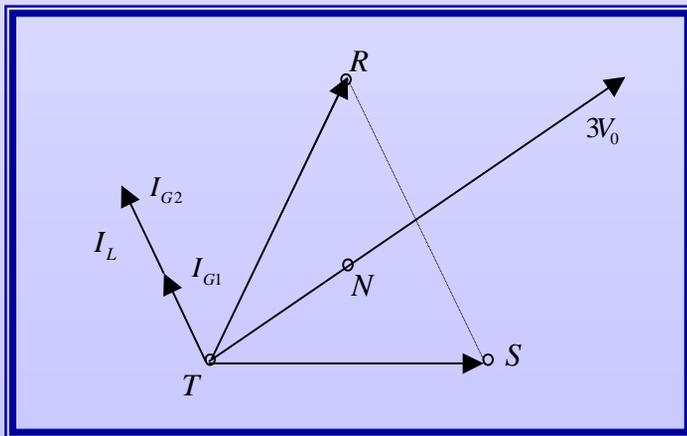
- ▶ Es de gran importancia que el valor de la inductancia de la bobina esté bien ajustada
⇒ de ello dependerá la eficacia de su aplicación ⇒ por lo que ⇒ las bobinas Petersen suelen ser bobinas de inductancia variable, muchas veces, la variación de la inductancia de la bobina está automatizada.
 - ↳ Cambios en la capacitancia del sistema ⇒ debido por ejemplo a cambios en la configuración del sistema ⇒ requieren cambios del valor de la inductancia
- ▶ Mas del 80% de las faltas que ocurren en los sistemas eléctricos de potencia, son faltas fase-tierra ⇒ Los cortes de suministro debidos a este tipo de faltas disminuyen de forma importante en los sistemas puestos a tierra por bobinas Petersen
- ▶ Son principalmente utilizadas en áreas rurales compuestas de líneas aéreas
- ▶ Son particularmente beneficiosas en puntos con gran incidencia de faltas transitorias

Bobinas Petersen III

- ▶ Consideremos el siguiente sistema
- ▶ Ante una falta en la fase T, la capacitancia de dicha fase queda cortocircuitada y la distribución de corrientes que aparece será la siguiente:

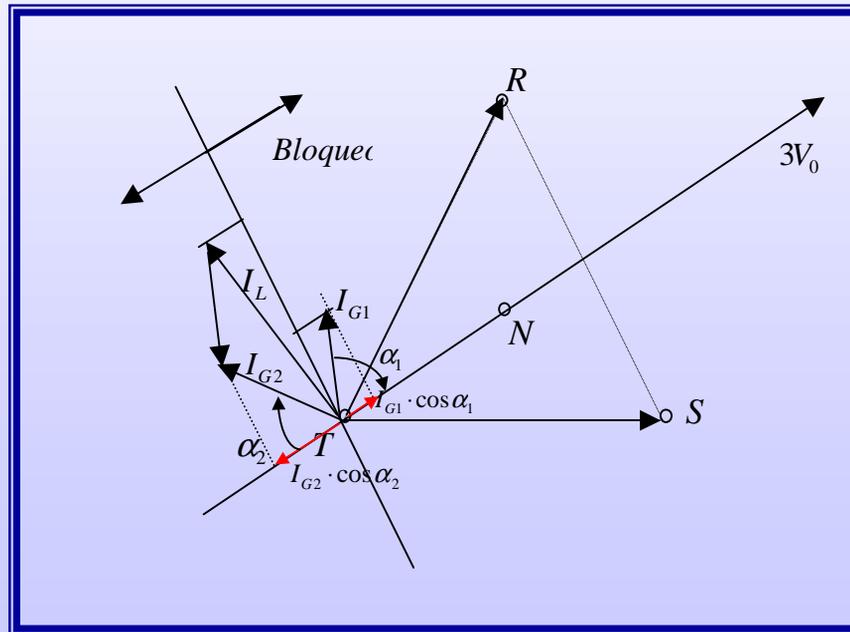
$$I_L = I_{G1} + I_{G2} + I_F$$

- ▶ Considerando resistencia nula, resulta el siguiente diagrama fasorial:



Bobinas Petersen IV

- ▶ Teniendo en cuenta la resistencia en la bobina y el feeder \Rightarrow esto hace que aparezca una componente resistiva de corriente \Rightarrow que hace que las corrientes residuales del alimentador en falta y del alimentador sano queden separadas por una línea perpendicular a la tensión homopolar, como se puede ver en la siguiente figura:

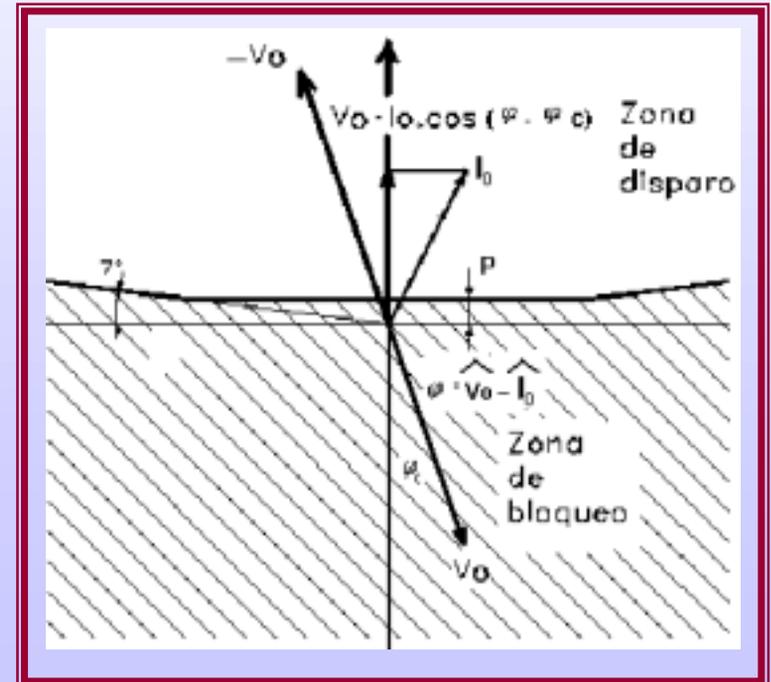


Bobinas Petersen V \Rightarrow Método Watimetrico ó $I \times \cos \varphi$

- ▶ En los sistemas puestos a tierra mediante bobinas de Petersen \Rightarrow las corrientes de falta que circulan a tierra son muy pequeñas y muy similares a las corrientes de desequilibrio que circulan por el neutro \Rightarrow por lo que son difíciles de detectar \Rightarrow **método del coseno ó watimetrico**

▶ Método Watimetrico

- ↪ Existe una diferencia de ángulos entre la intensidad de un feeder en falta y feeders sanos \Rightarrow da lugar a \Rightarrow una componentes activas de corriente en oposición de fase unas a otras
- ↪ A través de la dirección de la potencia \Rightarrow se determina si la falta es en el feeder o en otro punto del sistema



Bobinas Petersen $V \Rightarrow$ Método Watimetrico ó $I \times \cos \varphi$

▶ Método Watimetrico

↪ Para faltas hacia delante el ángulo entre la corriente y la tensión desplazada el ángulo de máximo par debe estar entre 97 y 263.

$$97 < \text{Ang}(I_0) - \text{angulo}(V_0) + \text{Ángulo característico} < 263$$

↪ Para faltas hacia detrás el ángulo entre la corriente y la tensión desplazada el ángulo de máximo par debe estar entre 277 y 83.

$$277 < \text{Ang}(I_0) - \text{angulo}(V_0) + \text{Ángulo característico} < 83$$

↪ La potencia $P = V_n \cdot I_{ns} \cdot \cos(\varphi - \varphi_c)$ debe superar el umbral mínimo de P en valor absoluto.

- ▶ Si el signo de P es negativo la falta es hacia delante
- ▶ Si es positivo es hacia atrás.

↪ La ecuación a implementar para calcular P es la siguiente:

$$P = (\text{Re}(V) \cdot \cos(\phi) + \text{Im}(V) \cdot \sin(\phi)) \cdot \text{Re}(I) + (\text{Im}(V) \cdot \cos(\phi) - \text{Re}(V) \cdot \sin(\phi)) \cdot \text{Im}(I)$$

Bobinas Petersen V \Rightarrow Método Watimetrico ó $I \times \cos \varphi$

▶ Método $I \times \cos \varphi$

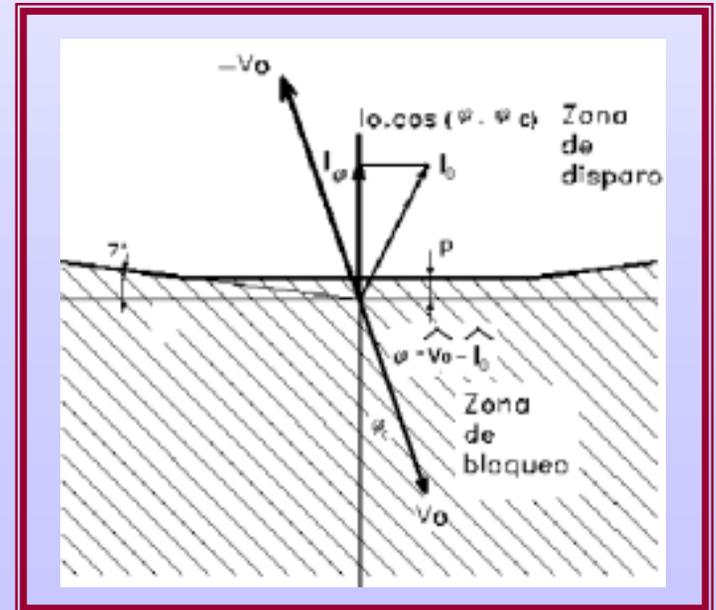
- ↪ La corriente mínima I mínima = $I_{ns} \cdot \cos(\varphi - \varphi_c)$ debe superar el umbral mínimo en valor absoluto. Si el signo es negativo la falta es hacia delante. Si es positivo es hacia atrás.
- ↪ Para faltas hacia delante el ángulo entre la corriente y la tensión desplazada el ángulo de máximo par debe estar entre 97 y 263.

$$97 < \text{Ang}(I_0) - \text{angulo}(V_0) + \text{Ángulo característico} < 263$$

- ↪ Para faltas hacia detrás el ángulo entre la corriente y la tensión desplazada el ángulo de máximo par debe estar entre 277 y 83.

$$277 < \text{Ang}(I_0) - \text{angulo}(V_0) + \text{Ángulo característico} < 83$$

- ↪ La zona de disparo dependerá del ángulo entre la tensión homopolar y la intensidad homopolar.



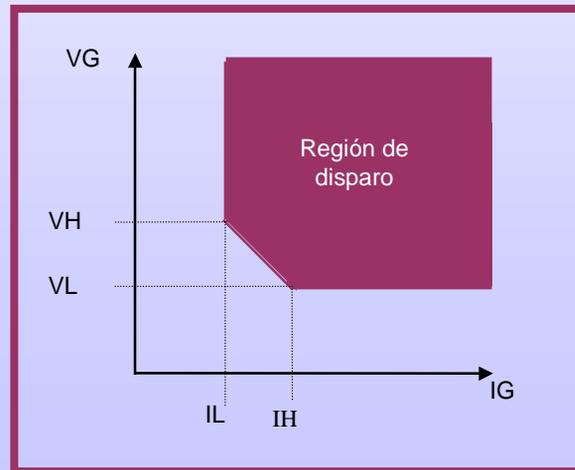
Método $I \times \text{sen } \varphi$

Aplicación

- ▶ En sistemas de **Neutro aislado**

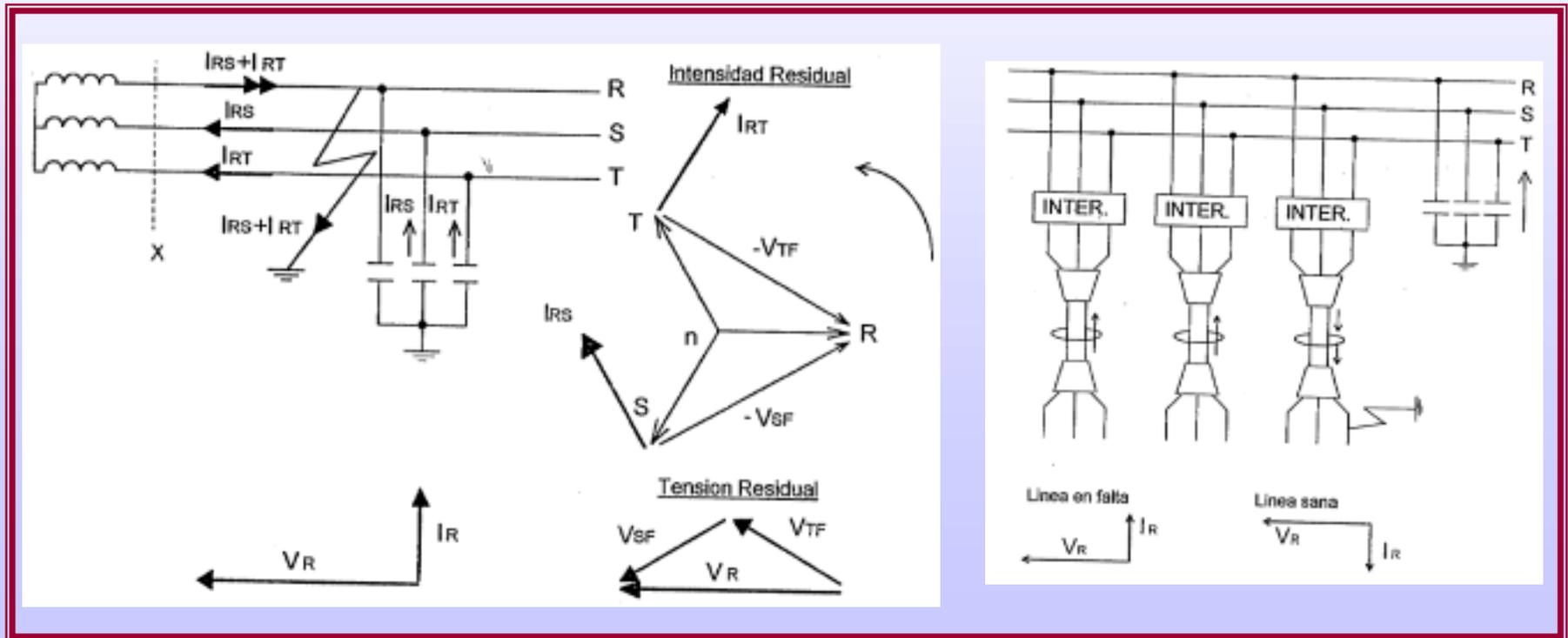
Para Sistemas de neutro aislado también se pueden utilizar los siguientes métodos ya vistos

- ▶ Angular \Rightarrow Con MTA a 90°
- ▶ Neutro aislado.



Método $I \times \sin \varphi \Rightarrow$ Aplicación a sistemas aislados I

- ▶ Ante falta a tierra I_n es baja pero V_{fase} aumenta \Rightarrow Sólo en MT
- ▶ La tensión de fase sana se multiplica por $\sqrt{3}$.
- ▶ La I de neutro retrasa 90° respecto a la tensión de neutro



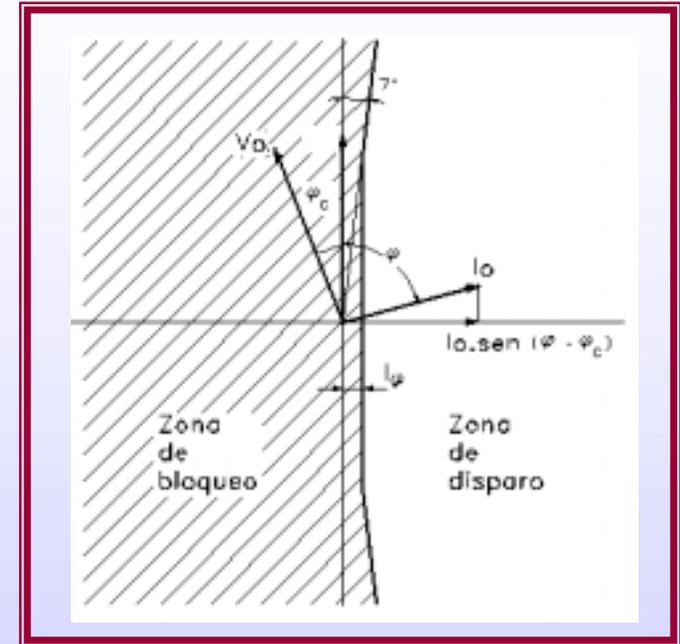
Método $I \times \sin \varphi$

- ▶ La corriente I mínima = $I_{ns} \cdot \sin(\varphi - \varphi_c)$ debe superar el umbral mínimo ajustado en valor absoluto.
 - ↪ Si el signo es negativo la falta es hacia delante.
 - ↪ Si es positivo es hacia atrás.
- ▶ Para faltas hacia delante el ángulo entre la corriente y la tensión desplazada el ángulo de máximo par debe estar entre 187 y 353.

$$187 < \text{Ang}(I_0) - \text{ángulo}(V_0) + \text{Ángulo característico} < 353$$

- ▶ Para faltas hacia detrás el ángulo entre la corriente y la tensión desplazada el ángulo de máximo par debe estar entre 7 y 173.

$$7 < \text{Ang}(I_0) - \text{ángulo}(V_0) + \text{Ángulo característico} < 173$$



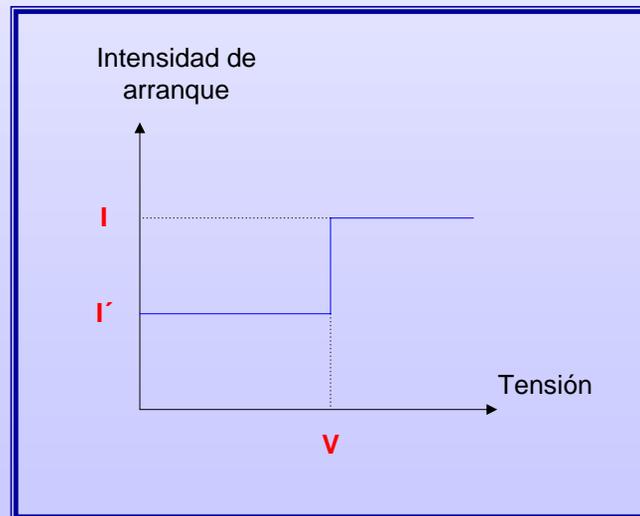
$$I \cdot \sin(\varphi - \varphi_c) = \frac{(\text{Im}(V) \cdot \cos(\varphi) - \text{Re}(V) \cdot \sin(\varphi)) \cdot \text{Re}(I) - (\text{Re}(V) \cdot \cos(\varphi) + \text{Im}(V) \cdot \sin(\varphi)) \cdot \text{Im}(I)}{|V|}$$



SOBREINTENSIDAD CONTROLADA POR TENSIÓN (51V)

Sobreintensidad controlada por tensión I

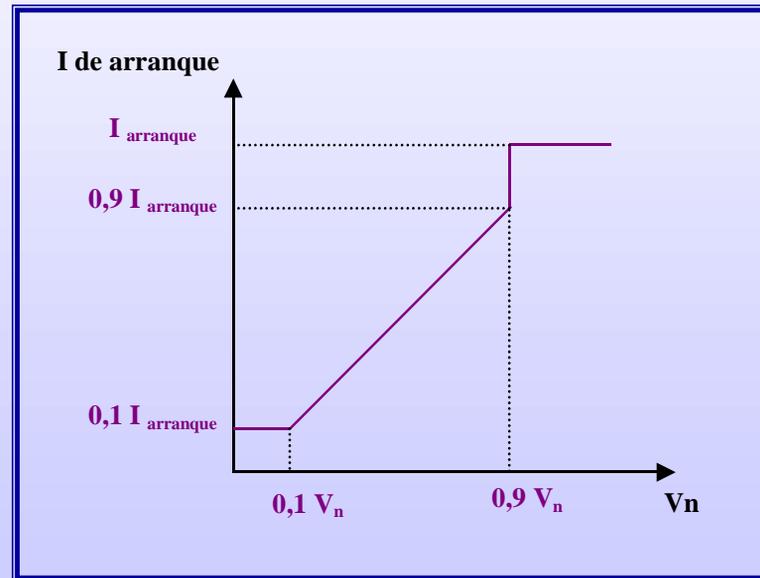
- ▶ La función de sobreintensidad controlada por tensión \Rightarrow Es una función de sobreintensidad es la que el valor del ajuste de la intensidad de arranque varía con el valor de la tensión medida
- ▶ **Dos** formas posibles de actuar:
 - \hookrightarrow **Sobreintensidad controlada por tensión**
 - ▶ Cuando el valor de la tensión es inferior a un valor programado (V) \Rightarrow los ajustes de la función de sobreintensidad cambias ($I \Rightarrow I'$)



- ▶ **Dos** formas posibles de actuar:

- ▶ **Sobreintensidad restringida por tensión**

- ▶ La intensidad de arranque es restringida por la tensión compuesta que sirve de control



Aplicación

- ▶ Líneas con niveles de falta similares al de carga
 - ▶ Generadores
 - ↳ Como backup ante faltas externas
 - ↳ Se evita la aplicación de una función de sobreintensidad “normal” dado que
 - ▶ La reactancia síncrona del generador hace que la intensidad de falta sea menor que la intensidad a plena carga ⇒ dificultad de parametrización
 - ▶ podría desconectar el generador de la red ante una sobrecarga
 - ↳ Cuando se produce
 - ▶ una falta externa ⇒ La tensión del sistema cae mucho y rápidamente
 - ▶ en una situación de sobrecarga ⇒ la tensión cae menos y esta caída es lenta
- **La función 51V** ⇒ utiliza el valor de la tensión para detectar las faltas

Aplicación

▶ Generadores ⇒ **Ajuste de sobreintensidad controlada por tensión**

↳ Durante sobrecargas ⇒ Cuando la tensión del sistema es normal la protección de sobreintensidad debería de tener un ajuste

▶ Ajuste de intensidad ⇒ por encima de la intensidad de plena carga ⇒ $1.05 \times I_{\text{plena carga}}$

▶ Característica de tiempo aquélla que evitase que la planta de generación alimentase una falta remota externa durante un periodo de tiempo que excediese los límites de la planta.

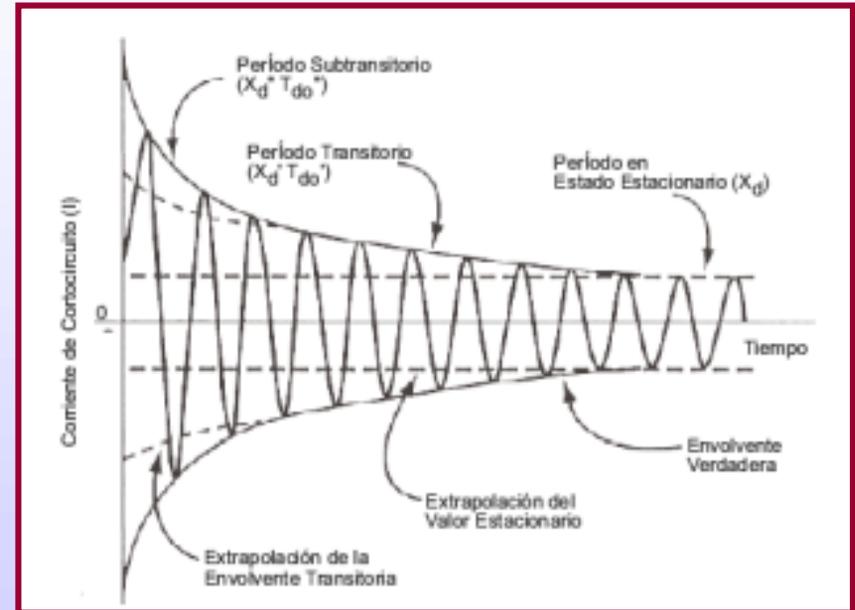
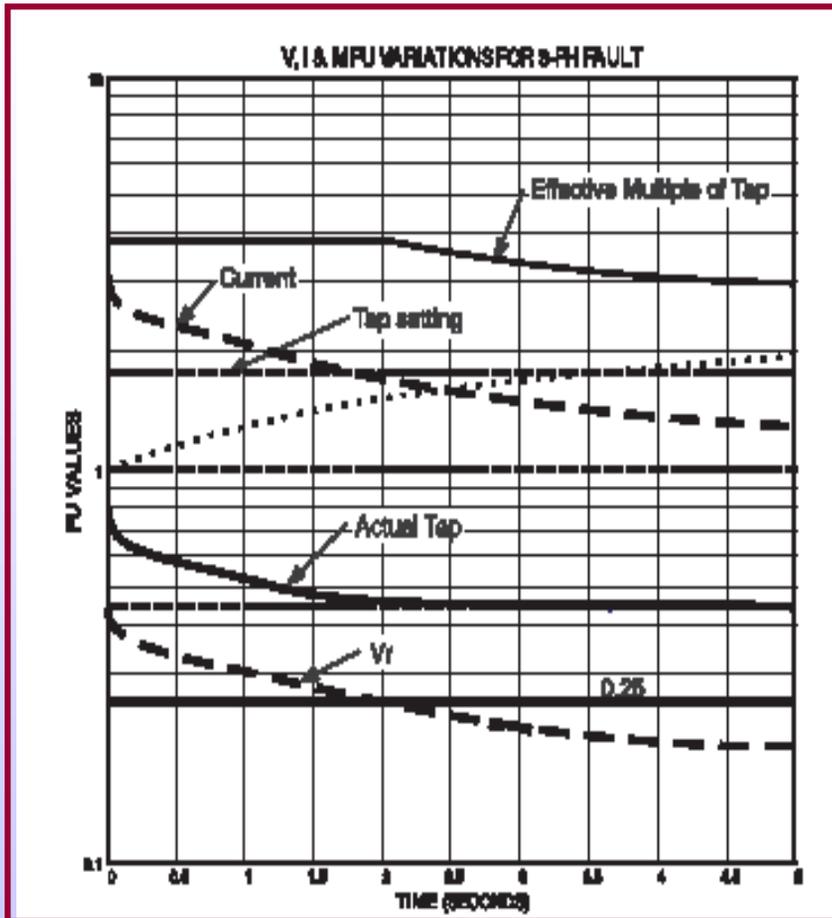
↳ Ante faltas ⇒ el nivel de tensión sería menor que el valor de tensión ajustado ⇒ se trabajaría con la segundo grupo de ajustes

▶ Ajuste de intensidad ⇒ Típicamente 60% de intensidad de falta en bornas del generador

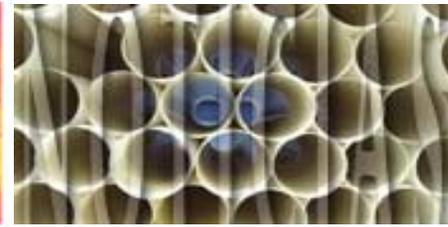
▶ Característica de tiempo ⇒ coordinada con el relé de aguas abajo

↳ Ajuste de la tensión de referencia ⇒ La tensión compuesta mínima para una falta cercana monofásica a tierra es del 57% ⇒ el ajuste debe ser menor que este valor ⇒ típicamente 30%

Sobreintensidad controlada por tensión V



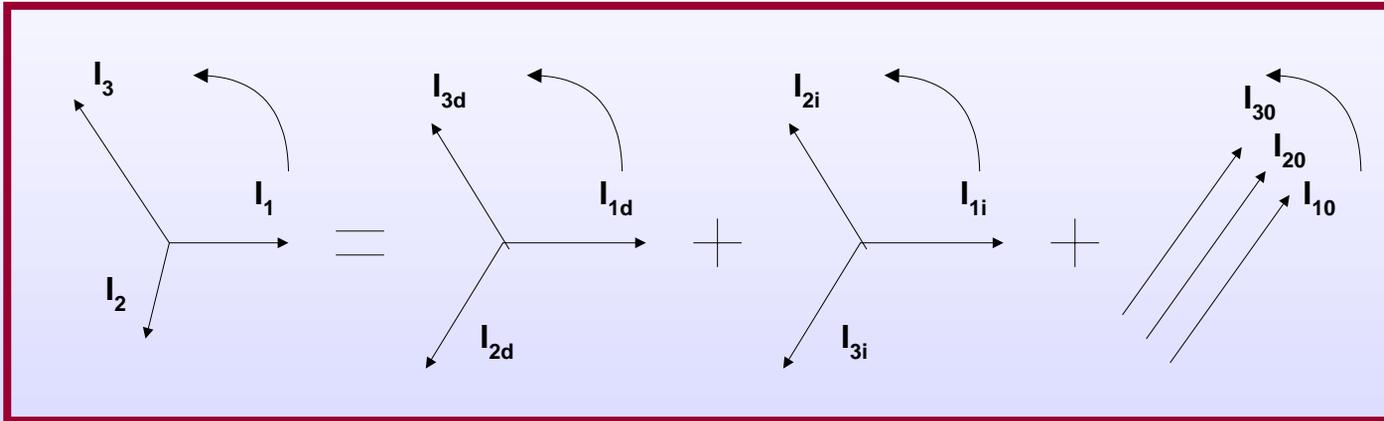
Corriente cortocircuito
generador



DESEQUILIBRIO DE INTENSIDADES (46)

Desequilibrio de intensidades I

- ▶ Sistema trifásico totalmente equilibrado \Rightarrow No existe circulación de I₂
- ▶ Sistema trifásico desequilibrado \Rightarrow circulación I₂



- ▶ Causas de desequilibrio
 - ↻ Distribución desequilibrada de cargas monofásicas en la red
 - ↻ Reenganches monofásicos
 - ↻ Transposición incorrecta de fases
 - ↻ Quema de fusibles de bancos de condensadores
 - ↻ Apertura de una de las fases, etc.

- ▶ La existencia de desequilibrio de intensidades en el sistema \Rightarrow **sobrecalentamientos**
- ▶ **Aplicación función 46** \Rightarrow **Proteger ante desequilibrios**
- ▶ **Funcionamiento** \Rightarrow Exactamente igual que la protección de sobreintensidad de fases tomando como medida de entrada 3 veces el módulo de la intensidad de secuencia inversa

$$3 \cdot |\vec{I}_2| = |\vec{I}_a + a^2 \cdot \vec{I}_b + a \cdot \vec{I}_c|$$

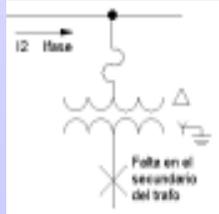
▶ Ventajas

- ↩ Ofrece mayor sensibilidad que la unidad de sobreintensidad detectando faltas no-trifásicas con valores de I menores que la Intensidad de plena carga
- ↩ Mejor comportamiento ante faltas resistivas que I_0 al final de líneas largas ($Z_2 < Z_0$)
- ↩ Insensible al acoplamiento de secuencia cero en líneas paralelas.
- ↩ No afectado por la carga.
- ↩ Preferible sobre la secuencia cero con fuente de secuencia homopolar fuerte ($Z_{2s} > Z_{0s}$)

▶ Desventajas

- ↩ Afectada por cambios en la fuente
- ↩ Afectada por desbalance normal de la carga
- ↩ Afectada por aperturas y fase abierta
- ↩ Hay que coordinarlo con los elementos de fase y tierra

Faltas en sistema de distribución radial

Tipo falta	I_{fase}	$3I_2/I_{\text{fase}}$	$3I_0/I_{\text{fase}}$
Trifásica	$V/\sqrt{3} Z$	0	0
Doble fase a tierra		$\leq \sqrt{3}$	$\leq \sqrt{3}$
Bifásica	$V/2Z$	$\sqrt{3}$	0
Monofásica a tierra		1	1
Bifásica en el secundario de un transformador triángulo/estrella		1.5	0
Monofásica a tierra en el secundario de un transformador triángulo/estrella		$\sqrt{3}$	0

Ajuste de la función

- ▶ La tabla muestra que la relación $3I_2/I_{fase}$ no excede nunca $\sqrt{3} \Rightarrow$ si se ajusta la función 46 igual o $\sqrt{3}$ veces por encima que la función 50/51 \Rightarrow no proporciona sensibilidad adicional
- ▶ Falta monofásica a tierra $3I_2/I_{fase} = 3I_0/I_{fase} = 1 = 3I_2/3I_0 \Rightarrow$ la función 46 habrá que ajustarla igual o superior a la función 50N/51N \Rightarrow para evitar ser mas sensible que la unidad de tierra
- ▶ En un sistema eléctrico \Rightarrow por debajo de donde esté instalada la función 46 \Rightarrow existirán \Rightarrow otras protecciones, reclosers, fusibles, etc. \Rightarrow Si la unidad de tierra esta coordinada con los relés aguas abajo \Rightarrow ajustando la función 46 a $\sqrt{3}$ el ajuste del elemento de tierra \Rightarrow se obtiene coordinación de esta función con equipos de aguas abajo

Método para ajustar la función

- ▶ Comenzar por el elemento 46 mas lejano aguas abajo \Rightarrow por ejemplo recloser
- ▶ Determinar la función 50/51 instalada aguas debajo de la 46 mas critica para la coordinación
- ▶ Determinar, ignorando la carga, cual sería el ajuste de una función 50/51 para que estuviese correctamente coordinada con la función 50/51 critica de aguas abajo. Si el elemento de tierra esta coordinando con todos los elementos aguas abajo, esta función 50/51 se ajustaría con la misma curva que el elemento de tierra
- ▶ Estos ajustes de la función 50/51 se multiplican por $\sqrt{3}$



FASE ABIERTA (46FA)

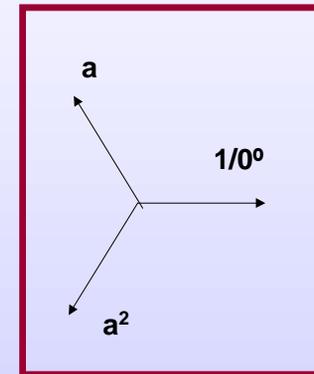
Team-Arteche

- ▶ **Función** ⇒ Detectar situaciones de fase abierta
- ▶ Estas faltas pueden deberse a:
 - ↪ Conductores rotos
 - ↪ Mal funcionamiento de interruptores
 - ↪ Operación de fusibles.
- ▶ Las faltas serie o faltas con fase abierta
 - ↪ no son detectables por relés de sobrecorriente normales ⇒ ya que no suponen incremento de corriente.
 - ↪ Sólo producen un desequilibrio ⇒ detección basada en I_2 .
- ▶ No es recomendable detectar la falta midiendo directamente I_2 ⇒ ya que puede ser inferior al desequilibrio a plena carga (por errores en los CTs, etc) ⇒ por lo que no funcionaría con carga baja debido al tarado

► **Se utiliza** \Rightarrow la función **fase abierta**:

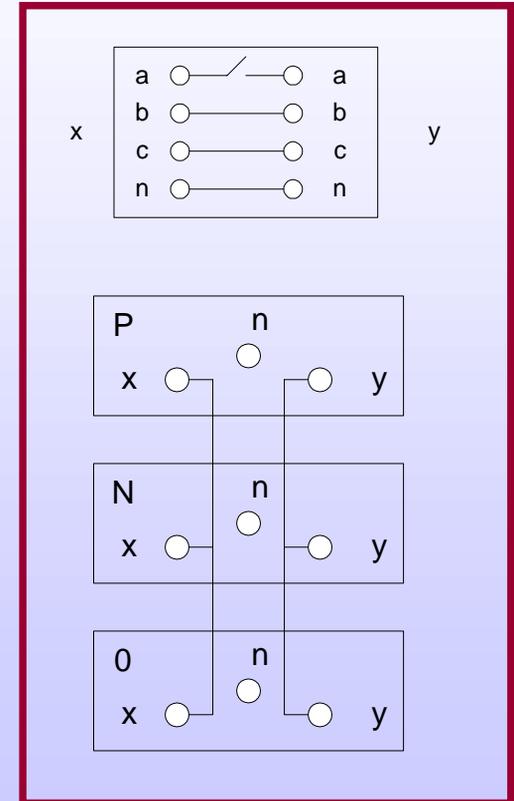
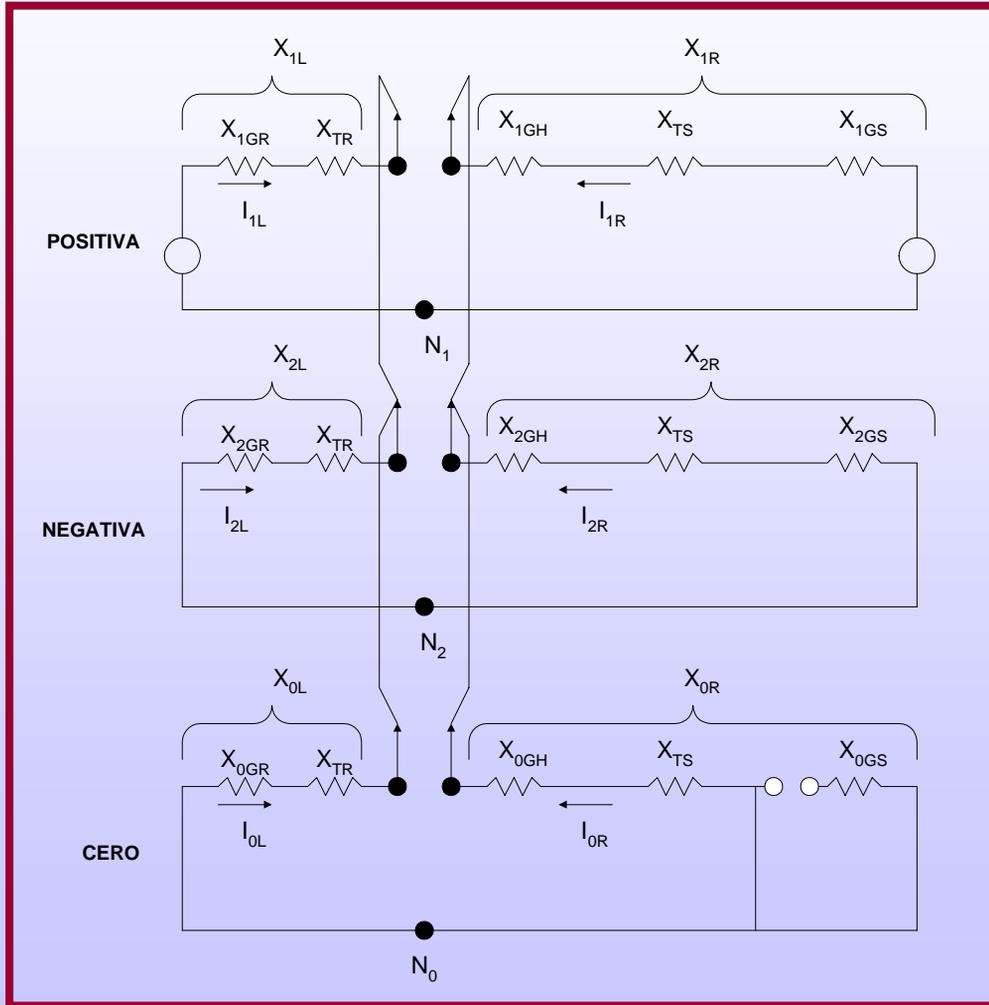
- ↪ Basada en I_2/I_1
- ↪ Adaptable a la carga

$$\left| \frac{3\vec{I}_2}{3\vec{I}_1} \right| = \left| \frac{\vec{I}_a + a^2\vec{I}_b + a\vec{I}_c}{\vec{I}_a + a\vec{I}_b + a^2\vec{I}_c} \right|$$



- Es una unidad de protección de tiempo fijo \Rightarrow El relé dispara al transcurrir el tiempo programado desde que se supera el valor de ajuste de arranque.
- El valor de arranque, que se ajusta en tanto por uno, es la relación en módulos de la intensidad de secuencia inversa entre la de secuencia directa.

Red de secuencias para conductor abierto



Los valores de corriente directa e inversa son:

$$I_{1f} = \frac{E(z_2 + z_0)}{z_1 \cdot z_0 + z_2 \cdot z_0 + z_1 \cdot z_2}$$

$$I_{2f} = \frac{-E \cdot z_0}{z_1 \cdot z_0 + z_2 \cdot z_0 + z_1 \cdot z_2}$$

$$\frac{I_{2f}}{I_{1f}} = \frac{z_0}{z_0 + z_2}$$



▶ La relación $I_{2f}/I_{1f} \Rightarrow$ es función de z_0 y $z_2 \Rightarrow$

↳ Depende de la localización

↳ Puede llegar al 100%

▶ AJUSTE

Se ajusta lo más bajo posible sin arranque a plena carga.

- ↪ Se mide la I2 a plena carga debida a desbalances, errores CTs, etc y se multiplica por 2.
- ↪ Valor típico 20%

▶ TIEMPO

- ↪ Hay que evitar disparo por cualquier desbalance del sistema , p.ej. Aperturas monopolares.
- ↪ Por tanto el tiempo de disparo será largo ⇒ típico 60 segundos

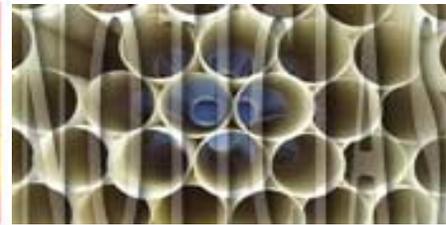
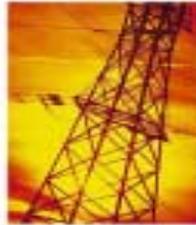


IMAGEN TÉRMICA (49)

- ▶ **Una sobrecarga** ⇒ puede dar lugar a un calentamiento excesivo de diferentes elementos del sistema ⇒ una forma de proteger ante esta sobrecarga está basada en la temperatura, la cual se calcula por una técnica de imagen térmica.
- ▶ Calcula una temperatura en función de las condiciones de carga actuales y recientes de acuerdo a la norma **CEI 255-8**
- ▶ La función proporciona dos señalizaciones
 - ↪ al llegar al valor programado ⇒ se activa un relé de aviso
 - ↪ al llegar al 100% ⇒ se activa el relé de disparo de imagen térmica
- ▶ Una vez disparado por este motivo, el relé no recae mientras la temperatura calculada esté por encima del 75% y se cumplan el resto de condiciones de sellado.

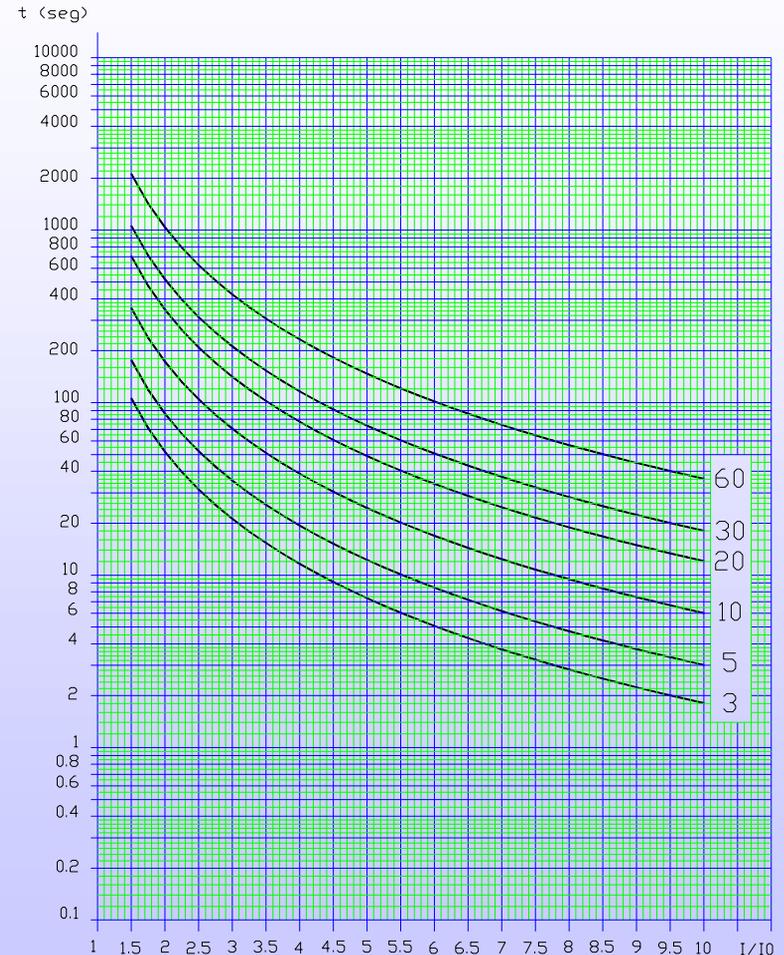
Imagen térmica II

- ▶ El tiempo que se tarda en llegar al disparo viene dado por las curvas de sobrecarga \Rightarrow dan el tiempo en función de la relación entre la intensidad y la intensidad nominal programada, en función de la constante de calentamiento programada.

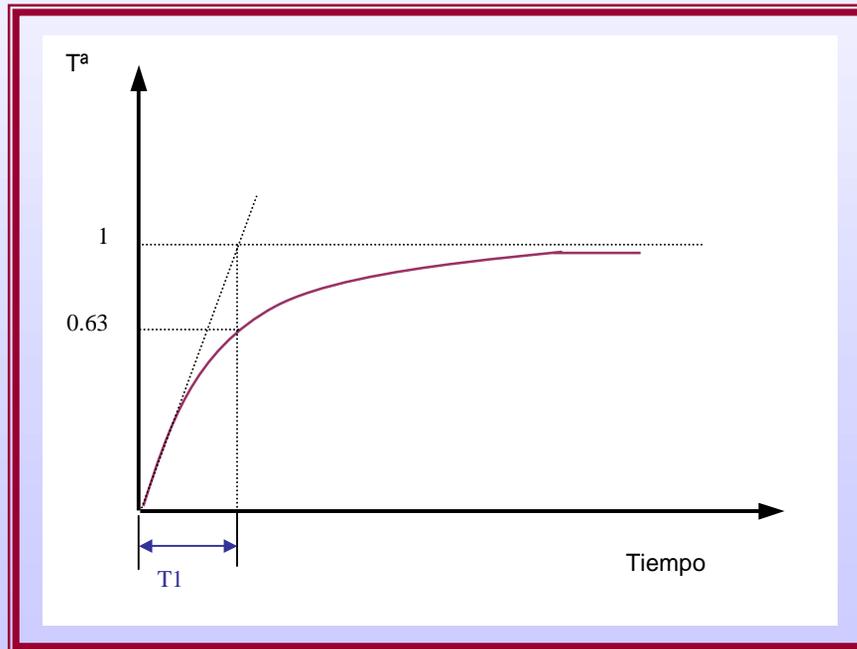
$$t = \tau_1 \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{I_0}\right)^2}{\left(\frac{I}{I_0}\right)^2 - 1}$$

siendo t : tiempo de disparo
 T_1 : cte. de calentamiento
 I : intensidad medida
 I_0 : intensidad nominal programada

Para el enfriamiento, una vez disparado, hay otra cte. de tiempo programable.



- ▶ **$T1$ \Rightarrow Constante de calentamiento \Rightarrow se define como el tiempo necesario para que el calentamiento del equipo a carga nominal alcance el 63% del valor de calentamiento nominal, desde su puesta en marcha**



- ▶ La curva de calentamiento se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$T = (T_f - T_i) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + T_i$$

Para $T_i = 0$ la fórmula queda reducida a

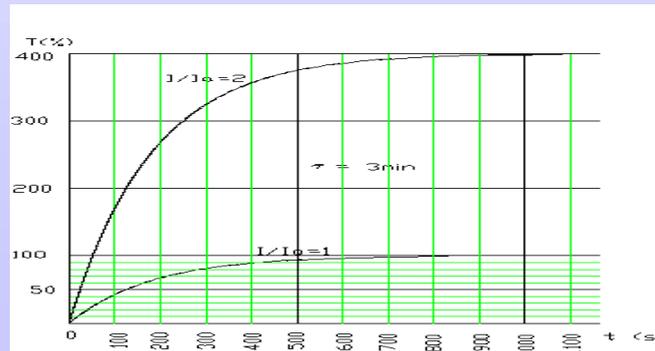
$$T = T_f \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$T_f = \left(\frac{I}{I_0} \right)^2$$

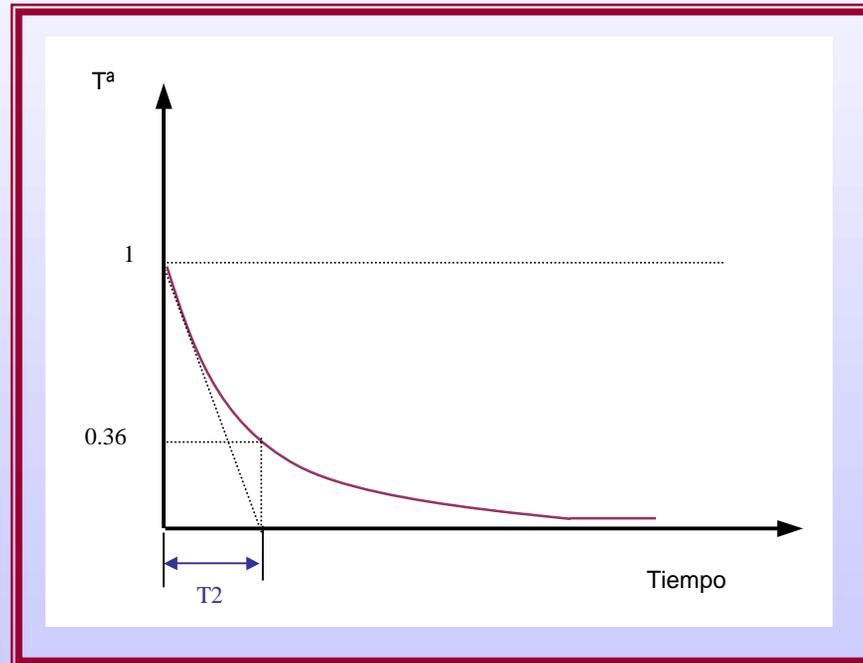
Queda como curva de calentamiento

$$T = \left(\frac{I}{I_0} \right)^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

- ▶ La siguiente figura da, como ejemplo, las curvas de calentamiento, con constante de tiempo 3 min., para $I/I_0 = 1$ y para $I/I_0 = 2$



- ▶ **T2** ⇒ **Constante de enfriamiento (complementaria de T1)** ⇒ se define como el tiempo necesario por el elemento para alcanzar el 36 % del calentamiento nominal desde su parada



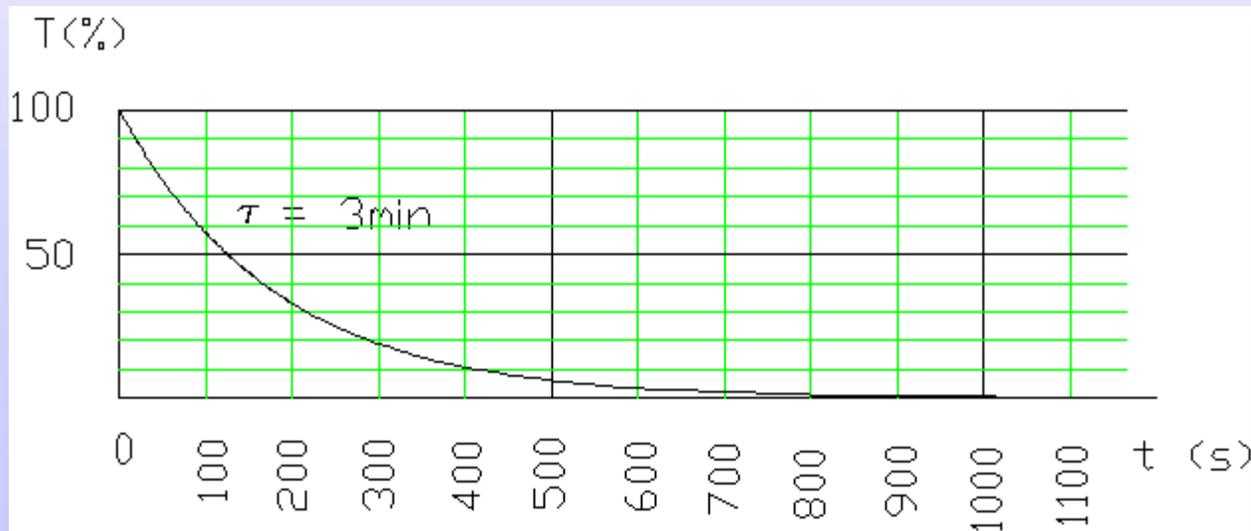
- ▶ La curva de enfriamiento responde a la fórmula

$$T = (T_f - T_i) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + T_i$$

- ▶ Partiendo de $T_i = 1$ (100 en %), temperatura a la que se produce el disparo, para llegar a una temperatura final de $T_f = 0$ (es decir con corriente $I = 0$), la fórmula queda reducida a

- ▶
$$T = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- ▶ Ejemplo: curva de enfriamiento con cte 3 minutos



▶ Ejemplos

↪ Como Inominal se ajusta la máxima carga admisible en permanencia

↪ Transformador

- ▶ Tanto el calentamiento como el enfriamiento son normalmente por convección $\Rightarrow T1 = T2 \Rightarrow$ Valores habituales \Rightarrow 15 a 20 min

↪ Motor

- ▶ Al pararse deja de haber ventilación \Rightarrow el motor se calienta mas lentamente $\Rightarrow T1 > T2 \Rightarrow$ Valores habituales \Rightarrow **T1** de 20 a 30 min y **T2** de 10 a 15 min

↪ Líneas aéreas

- ▶ Valores habituales \Rightarrow **T1** de 10 min

↪ Cables subterráneos

- ▶ Depende de la sección y la tensión
- ▶ **T1** Van desde 10 hasta 90 minutos



PROTECCIONES DE TENSIÓN

(59 ; 27 ; 59N Ó 64 ; 47)

- ▶ **Sobretensión (59)** \Rightarrow La protección actúa cuando la tensión en alguna de las fases supera un valor ajustado.
- ▶ **Subtensión (27)** \Rightarrow El elemento actúa cuando la tensión de alguna de las fases baja de un valor ajustado.
- ▶ **Características:**
 - ↪ Temporizada: La característica temporizada tiene las mismas curvas que la característica temporizada de la protección de sobreintensidad, con el cociente entre la tensión y la tensión de arranque.
 - ↪ Instantánea

Las sobretensiones en el sistema eléctrico pueden ser debido a una serie de causas:

- ▶ Maniobras en el sistema y contingencias atmosféricas generan \Rightarrow sobretensiones transitorias
- ▶ Defectos de regulación en las centrales o por maniobras anómalas de reposición de la red \Rightarrow generan sobretensiones permanentes.
- ▶ En condiciones de deslastre de cargas, \Rightarrow se generan sobretensiones, que si bien en una primera instancia la tensión puede ser restablecida por equipos de regulación de tensión \Rightarrow si la sobretensión persiste, se requiere la actuación de la protección.
- ▶ También aparecerán sobretensiones en líneas de muy largas de MAT con poca carga \Rightarrow en caso de fallo de las reactancias instaladas en ellas, las cuales se instalan para compensar las sobretensiones producidas por las capacitancias shunt de las líneas.

Sobretensión homopolar (59N ó 64)



- ▶ Es una protección de sobretensión para la tensión homopolar.
- ▶ Actúa cuando la tensión homopolar supera el valor ajustado
- ▶ Características:
 - Temporizada
 - Instantánea
- ▶ **Aplicación** ⇒ Protege ante faltas a tierra en la línea o frente a fallos de aislamiento a tierra de las maquinas

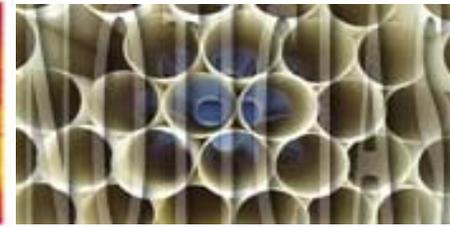
- ▶ Las **anomalías** en el sistema de potencia \Rightarrow **desequilibrio de tensiones** \Rightarrow **sobrecalentamientos**
- ▶ Anomalías causantes de desequilibrios de tensiones
 - ↪ distribución desequilibrada de cargas monofásicas en la red
 - ↪ transposición incorrecta de fases y apertura de alguna de las fases (límite máximo de desequilibrio).
 - ↪ Existencia de espiras cortocircuitadas en el estator de un motor
- ▶ **Aplicación típica** \Rightarrow Protección de motores
- ▶ Dos tipos de funcionamiento:
 - ↪ Funcionamiento temporizado
 - ↪ Funcionamiento instantáneo

► **Funcionamiento temporizado**

- ↪ Es preciso que el ajuste indique que hay señal de tensión en las 3 fases.
- ↪ La función calcula el desequilibrio de tensiones como cociente entre la componente de secuencia inversa y la de secuencia directa ($V2/V1$) \Rightarrow Si ese porcentaje supera un umbral programable durante un tiempo también programable se produce un disparo “temporizado”.

► **Funcionamiento instantáneo**

- ↪ Es preciso que haya medida de tensión en las 3 fases (ajuste) y que en las 3 sea superior al 50 % de la nominal.
- ↪ La función comprueba que el orden de sucesión de fases es el correcto: VA, VB a 240° CCW, VC a 120° CCW \Rightarrow Si no lo es se da un disparo instantáneo (se puede temporizar con un tiempo adicional)



PROTECCIONES DE FRECUENCIA (81M ; 81m : 81R)

- ▶ Cuando el Sistema de potencia está estable \Rightarrow la generación es igual a la suma de las cargas (consumo) mas las pérdidas de potencia \Rightarrow
- ▶ Un cambio en este equilibrio \Rightarrow cambios en la frecuencia
- ▶ Cualquier cambio en la velocidad de los generadores \Rightarrow cambio en la frecuencia.
- ▶ Cuando hay un **exceso de carga** sobre la generación disponible \Rightarrow Los generadores empiezan a decaer ante la falta de potencia \Rightarrow **caída de frecuencia** \Rightarrow esta caída es peligrosa por varias causa
 - ↪ Los márgenes de seguridad de lubricación y refrigeración del los generadores se reducen resultando peligrosas. Normalmente sólo operan satisfactoriamente por encima de 57Hz.
 - ↪ Las turbinas de vapor pueden sufrir resonancias a frecuencias bajas con la consiguiente fatiga del material.
 - ↪ Una caída brusca de carga también puede producir una aceleración del generador peligrosa para el mismo

- ▶ Exceso de carga \Rightarrow Puede dar lugar a que las interconexiones con otras partes del sistema se separen \Rightarrow quedando islas con la consiguiente pérdida de estabilidad.
- ▶ Causas de **sobrefrecuencia**
 - ↳ Desconexión de carga
 - ↳ Apertura de interruptores
- ▶ Funcionamiento en sobrefrecuencia \Rightarrow puede producir deterioros en los grupos generadores \Rightarrow La protección de sobrefrecuencia actúa devolviendo a la turbina a su velocidad de funcionamiento nominal

▶ **Funciones de frecuencia en los equipos de T&A**

- ▶ El equipo dispone de 5 escalones de frecuencia que se pueden programar independientemente como unidad de frecuencia máxima ó mínima
- ▶ **Sobrefrecuencia** ⇒ Produce un disparo si la frecuencia está por encima del valor ajustado durante un tiempo igual al programado. Una vez arrancada recae si durante dos ciclos la frecuencia es correcta
- ▶ **Subfrecuencia** ⇒ Produce un disparo si la frecuencia está por debajo del valor ajustado durante un tiempo igual al programado. Una vez arrancada recae si durante dos ciclos la frecuencia es correcta
 - ⇒ Permite un deslastre de cargas, que conducirá la frecuencia del sistema a sus valores normales de funcionamiento
- ▶ Para que actúen la tensión medida debe ser mayor al valor ajustado

- ▶ La función derivada de frecuencia actúa ante la variación de frecuencia por unidad de tiempo (df/dt)

$$\frac{df}{dt} = -\frac{\Delta P}{2H}$$

donde: ΔP = potencia decelerante in por unidad de los kVA conectados

H = Constante de inercia (MWseg/MVA) : para un generador, lo proporciona el fabricante o se calcula del siguiente modo:

$$H = \frac{0.231 \cdot WR^2 \cdot RPM^2 \cdot 10^{-6}}{kVA}$$

$$H_{sistema} = \frac{H_1 MVA_1 + H_2 MVA_2 + \dots + H_n MVA_n}{MVA_1 + MVA_2 + \dots + MVA_n}$$

A mayor valor de constante, menor es la disminución de la frecuencia para una sobrecarga dada

▶ **Funciones de frecuencia en los equipos de T&A**

- ▶ Consta de 4 escalones \Rightarrow En cada uno de ellos se produce activación de un relé si la variación de frecuencia por unidad de tiempo (df/dt), en sentido de disminución de frecuencia, es superior al valor ajustado
- ▶ La función solo es efectiva si:

La frecuencia es inferior a un umbral

La intensidad es superior a un umbral

La tensión en la fase B es superior a un umbral ajustado

▶ **Funcionamiento de los relés de frecuencia**

- \curvearrowright El relé convierte la señal de frecuencia sinusoidal por medio de un detector de cruce por cero que genera un pulso para cada transición de la onda. Este pulso define el período y se utiliza para inicializar un contador que mide ese período.
- \curvearrowright Además, se utilizan varios períodos para realizar la medida de la frecuencia incrementando la seguridad de la misma.

- ▶ Para detener la caída de frecuencia es necesario desconectar automáticamente un porcentaje de carga igual o superior a la sobrecarga ⇒ **deslaste de cargas**
 - ↪ El objetivo del deslaste es reinstaurar el equilibrio carga-generación
 - ↪ La carga a separar debe ser aquella que permita restablecer la frecuencia del sistema a frecuencia normal (sin tener que ser la nominal). Si se establece la frecuencia a un nivel superior a un valor crítico los órganos de regulación del generador serán capaces de absorber ese exceso de carga y volver al valor nominal.
- ▶ **Restablecimiento del sistema** ⇒ Después de un deslaste es necesario tener en cuenta varias cosas antes de restablecer la carga:
 - ↪ La frecuencia debe haber vuelto a la normalidad en las cercanías del valor nominal
 - ↪ La recuperación de cargas se debe hacer por bloques pequeños para evitar nuevas sobrecargas

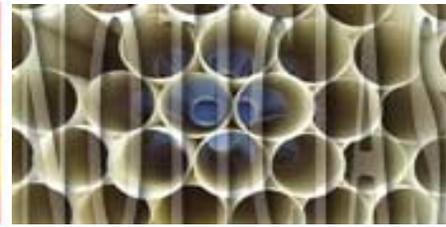


PROTECCIÓN DE FALLO DE INTERRUPTOR (50BF)

- ▶ **Función** ⇒ Detectar fallos en la actuación del interruptor y actuar de forma rápida ante este fallo ⇒ proporcionando de este modo protección y seguridad ante fallo de los interruptores.
- ▶ Cuando la función detecta fallo de interruptor ⇒ envía una señal al interruptor situado aguas arriba, siendo éste el que despeja la falta
- ▶ La actuación de esta protección causará una desconexión de un área mayor que la correspondiente a una actuación correcta del interruptor, por ello esta es una protección de alto nivel de seguridad

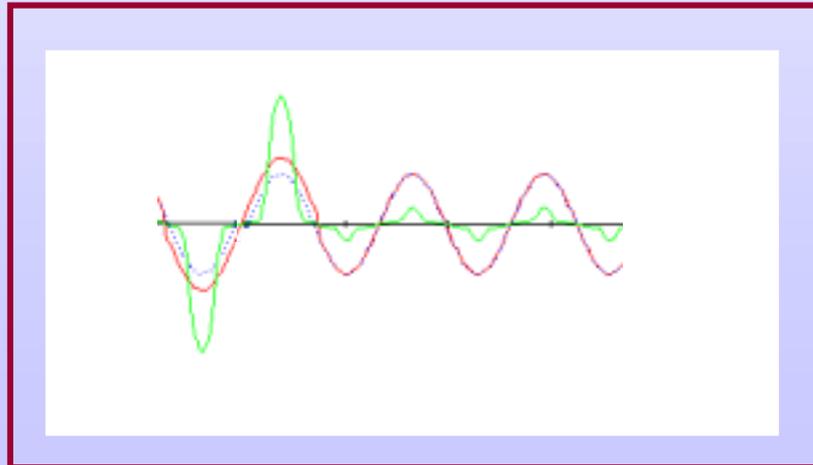
- ▶ **Funcionamiento** ⇒ Funciona de acuerdo con el conjunto de ajustes denominado genéricamente "Fallo de interruptor"
 - ↪ Si el equipo da una señal de disparo o se recibe a través de una entrada digital una señal de actuación de protección externa, se arranca un temporizador.
 - ↪ Si al cabo del tiempo programado la intensidad en alguna fase o la intensidad de neutro es superior a las programadas como intensidades de reposición ⇒ se activa un relé
 - ↪ El relé sólo se desactiva cuando las intensidades de fase y neutro están por debajo de sus valores de reposición.

- ▶ Se recomienda **ajustar** el “**tiempo fijo**” como:
 - ↳ Tiempo fijo = tiempo máximo de apertura del interruptor (generalmente es especificado por el usuario final) + tiempo de recaída de la unidad de sobreintensidad (como máximo 30 ms) + tiempo de seguridad (entorno a los 30 ms)
 - ↳ Se recomienda **ajustar** las **intensidades de reposición** a niveles inferiores a la intensidad de carga para garantizar que la intensidad medida indica apertura del interruptor.



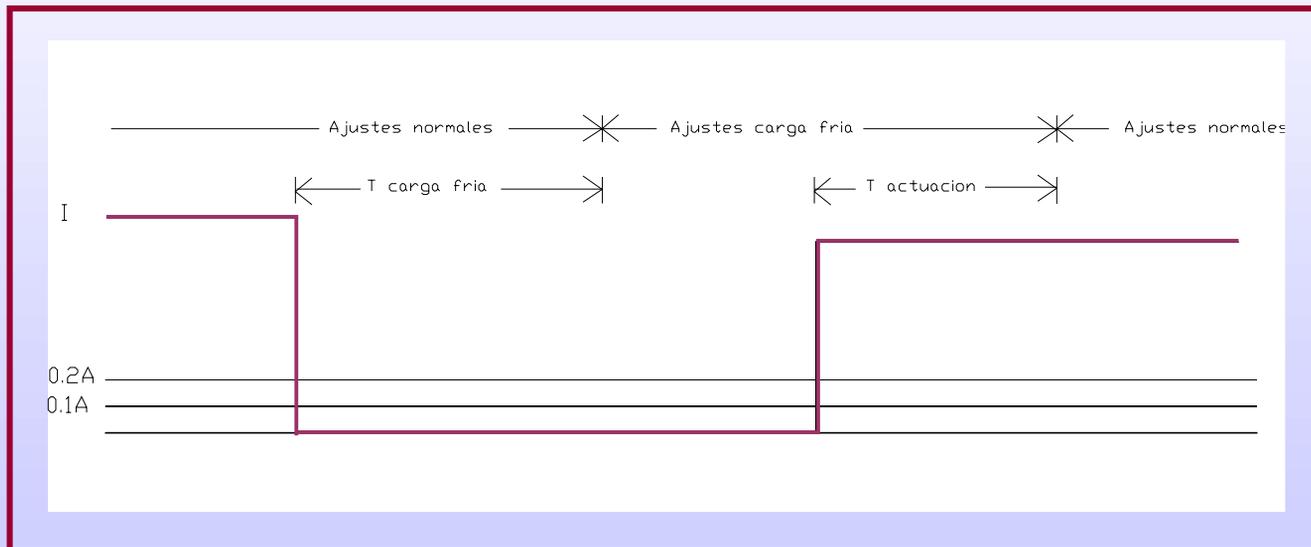
COLD LOAD PICKUP

- ▶ **Objetivo** \Rightarrow Evitar disparos intempestivos cuando tras estar una línea sin alimentación cierto tiempo, al volver ésta \Rightarrow la carga supera el valor ajustado para la protección sin que haya una falta \Rightarrow debido a que ha transcurrido el período en “off” de todas las cargas tipo hornos, calentadores, refrigeradores, etc. y se conectan todos a la vez, produciendo una corriente de inrush fuerte en la línea, pero que puede ser soportada por ésta durante un cierto tiempo.
- ▶ El efecto se puede producir no sólo en el momento de cierre manual del interruptor tras haber estado abierto un tiempo, sino también con interruptor cerrado permanentemente, por haber estado abierto alguna corriente arriba

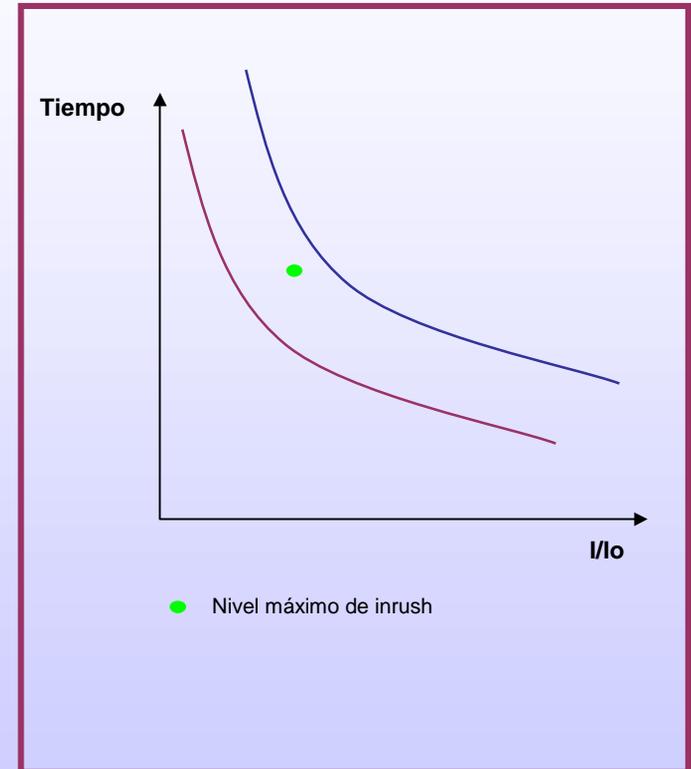
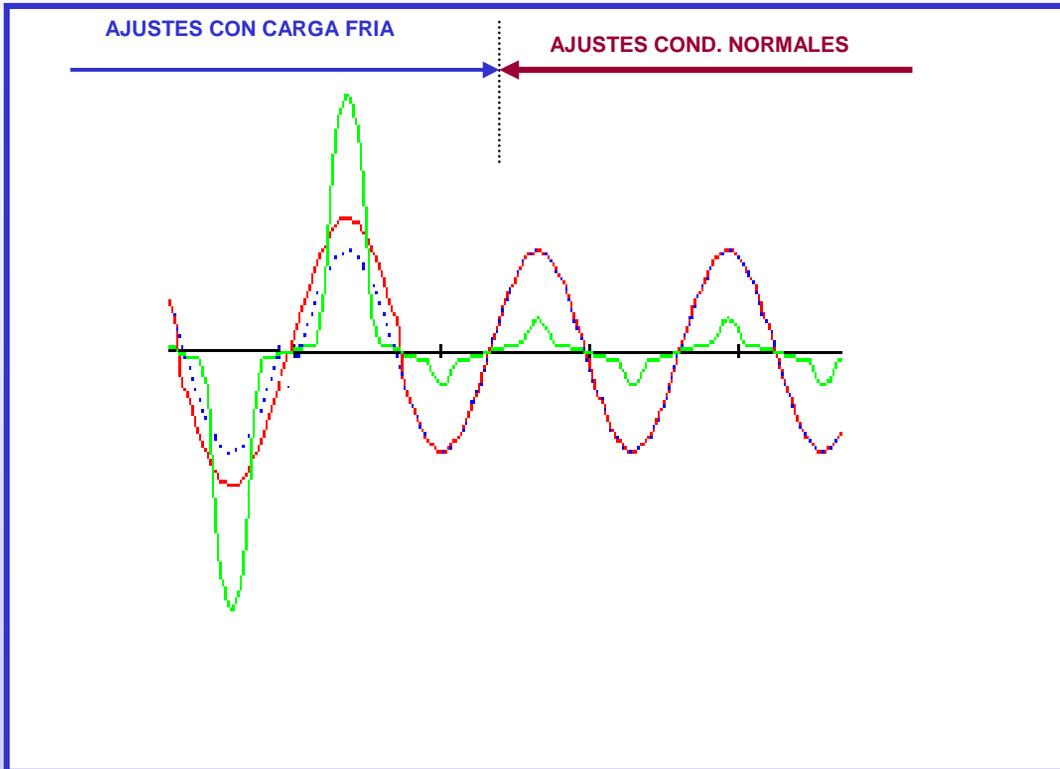


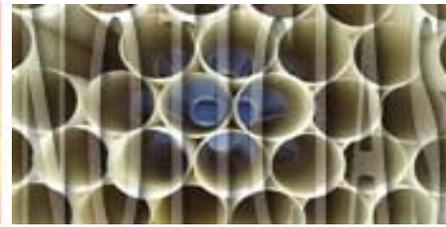
Cold Load Pickup II

- ▶ Lo que hace la función es detectar cuándo se dan esas condiciones, y cambiar los ajustes de disparo durante un tiempo programable.
- ▶ Ejemplo con apertura y cierre del interruptor



Cold Load Pickup III





OTRAS FUNCIONES

- ▶ Son otros dos juegos de ajustes de instantáneo, uno para Fases y otro para Neutro
- ▶ Proporciona una unidad adicional de sobreintensidad instantánea, ajustada a mayor nivel, cuya actuación no causa reenganche automático.
- ▶ Es programable el número de disparo (1 a 4) dentro de la secuencia de Ciclo en Curso a partir del cual la función está activa.
- ▶ Funciona como un límite superior para permitir que prospere la orden de reenganche

Bloqueo del regulador (50CSC)



- ▶ Esta función tiene como único objeto permitir el bloqueo del regulador de tensiones si se supera un valor de intensidad programado.
- ▶ Si la mayor de las intensidades de fase supera el umbral programado, se activa el relé programado como "Bloqueo regulador" y se da la señal correspondiente a control.

Fallo de fusible (68FF)

- ▶ Detecta si se ha fundido algún fusible en el circuito secundario de los transformadores de tensión \Rightarrow puede utilizarse como señal de bloqueo para otras funciones (por ejemplo: 51V, 27, 64...)
- ▶ Las condiciones para fallo de fusible son las siguientes:
 - ↪ Corriente de secuencia directa I_1 por encima de 0.1 A
 - ↪ El incremento o decremento de la secuencia directa I_1 y de la intensidad de neutro I_N con respecto a la intensidad medida 2 ciclos antes debe ser inferior a 0.1A.
 - ↪ La tensión de secuencia directa V_1 memorizada 2 ciclos antes debe ser superior a V_{FF} .
 - ↪ La tensión de secuencia directa V_1 debe ser menor que el 95% de V_{FF}

$$V_{FF} := V_N \cdot \frac{50}{63.5} \quad (\text{V})$$

- ▶ Para la activación de fallo de fusible se deben dar estas condiciones durante un tiempo programable. La función se mantiene activada hasta que la tensión V_1 sube por encima de V_{FF} .