

PROTECCIÓN DE SISTEMAS DE MEDIA TENSIÓN

RELÉS DE SOBRE CORRIENTE DIRECCIONALES



- INSTITUTO DE ENERGÍA
- FACULTAD DE INGENIERÍA
- UNIVERSIDAD DE MENDOZA

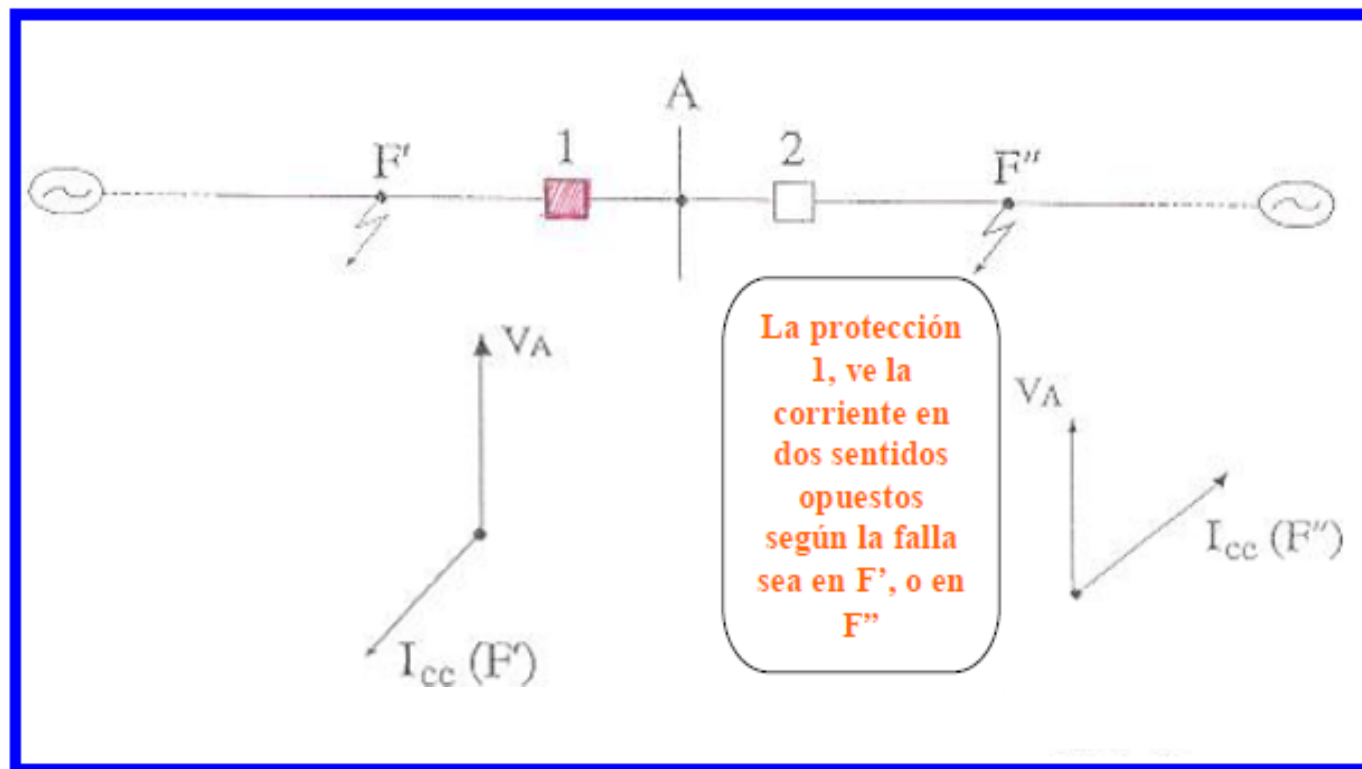
Prof. Ing. Roberto E. Campoy

PROTECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

PRINCIPIO DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE.

Se basa en la medición del valor de la corriente y la determinación de la dirección de la potencia de cortocircuito en el punto de ubicación de la protección.

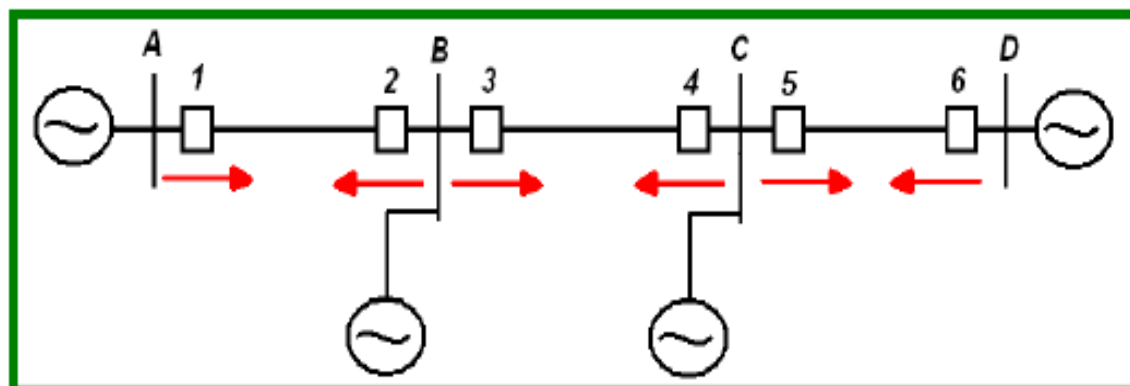
Es aplicable en redes en que puede circular corriente de cortocircuito en ambas direcciones por el punto de ubicación de la protección:



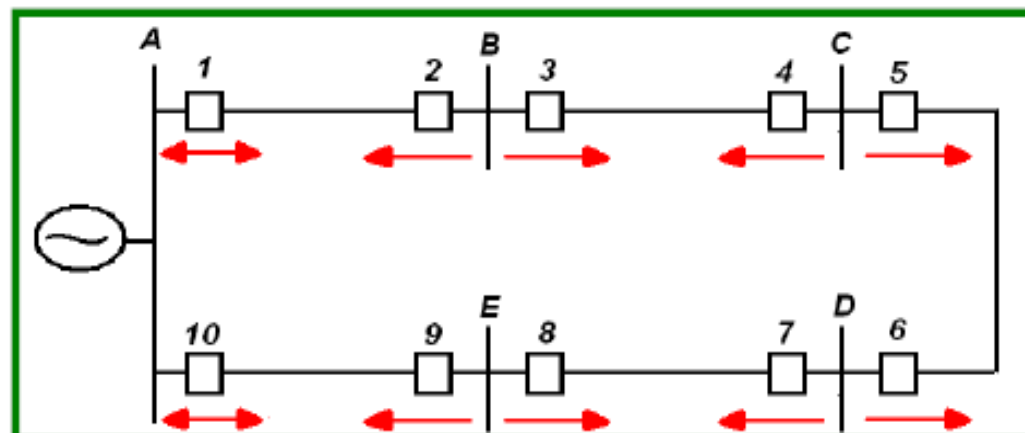
PRINCIPIO DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE.

Es aplicable en:

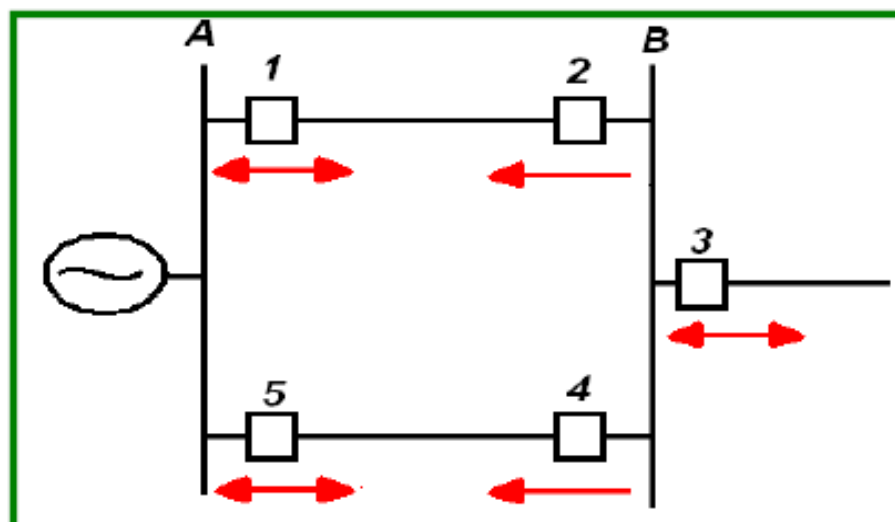
1.- Redes longitudinales con alimentación en varios puntos.



2.- Redes anilladas con alimentación en un solo punto.



3.- Líneas paralelas.



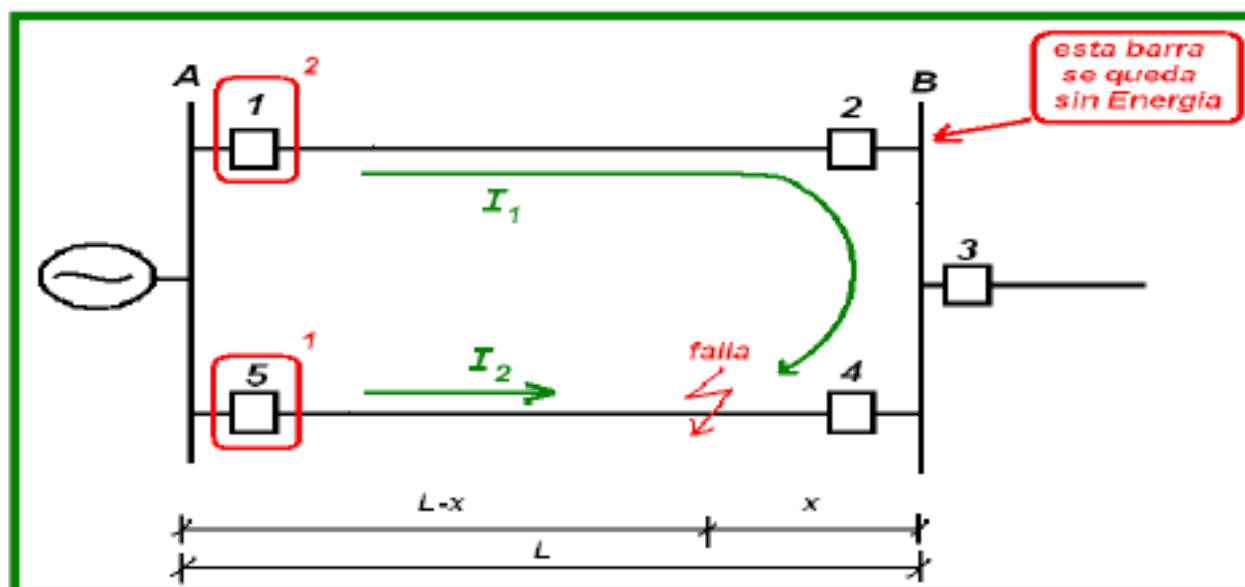
Ventajas:

- ♦ Es aplicable en redes longitudinales con alimentación en varios puntos, en redes anilladas y en líneas paralelas.
- ♦ La protección direccional contra fallas a tierra tiene alta sensibilidad.

Desventajas:

- * La protección de fase tiene limitaciones de sensibilidad (no es aplicable cuando las corrientes de carga y cortocircuito son comparables).
- * Requiere cambios frecuentes de parámetros de ajuste.

EL PORQUE DE LA PROTECCION DIRECCIONAL.

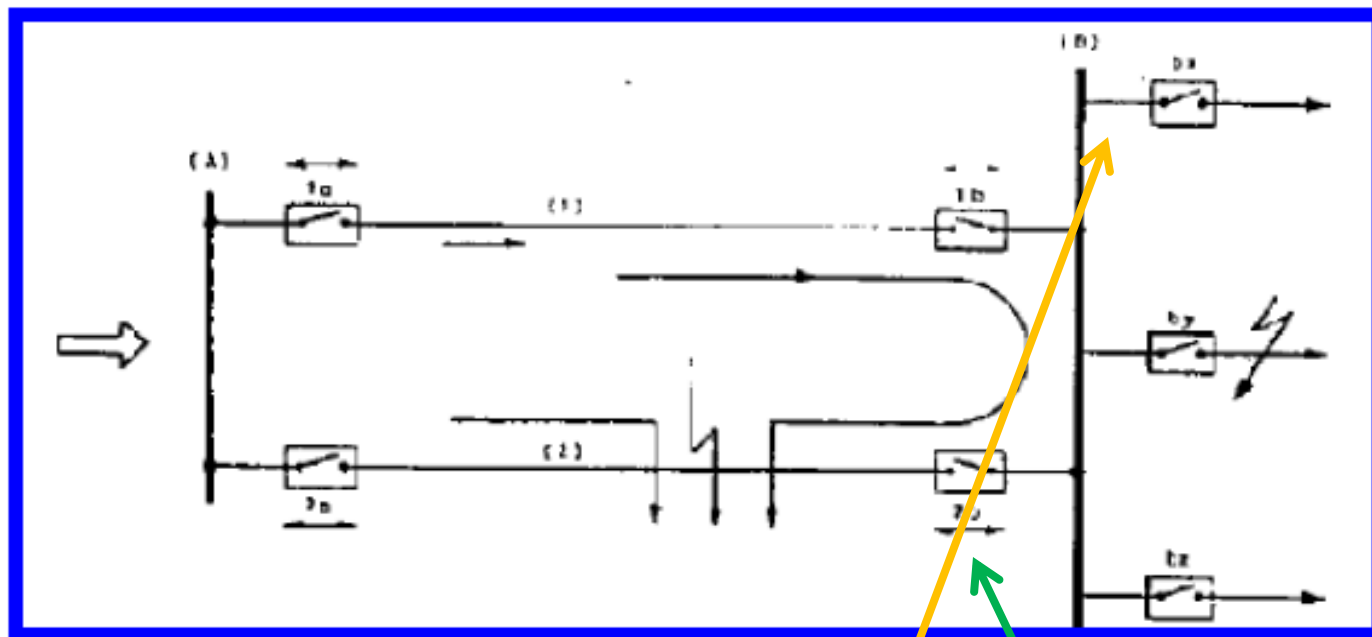


En la figura se observa la imposibilidad de selectivizar porque para una falla en **C** el aporte desde la **ET "A"** se bifurca según (si los CAS, son de igual sección):

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{l + x}{l - x} \quad (I_2 > I_1).$$

Donde x es la distancia a la falla

Además como $I_2 > I_1$ dispara **2a** y luego **1a** por lo tanto la **ET "B"** se queda sin alimentación.



En esta figura se observa también:

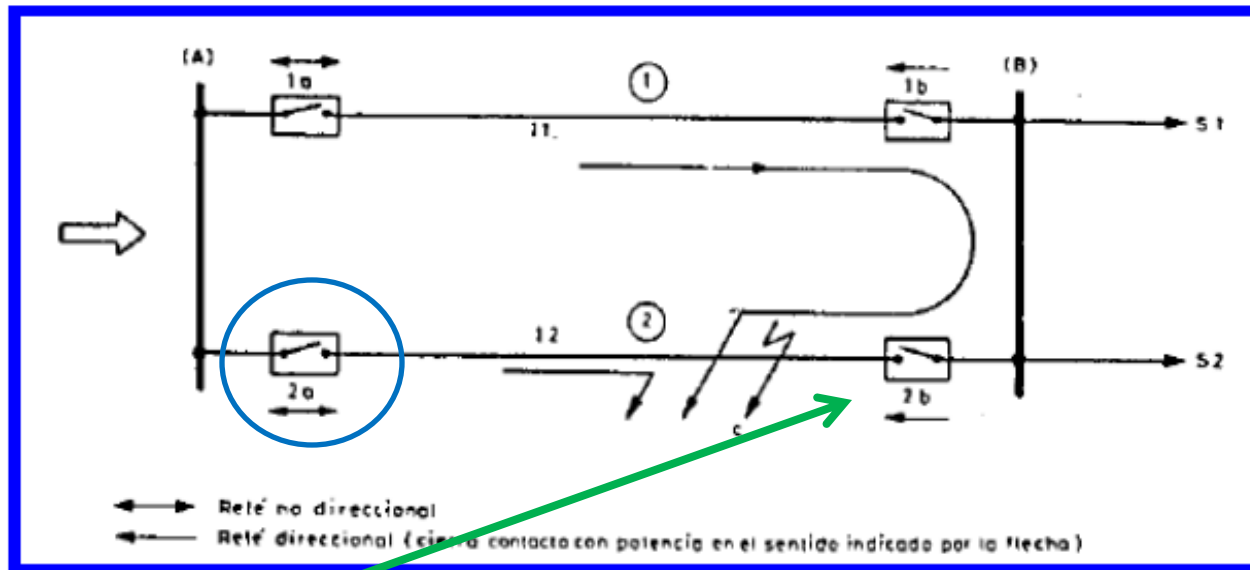
1°).- Relés no direccionales, donde las flechas indican esa condición de funcionamiento.

2°).- Para que exista selectividad con las salidas, los ajustes $1b$ y $2b$ deben ser mayores ($>$) a los ajustes de las protecciones b_y , b_x , b_z , para que una falla como la indicada no desconecte uno de los alimentadores o los dos.

3°).- Entonces para un cortocircuito en C , disparan $1b$ y $2b$ ya que las I_k son aproximadamente iguales.

Por lo tanto la solución es la:

PROTECCIÓN DIRECCIONAL.



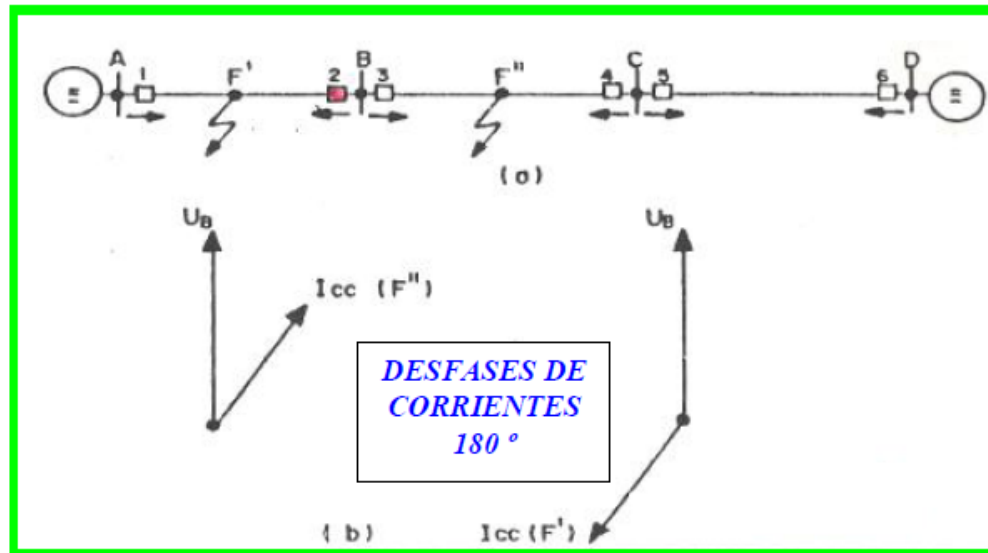
- 1°.- Hay que instalar entonces direccionales en **1b** y **2b**.
- 2°.- Solo el **2b** detecta circulación de potencia en el sentido ajustado y dispara su **IAP**.
- 3°.- El cortocircuito queda alimentado **SOLAMENTE** por **2a**.
- 4°.- Cuando dispara **2a** se aísla la falla.
- 5°.- La **ET "B"** queda alimentada por el circuito **1** quedando el **2** fuera de servicio.
- 6°.- En los nuevos relés si hay una falla en **S1** ó **S2** existe la posibilidad de calibrar:

a)- **I>** como bidireccional, también **lo>**.

b)- **I>>** como direccional, también **lo>>**.

Esto da la posibilidad de utilizar a **1b** ó **2b** como **principales** y a **1a** ó **2a** como **respaldo**.

CIRCULACION DE POTENCIAS



En la Figura, las protecciones **2-4** y **6** operan en una dirección y las **1-3** y **5** operan en otra dirección.

Sus parámetros de ajuste se seleccionan en forma independiente tal como una red radial.

La dirección de la Potencia es función del desfase entre tensión y corriente.

La tensión U_B que es función de la fem del G, menos la caída por Z hasta el punto de falla es, aproximadamente igual para un cortocircuito en F' ó en F'' , pero el desfase de las corrientes es de **180°**.

Entonces:

Falla en F'' disparan **3** y **4** selectivamente con **1** y **6**. No disparan **5** y **2**.

La Potencia aparente que fluye por la protección (*por ejemplo la 3*), es:

$$\bar{S} = \bar{V}_a \bar{I}_a^* + \bar{V}_b \bar{I}_b^* + \bar{V}_c \bar{I}_c^*$$

a b c cada una de las fases.

$$\bar{S} = 3(\bar{V}_{a1} \bar{I}_1^* + \bar{V}_{a2} \bar{I}_2^* + \bar{V}_{a0} \bar{I}_{a0}^*)$$

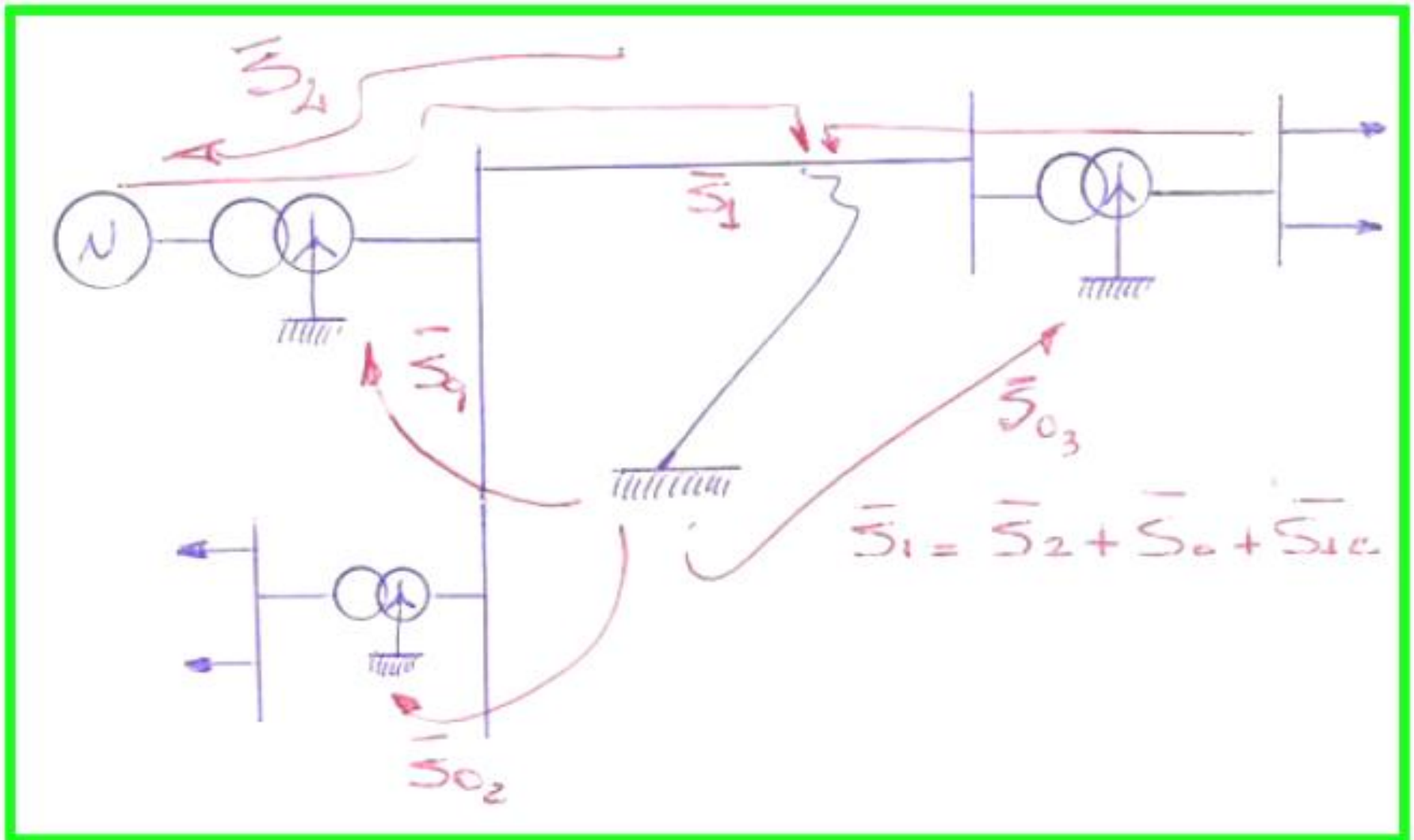
Componentes Simétricas.

El asterisco indica complejo conjugado.

DISTINTOS TIPOS DE CORTOCIRCUITO

1)- Trifásicos simétricos.

En este caso solo fluye por la protección 3, potencia de secuencia positiva $\bar{S}_{1cc}$. En el punto de falla por Kirchoff y falla equilibrada, $\bar{S}_{1cc} = 0$. **En este caso la potencia fluye desde la fuente al punto de falla por los conductores del sistema eléctrico.**



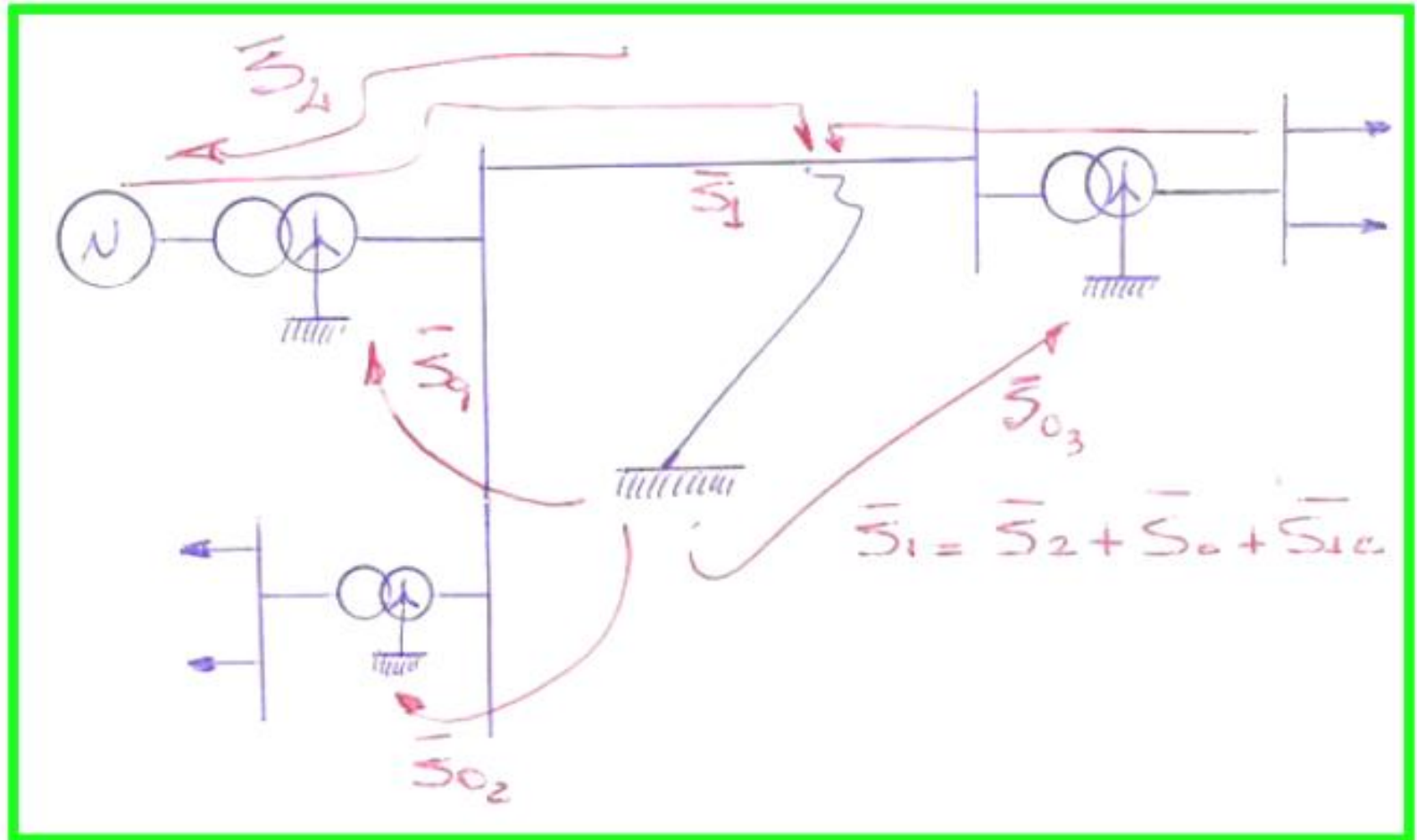
2)- Entre fases limpio, o sea sin contacto a tierra.

Aparecen potencias de secuencia positiva y negativa, **no homopolar**, y en el punto de falla sin contacto a tierra

$$\overline{S}_{1cc} = -\overline{S}_{2cc}.$$

$\overline{S}_{1cc}$ fluye de la barra o la generación al punto de falla como en el caso anterior.

$\overline{S}_{2cc}$ fluye del punto de falla hacia los neutros del sistema por los conductores del sistema.

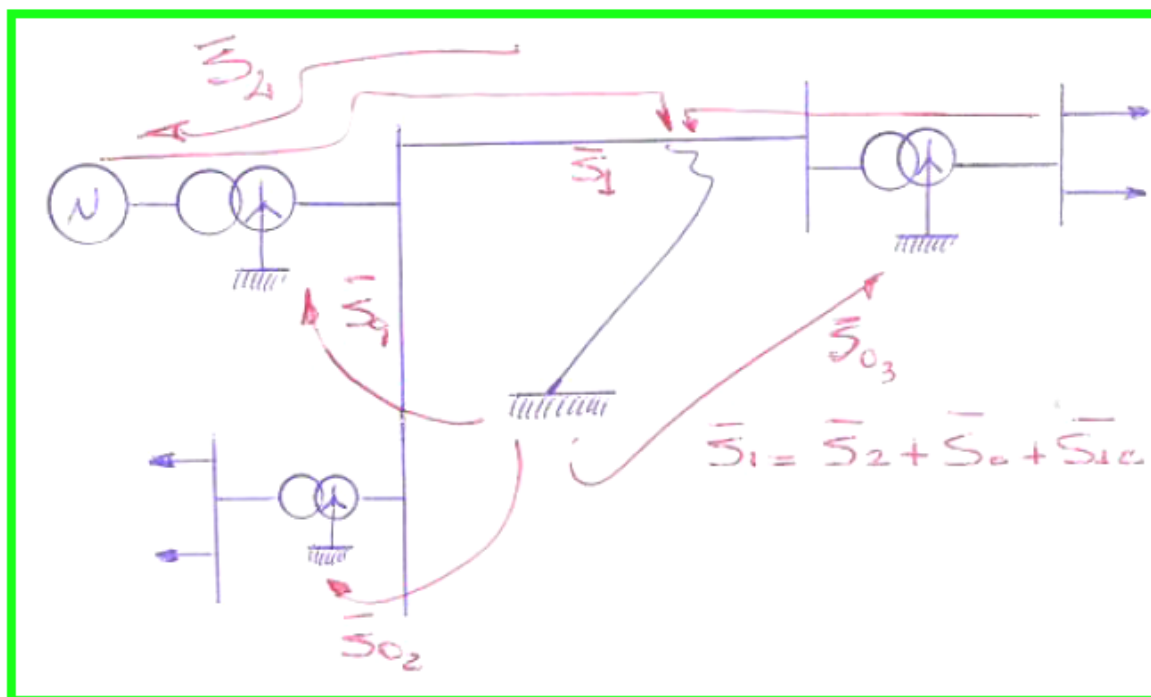


3)- Cortocircuito a tierra.

Aparecen componentes de las 3 secuencias.

En el punto de falla $\overline{S}_{2cc} + \overline{S}_{0cc} = -\overline{S}_{1cc}$.

$\overline{S}_{0cc}$ y $\overline{S}_{2cc}$ fluyen del punto de falla hacia las tierras eléctricamente vinculadas. La potencia de secuencia homopolar por tierra, y la potencia de secuencia negativa por las fases. Si la tierra eléctricamente vinculada es una sola, retorna por ella, pero si son varias, la corriente residual (que es tres veces la homopolar), o sea la de tierra, se distribuye proporcionalmente según sus propias resistencias. Eléctricamente vinculadas significa vinculación de las fases, de los cables de guardia o pantalla electrostática en cables subterráneos y lógicamente siguiendo la teoría de CARSON.

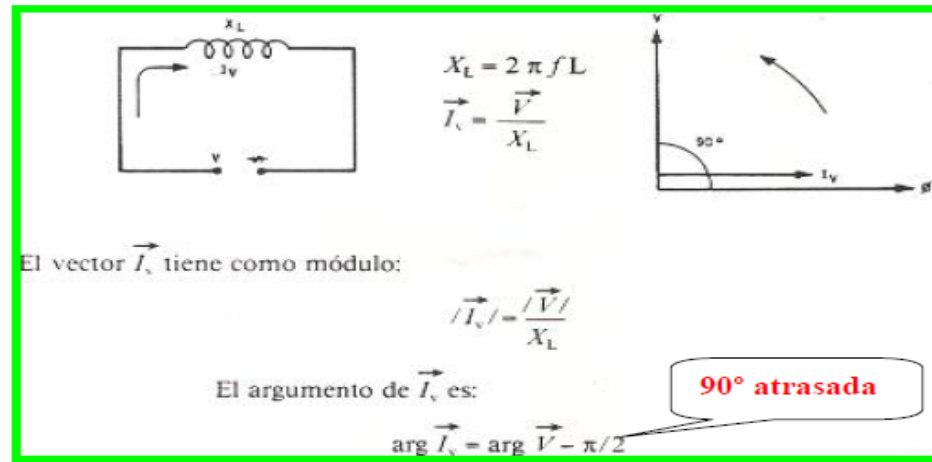


Por esto el relé para protección de cortocircuito trifásico y entre fases debe OPERAR cuando la potencia está dirigida hacia la línea protegida. Si el cortocircuito es a tierra debe operar cuando S_0 fluye de la línea al punto de ubicación del relé.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL RELÉ DIRECCIONAL

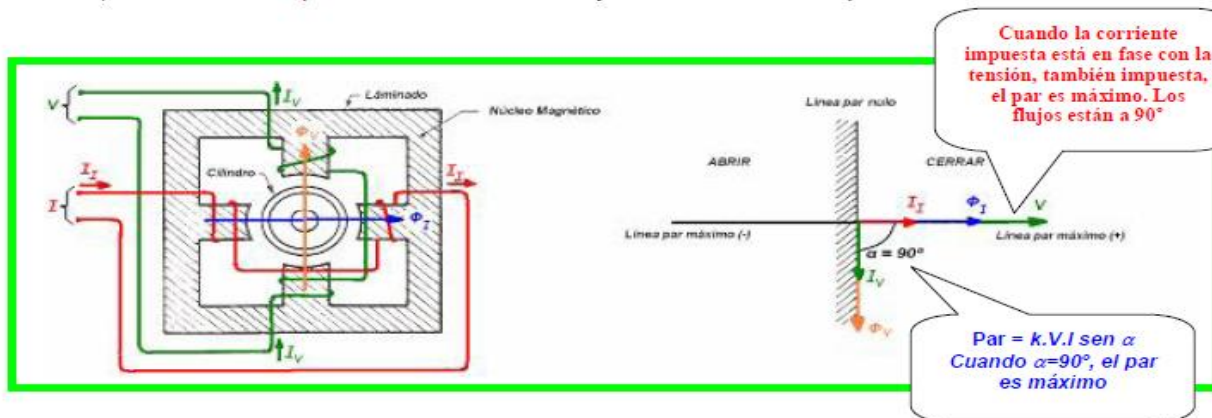
La primera explicación se dará sobre el relé electromecánico a fin de entender su correcto funcionamiento. Este tiene 2 elementos:

- a)- Un elemento **DIRECCIONAL** (controla la **dirección** de circulación de la potencia).
- b)- Un elemento de **SOBRECORRIENTE** (controla la **magnitud modular** de la corriente).



En la Figura:

- a)- aplico **V** por lo tanto **I_v** retrasa 90° respecto a ella.
- b)- el ϕ_v creado por **I_v** en fase con ella y 90° de retraso respecto a **V**.



DEFINICIONES RESPECTO A LO QUE HAY EN EL RELÉ

Ángulo del sistema: Es el ángulo impuesto por la tensión aplicada en el circuito voltimétrico V , y determinado por el sistema protegido y la corriente también del sistema protegido I . Es el ángulo (φ) .

Ángulo interno del relé: Es propio del relé y es conmutable (α) . Es el que se adapta para que en un circuito con un ángulo φ cualquiera, se consiga que $(-\alpha + \varphi) = 90^\circ$ y **por lo tanto tengamos par máximo.**

Ejemplos:

Si el sistema tiene un $\varphi = 45^\circ$ capacitivos ó

$\varphi = 20^\circ$ capacitivos.

El relé tendrá que tener la posibilidad de presentar un ángulo interno de:

$\alpha = 45^\circ$ inductivos ó

$\alpha = 70^\circ$ inductivos.

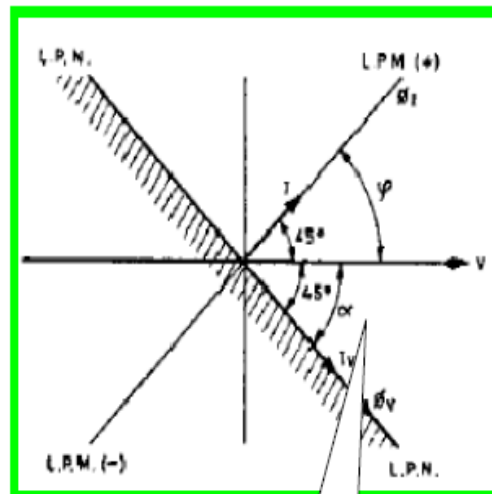
Para lograr el Par máximo ya que

$$(-\alpha + \varphi) = 90^\circ.$$

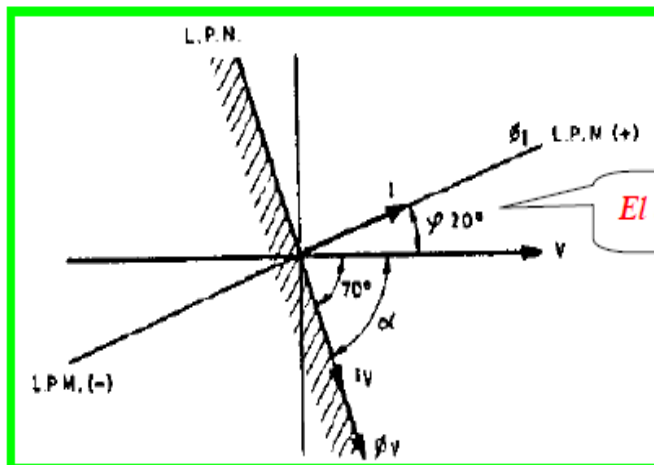
Otra explicación a este mismo fenómeno:

Como se dijo anteriormente el $\mathcal{Q}_I$ creado por la I está en fase con ella y para tener el Par máximo el $\mathcal{Q}_V$ creado por la V debe estar a 90° del anterior.

LPM (Línea de Par Máximo) está a 0° (en fase) con la I , esto hace que V y I estén en fase.



El del relé



El del sistema

Donde

I = corriente en el circuito amperimétrico.

$\mathcal{Q}_I$ = flujo debido a I .

V = tensión aplicada al circuito voltimétrico.

I_V = corriente en el circuito voltimétrico.

$\mathcal{Q}_V$ = flujo debido a V .

α = ángulo de desfase entre V e I_V (circuito voltimétrico), **del relé**.

φ = ángulo de desfase entre V e I (para tener par máximo positivo), **del sistema**.

Así, el par viene dado, en general, por la expresión:

Par = $k.V.I \sin(\varphi - \alpha)$, que cuando:

$\varphi = \alpha$; corresponde a un par nulo.

$\varphi = 180 + \alpha$; corresponde a un par nulo.

$\varphi = 90 + \alpha$; corresponde a un par máximo positivo.

$\varphi = 270 + \alpha$; corresponde a un par máximo negativo.

α , con su signo, que si es $(-)$ I_V retrasa con respecto a V (**inductivo**), y si es $(+)$ I_V adelanta con respecto a V (**capacitivo**).

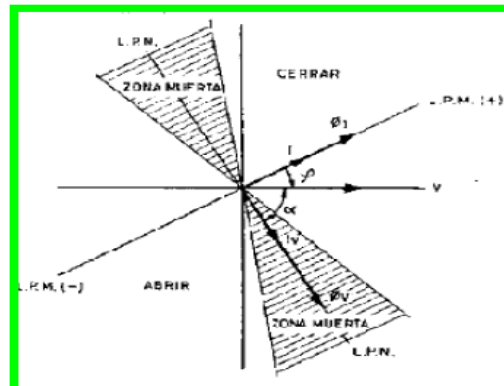
Para conseguir que la unidad de sobreintensidad a tiempo dependiente opere exclusivamente cuando la dirección de la corriente sea la correcta, basta hacer que **el contacto del elemento direccional** cortocircuite las bobinas de sombra en los polos del elemento sobreintensidad.

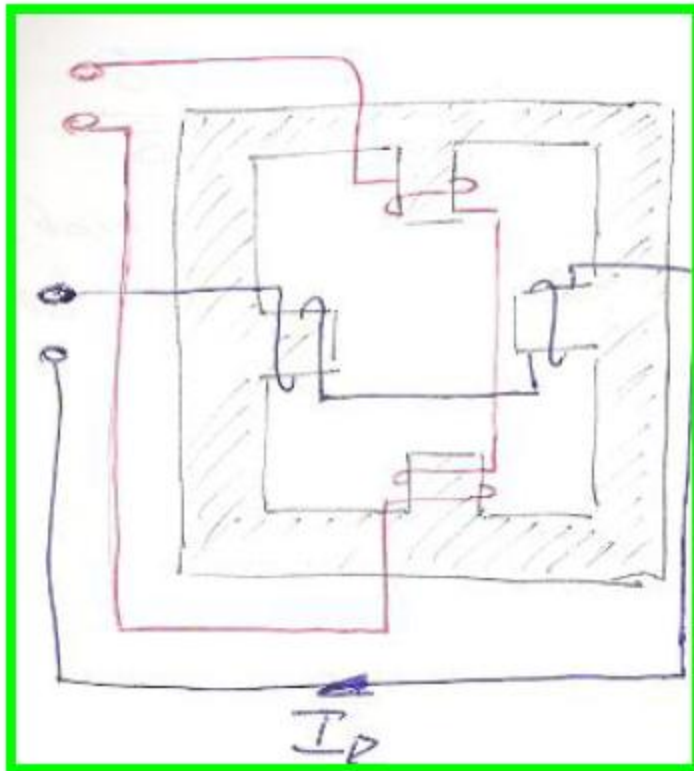
Una vez cerrado el contacto de la unidad direccional, la operación de la protección queda supeditada al valor de la corriente. En ese momento entra en funcionamiento el elemento de sobreintensidad, que puede ser a tiempo inverso o instantáneo, o bien el conjunto de ambas características.

Según sea la situación en el plano del vector I (suponiéndole siempre la misma magnitud) el valor del par creado en la copa de inducción varía según los valores la diferencia de ángulo.

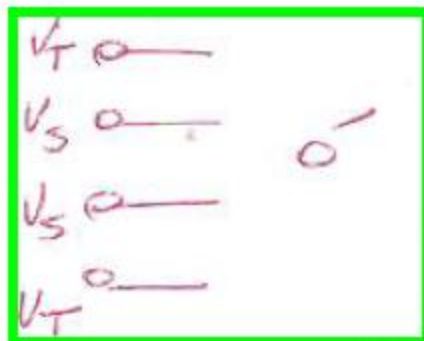
Ángulo $\hat{\phi}_V - \hat{\phi}_I$	Par
$\pm 90^\circ$.	P máx.
0° o 180° .	0.
30° o 150° .	$\frac{1}{2}$ P máx.
60° o 120° .	$\frac{\sqrt{3}}{2}$ P máx.

Además de lo expuesto hasta ahora, en la característica de actuación de un relé direccional siempre hay que tener en cuenta la llamada «zona muerta». En esta zona se supone que la actuación del elemento direccional será dudosa, ya que el par creado es débil.

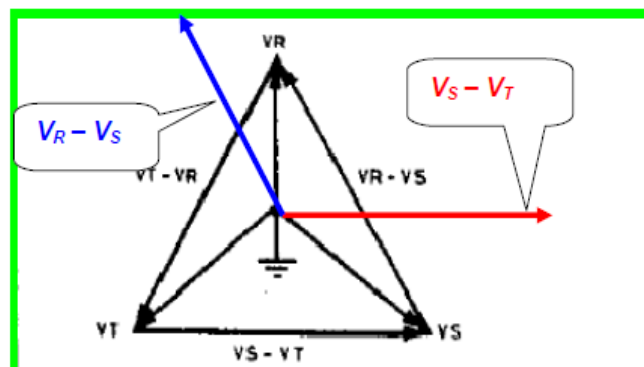




Tomando como referencia la corriente de la fase R , o sea I_R :
 Si pongo $V_T - V_S$ (relé polarizado 90° inductivos), no es lo mismo que $V_S - V_T$ (relé polarizado 90° capacitivo), ni tampoco que $V_R - V_S$ (relé polarizado 30° inductivos)



Por ejemplo, para la fase R , o sea la tensión V_R , como referencia:



90°	ind.	$V_T - V_S$
90°	cap.	$V_S - V_T$
150°	ind.	$V_T - V_R$
30°	cap.	$V_R - V_T$
30°	ind.	$V_R - V_S$
150°	cap.	$V_S - V_R$

Tensiones simples y compuestas en un sistema trifásico.

TENER EN CUENTA QUE LA SUMA DE ÁNGULOS INTERNOS ES 180°

El tipo de conexión se elige en función del tipo de red.

Ejemplo de red aérea.

1°)- La Z de una LA tiene un argumento de $30^\circ \div 80^\circ$ por lo tanto el promedio es $\varphi = 55^\circ$ inductivos.

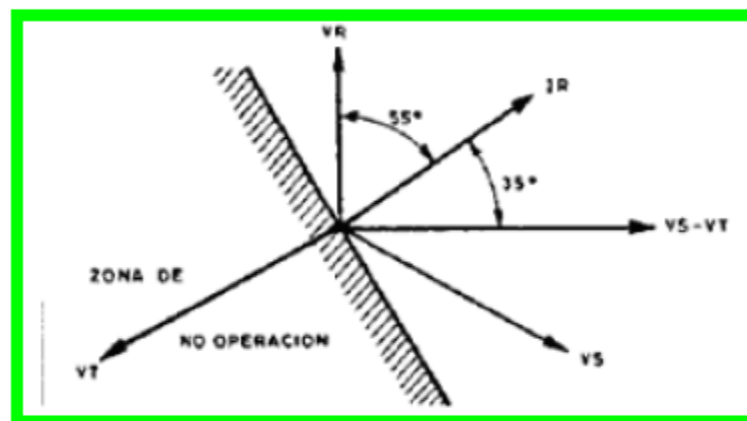
2°)- Para tener Par Máximo es necesario que $\varphi - \alpha = 90^\circ$.

3°)- Esto implica que el ángulo interno del relé (α) sea de
 $+\alpha = 90^\circ - 55^\circ = 35^\circ$.

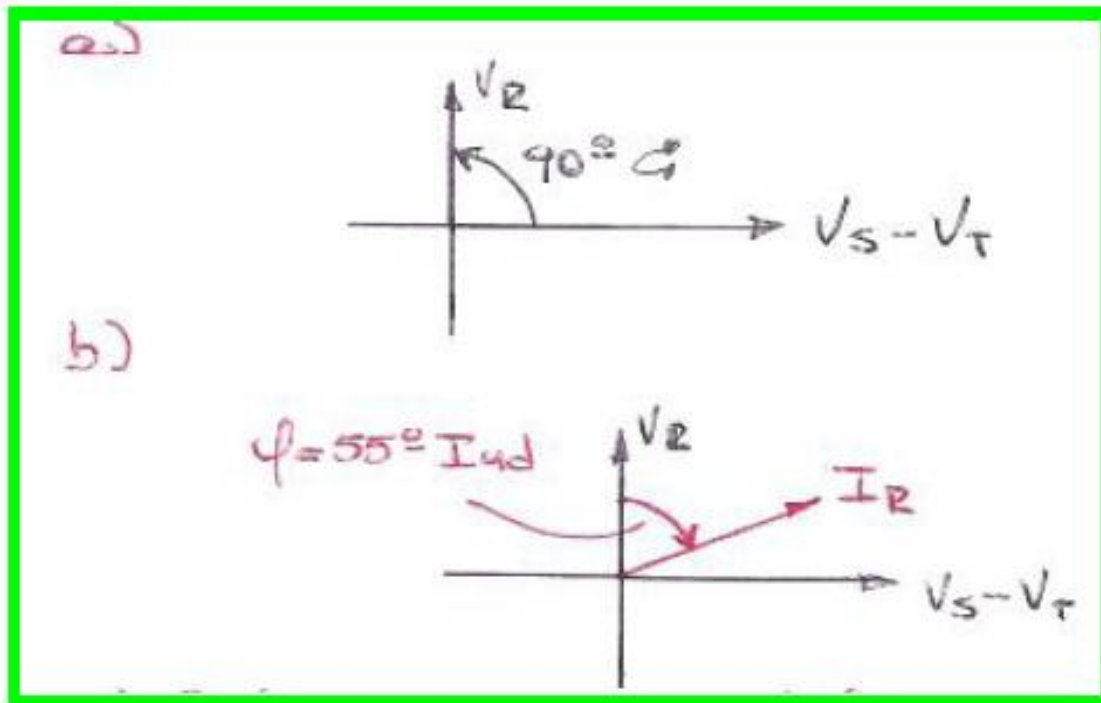
El signo + significa que son 35° capacitivos para que sumados a los 55° inductivos el ángulo entre I_R (Figura 1) y la LPM sea 0° .

4°)- También hay que tener en cuenta el modo de conexión de la muestra de la corriente que el relé toma de la línea a proteger. *O sea, hay que ver como se conecta el relé en cuanto tensión y corriente, en este caso 90° capacitivo.*

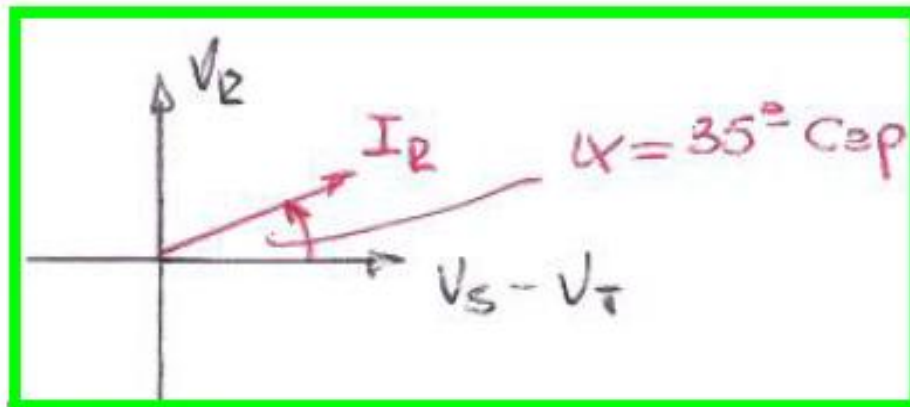
Figura 1.



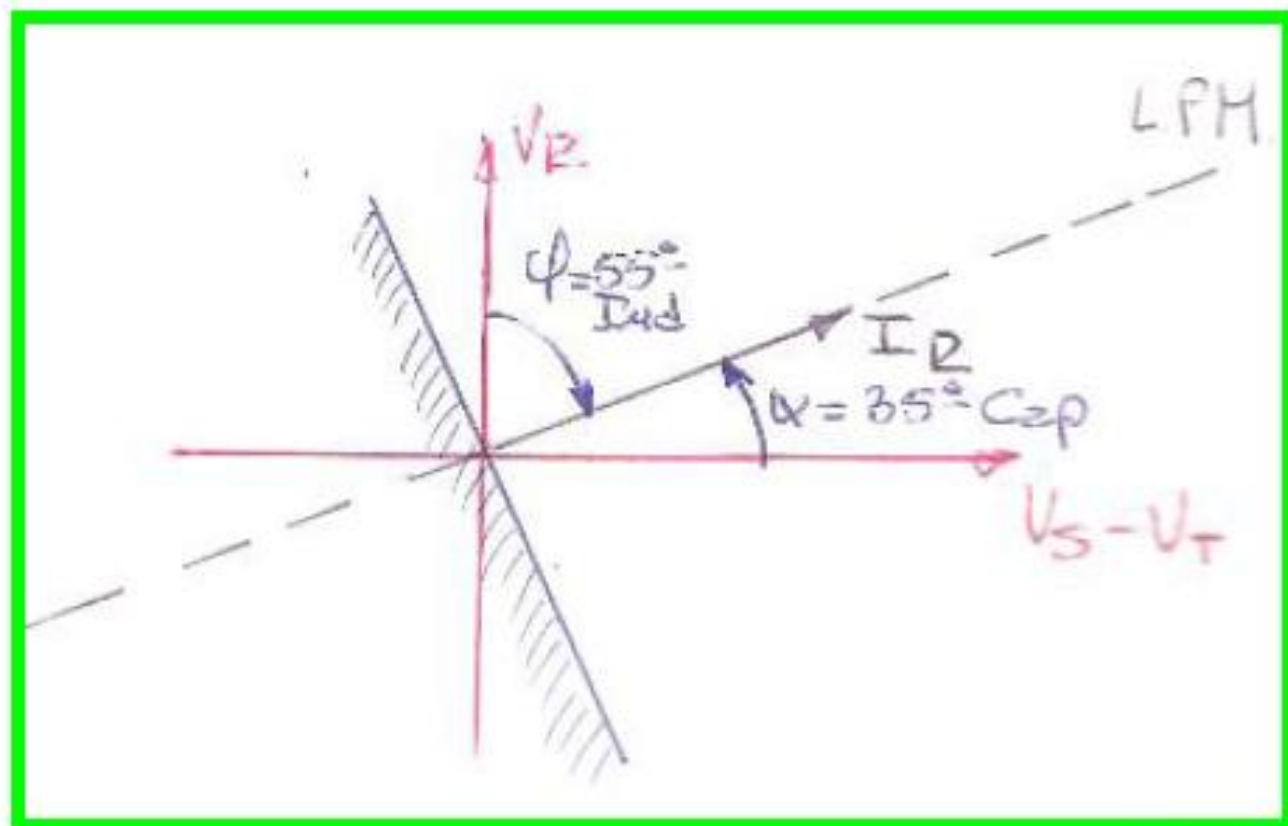
4°.1)- Fase de corriente en R (I_R) y el relé 90° cap. $V_S - V_T$. Observar que la tensión V_R , está 90° adelantada respecto a la tensión $V_S - V_T$.



c)- Entonces para que el Par sea máximo se debe encontrar para α el valor que haga que desde $V_S - V_T$ coincida con I_R . En definitiva que la línea de Par máximo esté a 0° de I_R .



d)- Por lo tanto queda como la Figura 1 de origen.

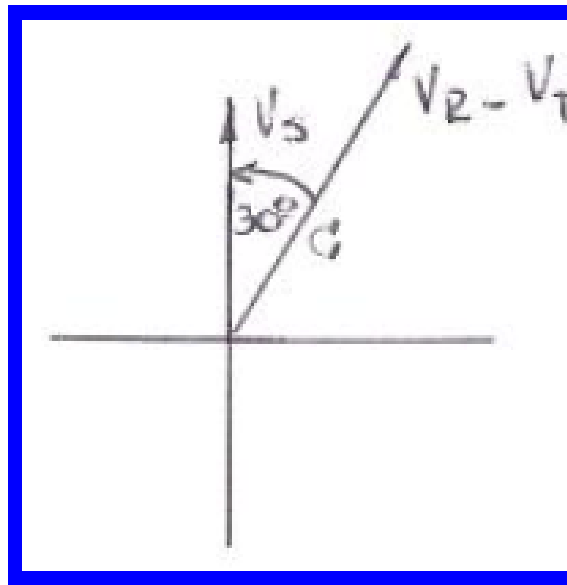


Ejemplo de red subterránea.

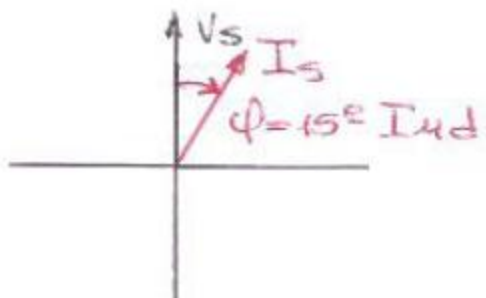
1°)- La impedancia de una red subterránea, como su resistencia predomina sobre la reactancia, tiene argumentos comprendidos $0^\circ \div 30^\circ$ inductivos. El promedio es $\varphi = 15^\circ$.

2°)- Para una conexión del relé 30° Capacitivos, $V_R - V_T$ para la fase de la corriente en I_S :

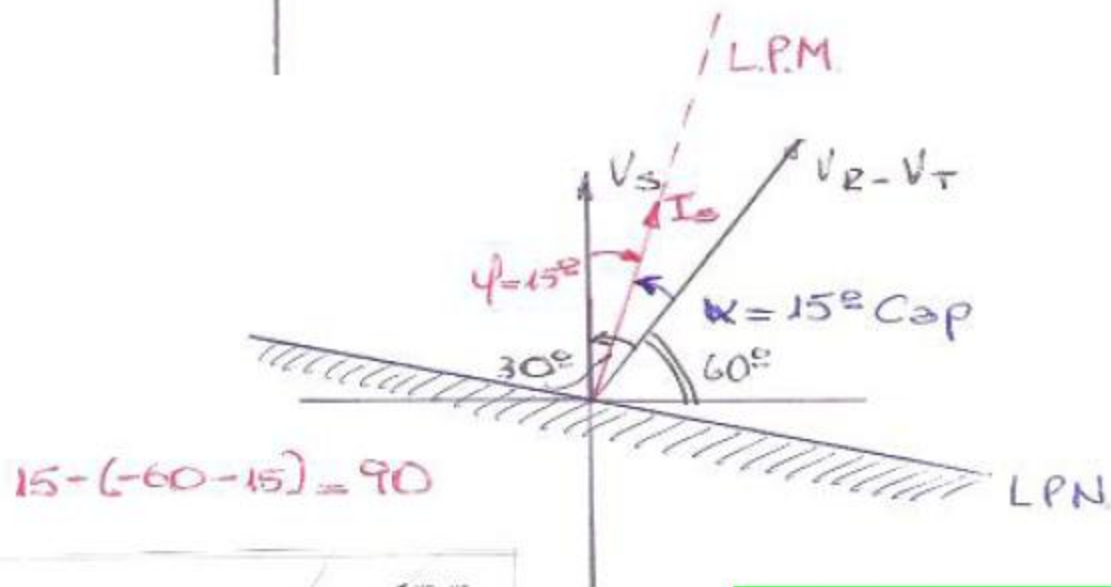
a)-



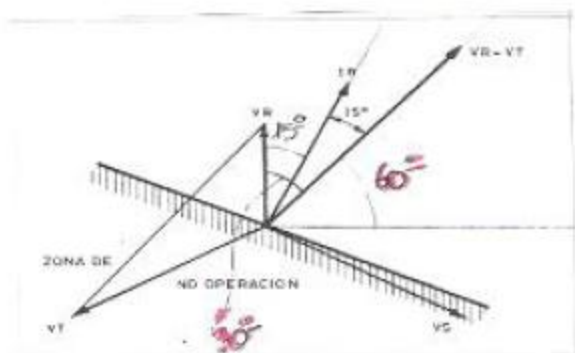
b)



c)

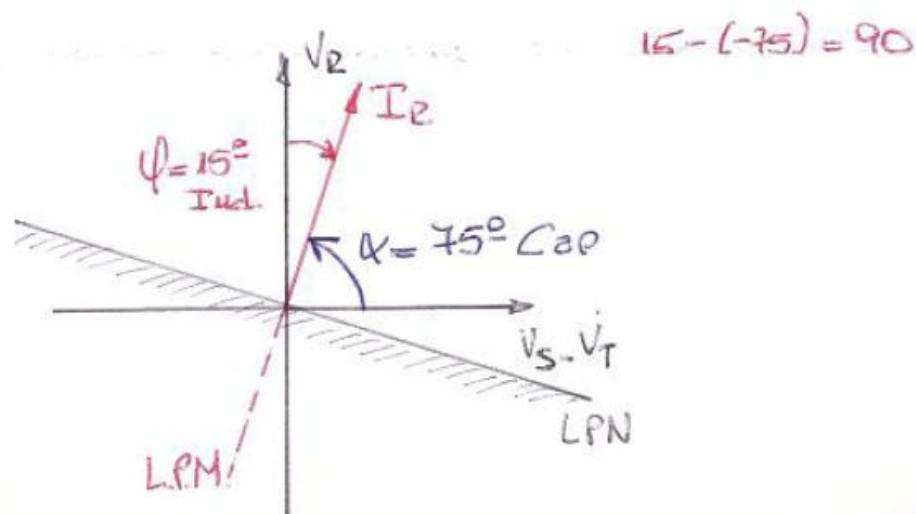


$$15 - (-60 - 15) = 90$$



3°)- Conexión para la fase R, 90° Capacitivos $V_s - V_T$

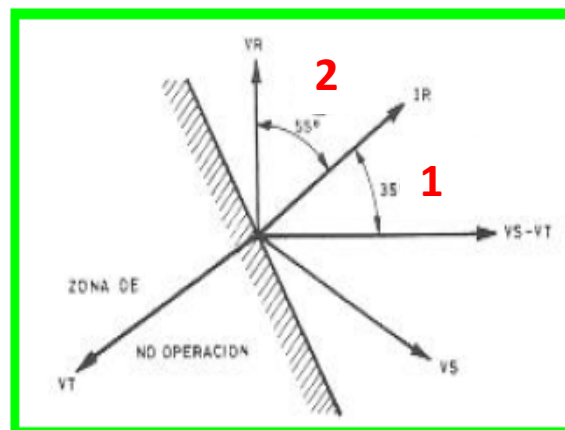
$$15^\circ - (-75) = 90.$$



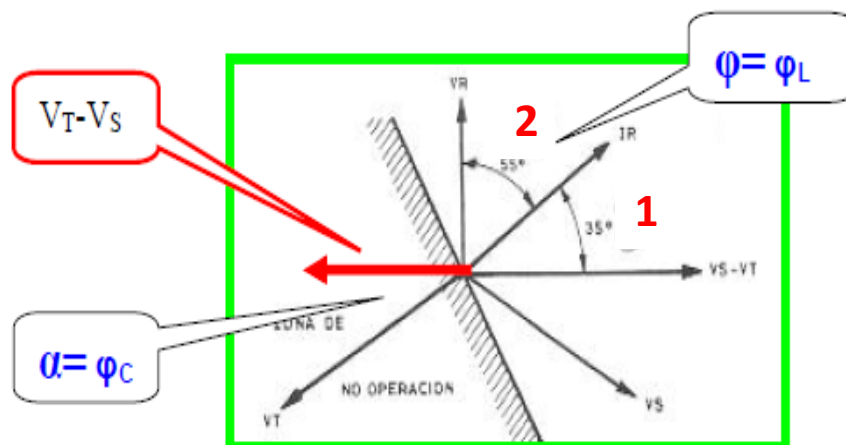
OBSERVACIONES PRÁCTICAS IMPORTANTES:

1) Polarización y par máximo

2) En la figura a continuación, si invierto la fase de polarización, o sea $V_S - V_T$ lo cambio a $V_T - V_S$, la corriente I_R es la misma, 55° inductiva, el ángulo ahora se cambia a la posición opuesta al vértice por lo tanto el relé no vería la falla. De aquí la importancia de polarizar adecuadamente.



Si se polariza mal, la zona de operación se invierte especularmente, o sea que la corriente de falla I_R , cae en la zona de No Operación y el relé no dispara.

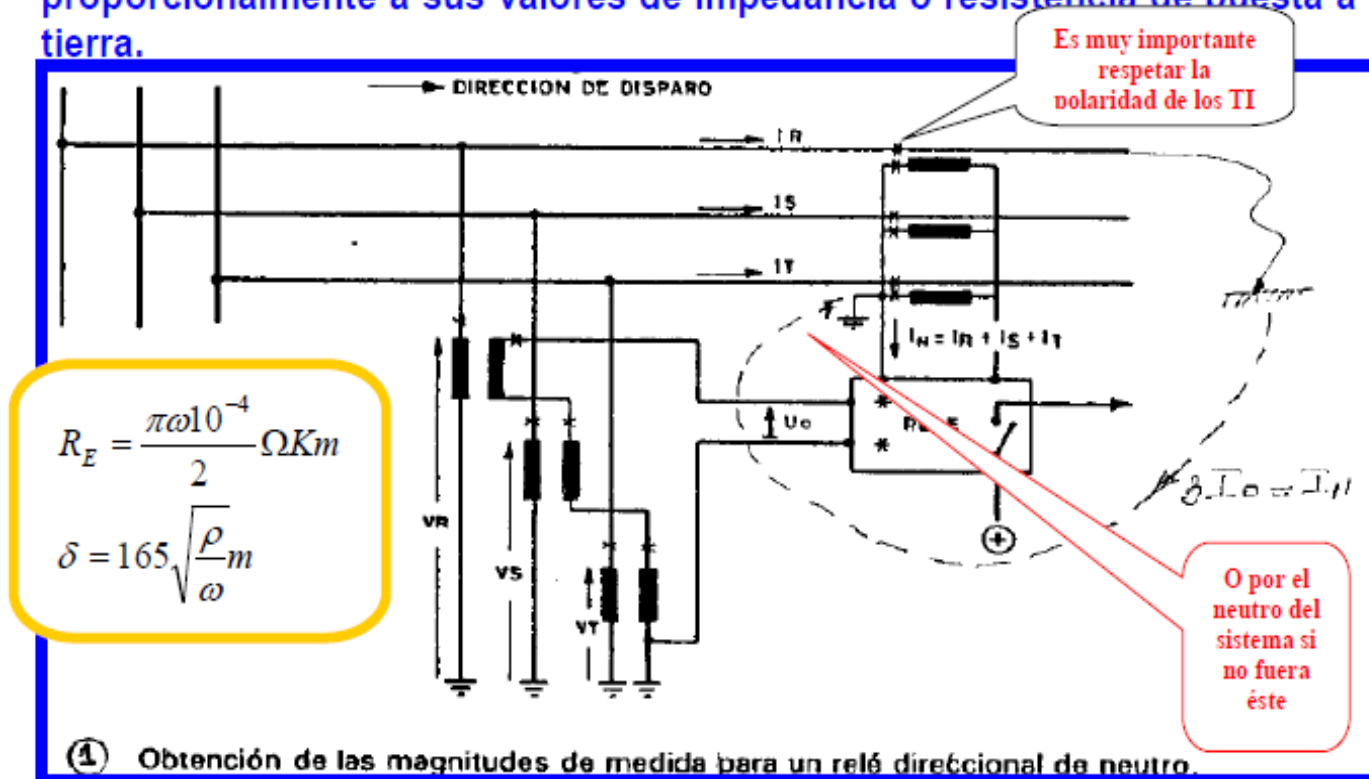


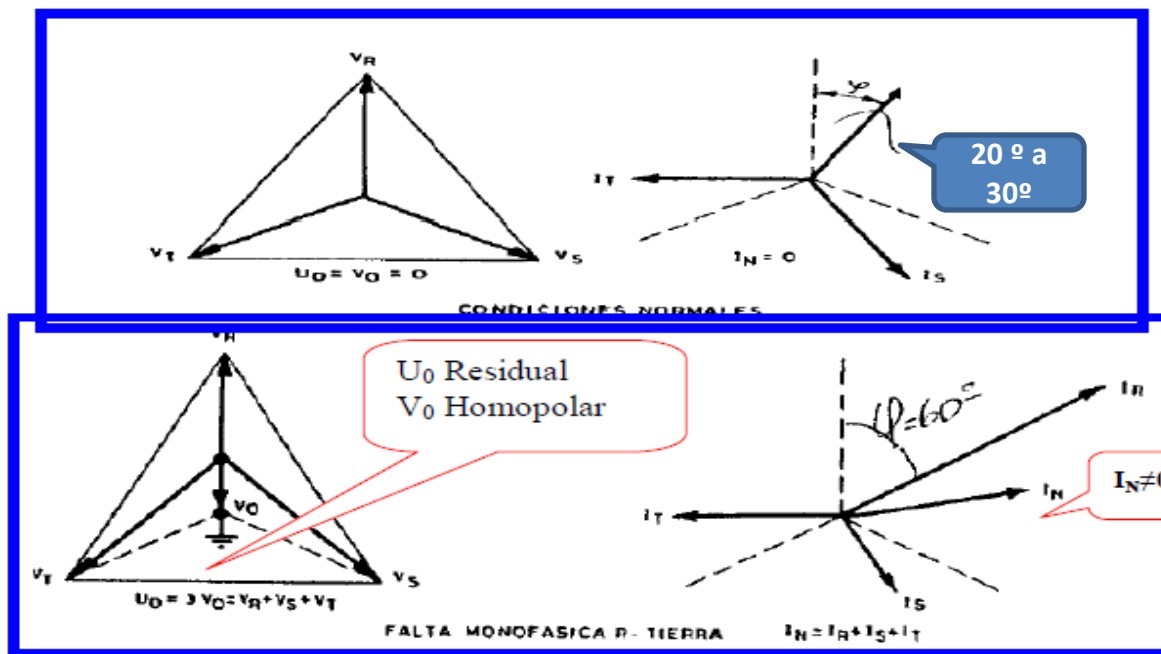
Para AREVA, el ángulo 1 es el que hay que setear (ϕ_C), el 2 el que ve el relé (ϕ_L), y en general las figuras indican que está polarizado 90° en cuadratura y capacitivo.

PROTECCION DIRECCIONAL DE NEUTRO

Los relés direccionales de neutro merecen un comentario adicional. **En el caso de cortocircuito a tierra, la tensión que se lleva al relé para propósito de polarización es la tensión residual del sistema (que es 3 veces la homopolar).** Esta tensión puede obtenerse por medio de la conexión en «triángulo abierto» de los secundarios de los transformadores de tensión como se observa en la figura. La conexión en triángulo abierto es ideal para el relé direccional, pues el ángulo de fase de la tensión no cambia con la ubicación de la falla, pero el ángulo de la corriente residual (3 veces la homopolar) cambia 180° con la dirección del flujo de potencia.

La corriente residual circula, desde el punto de falla a tierra, hacia los neutros de sistema, cerrándose por ellos tomando valores de corriente proporcionalmente a sus valores de impedancia o resistencia de puesta a tierra.





La figura muestra detalladamente las magnitudes involucradas en el caso de una falta monofásica a tierra en la fase R . Se supone que las condiciones normales de servicio introducen un factor de potencia inductivo, de forma que la corriente I_R retrase a la tensión V_R en un ángulo de $20^\circ \div 30^\circ$ ($\cos \varphi$ de 0,85 a 0,95). Al producirse el defecto a tierra, la tensión fase R - tierra en el punto de medida, disminuye a consecuencia del mayor nivel de corriente I_R . La corriente I_R , cortocircuitada la carga por la falta a tierra, asume un nuevo ángulo respecto a V_R (se ha considerado que el ángulo característico del circuito es altamente inductivo, del orden del 60° , lo que es típico para una línea aérea). La aparición del cortocircuito desequilibra los sistemas vectoriales de tensiones e intensidades, apareciendo los vectores resultantes U_0 , I_N , que vienen relacionados por:

$$U_0 = -I_N Z_0. \text{ Tensión residual}$$

$$I_N = 3 I_0. \text{ Corriente residual}$$

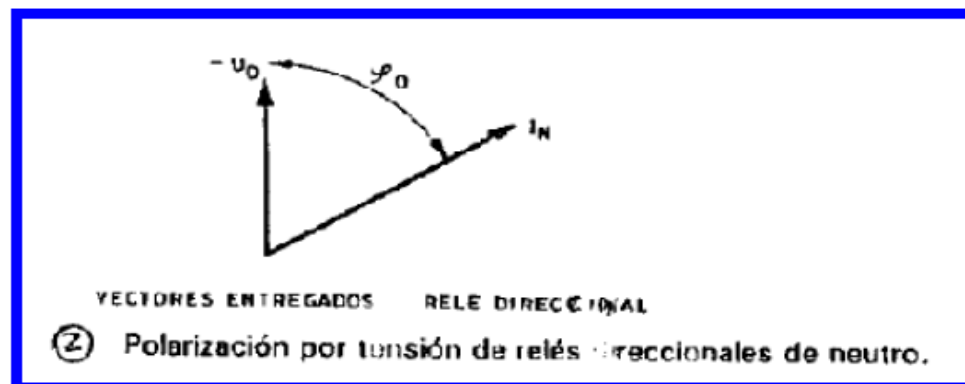
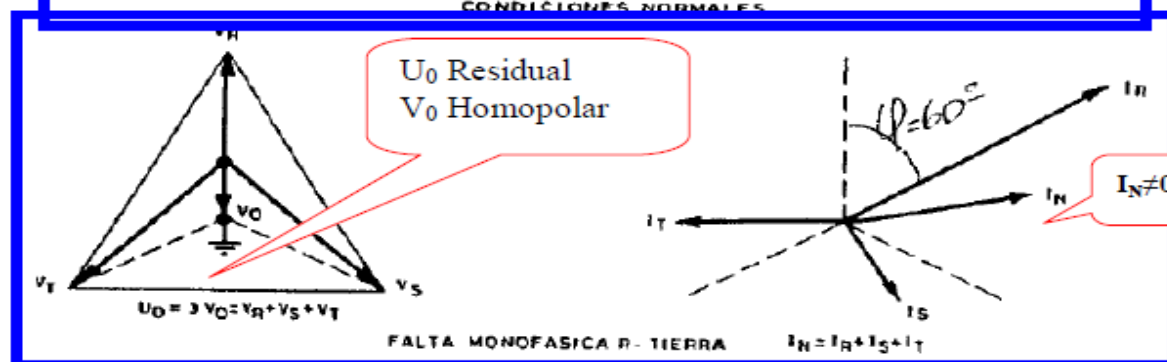
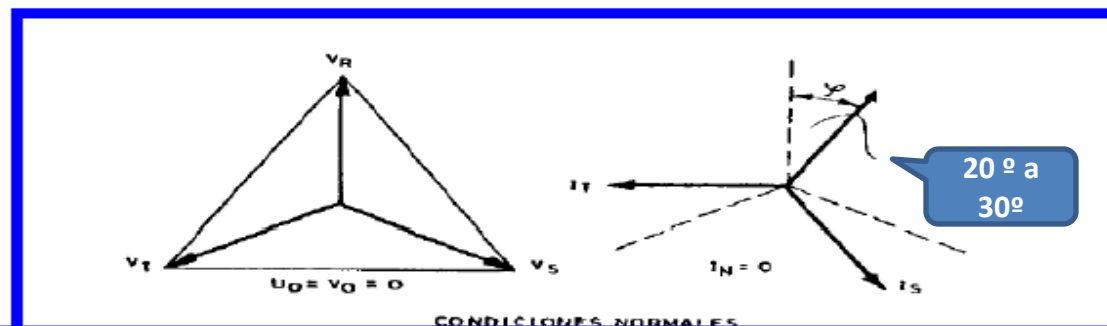
$$V_0 = -I_0 Z_0. \text{ Tensión homopolar}$$

$$U_0 = 3 V_0. \text{ Tensión residual}$$

Porque la homopolar es tres veces menor y el relé la detecta si está bien seteado o sea a la I_0 y no a la I_R

La corriente residual está en fase con la homopolar, pero la homopolar, que es un tercio de la residual, hace que actúe el relé con su detección (o sea con la detección de la homopolar) y por lo tanto este tipo de relés es muy sensibles a la falla a tierra.

OBSERVACIONES RESPECTO A LOS RELÉS DIRECCIONALES DE TIERRA



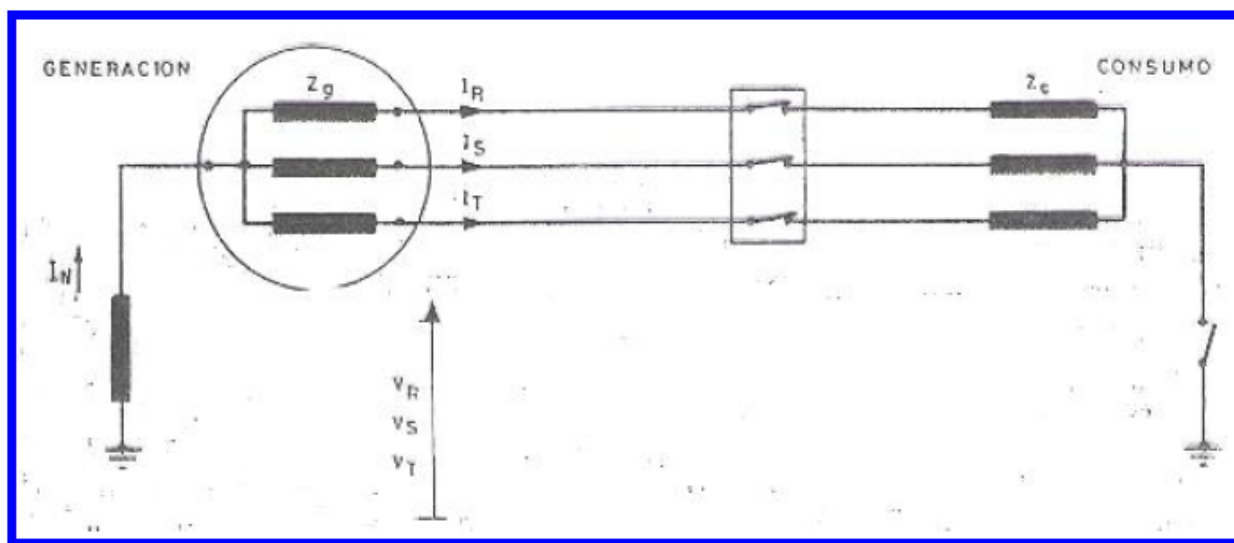
A diferencia de los relés de fase, el ángulo entre la tensión y la intensidad de neutro no es función del argumento de la impedancia del equipo protegido, sino del ángulo de la impedancia homopolar de la red hasta el punto de instalación. Así, si la red está puesta tierra rigidamente o por medio de una reactancia limitadora, el ángulo será predominantemente inductivo.

Como interpretar el problema de las corrientes a tierra en una red eléctrica

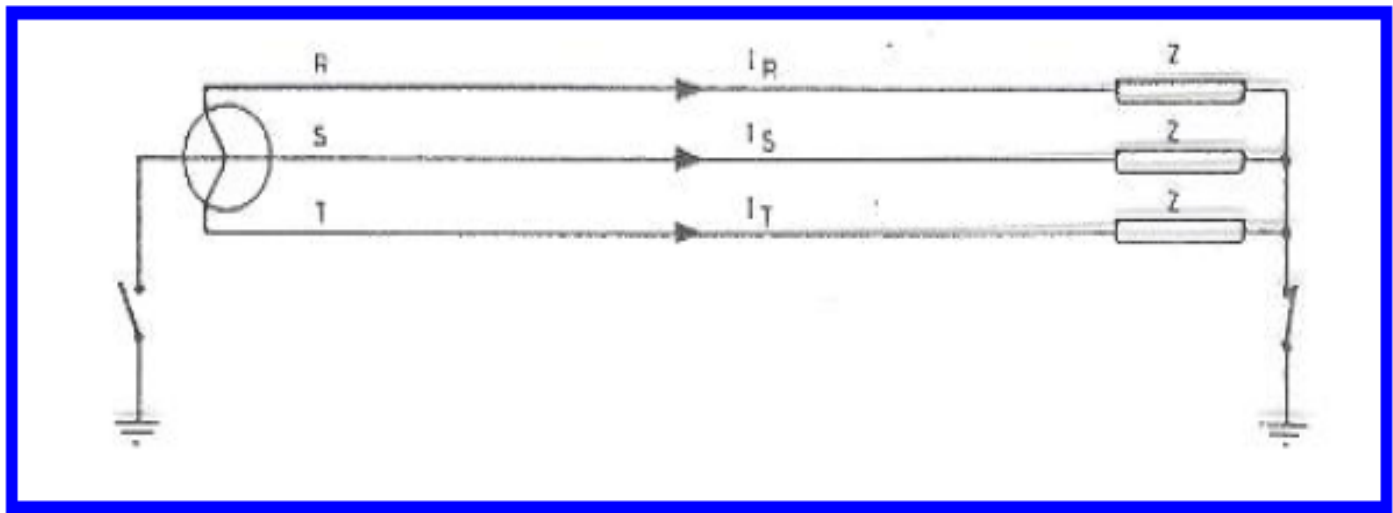
Siendo la red trifásica, la misma puede representarse por un generador con una impedancia por fase Z_g , alimentando un consumo de impedancia por fase igual a Z_c , a partir de tres tensiones V_R, V_S, V_T , y ocasionando una circulación de corriente I_R, I_S, I_T , en dirección a la carga.

Por lo tanto las tensiones y las corrientes medibles en cualquier punto de la red formarán sistemas vectoriales trifásicos, a los que se puede aplicar el método de resolución de circuitos desequilibrados de las componentes simétricas.

El sentido de giro del generador, determina la secuencia positiva en el sistema, por lo que el generador suministra solamente tensiones de secuencia positiva o directa, por lo que si medimos tensiones o corrientes de secuencia inversa o negativa o de secuencia cero u homopolar, significa que tenemos una anomalía.

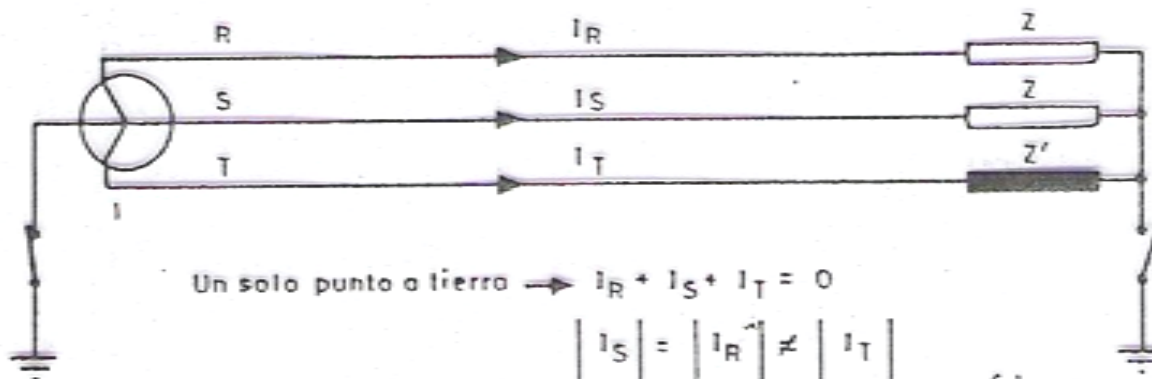


Esta anomalía o falla se debe a cortocircuitos entre fases (existencia de secuencia positiva y negativa), o entre fases y tierra (existencia de secuencia positiva, negativa y cero), apertura de una fase (existencia de secuencia positiva y negativa), o en general impedancia desiguales en las tres fases (existencia de secuencia positiva y negativa).



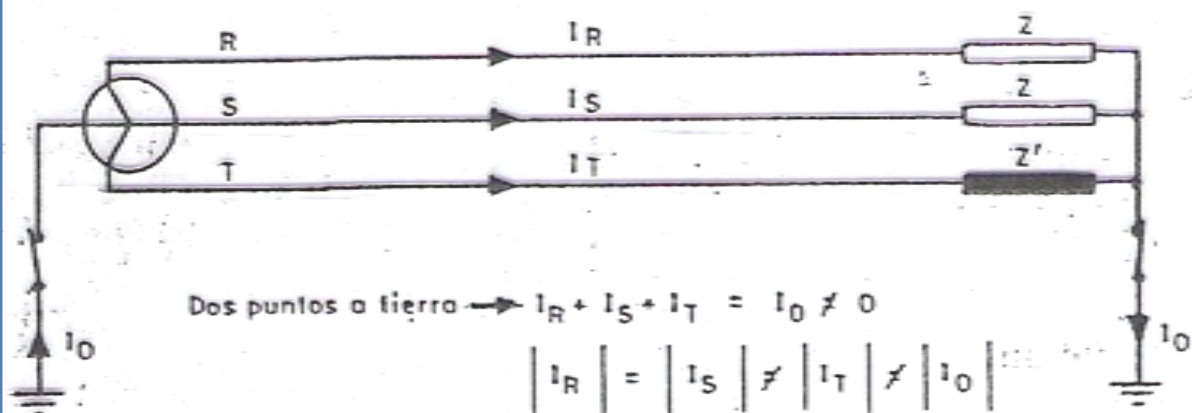
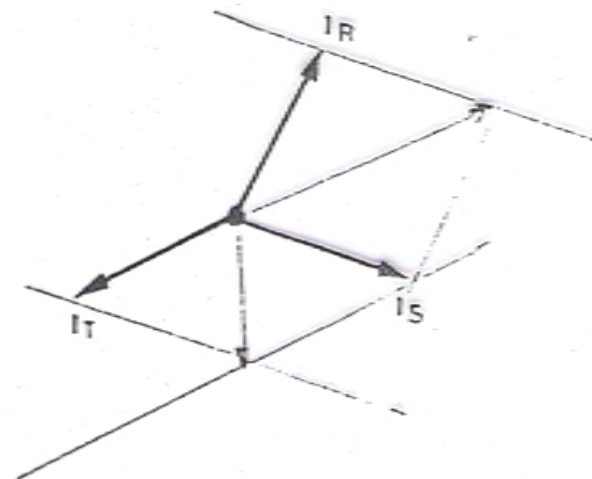
Con esto podemos establecer los siguientes postulados:

- 1) Las componentes homopolares, solo pueden aparecer cuando el sistema trifásico tenga resultante, por lo tanto las fallas monofásicas y bifásicas a tierra introducen componentes homopolares. Si bien la falla trifásica a tierra entraría en la condición teórica de falla sin desequilibrio, la práctica demuestra la existencia de corrientes de fase y homopolares.
- 2) Para que una red trifásica tenga resultante, es preciso que la red tenga al menos un punto a tierra antes de producirse la falla.
- 3) Las aperturas de fase o los desequilibrios de carga, producen circulación de corrientes de secuencia positiva y negativa y solamente producirán circulación de corriente de secuencia homopolar cuando existe un segundo punto puesto a tierra.
- 4) Las componentes directas existen siempre.

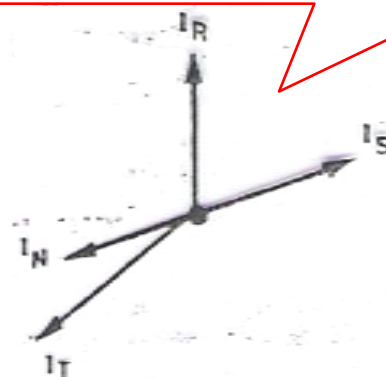


Son módulos de los vectores

Impedancias desiguales o fase abierta



Acá hay contacto a tierra por lo tanto aparece la Residual o de Neutro



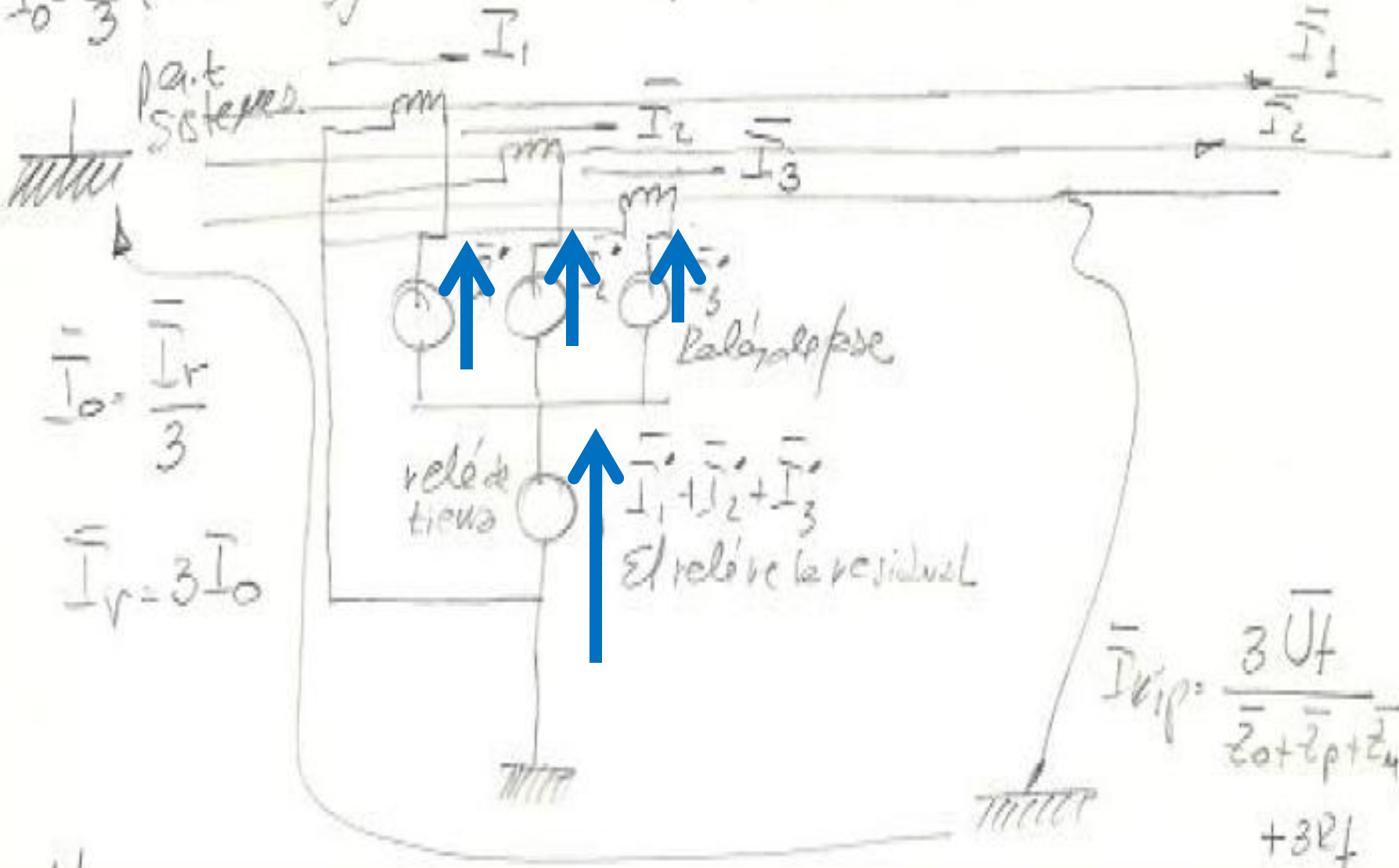
hommes poles

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3)$$

reduct

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 - \bar{I}_r$$

part
systeme



$$\bar{I}_0 = \frac{\bar{I}_r}{3}$$

$$\bar{I}_r = 3\bar{I}_0$$

Balance phase

El relé de la residual

$$\bar{I}_{r\text{sig}} = \frac{3 \bar{U}_f}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_p + \bar{Z}_n + 3R_f}$$

CORRIENTE DE POLARIZACIÓN DE TIERRA

Si no hay falla, la $V_{\text{RESIDUAL}} = 0$. Cuando hay una **fase a tierra**, la V_{RESIDUAL} es igual a la caída de tensión de la fase fallada e igual a tres veces la tensión homopolar, o sea:

$$V_{\text{RESIDUAL}} = 3 V_0$$

Además la V_{RESIDUAL} va a estar defasada un ángulo α que es el ángulo de la impedancia de fuente.

Entonces como la I_{RESIDUAL} , para lograr el par máximo, debe estar en fase con V_{RESIDUAL} , se debe setear al ángulo α (del relé = ángulo característico) = al de la impedancia de fuente que es:

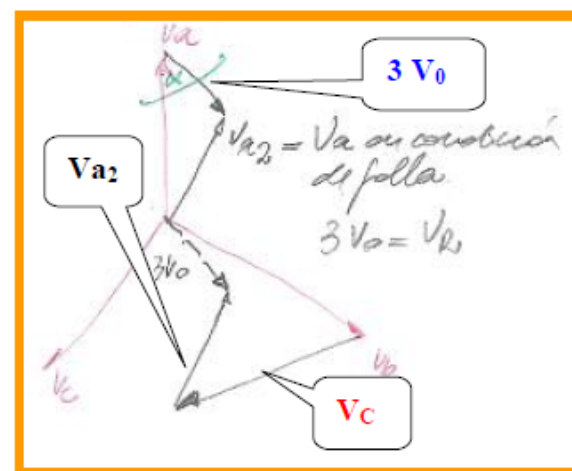
0° sistema con resistencia de tierra

-45° sistema de distribución sólidamente conectado a tierra

-60° sistema de transporte sólido a tierra

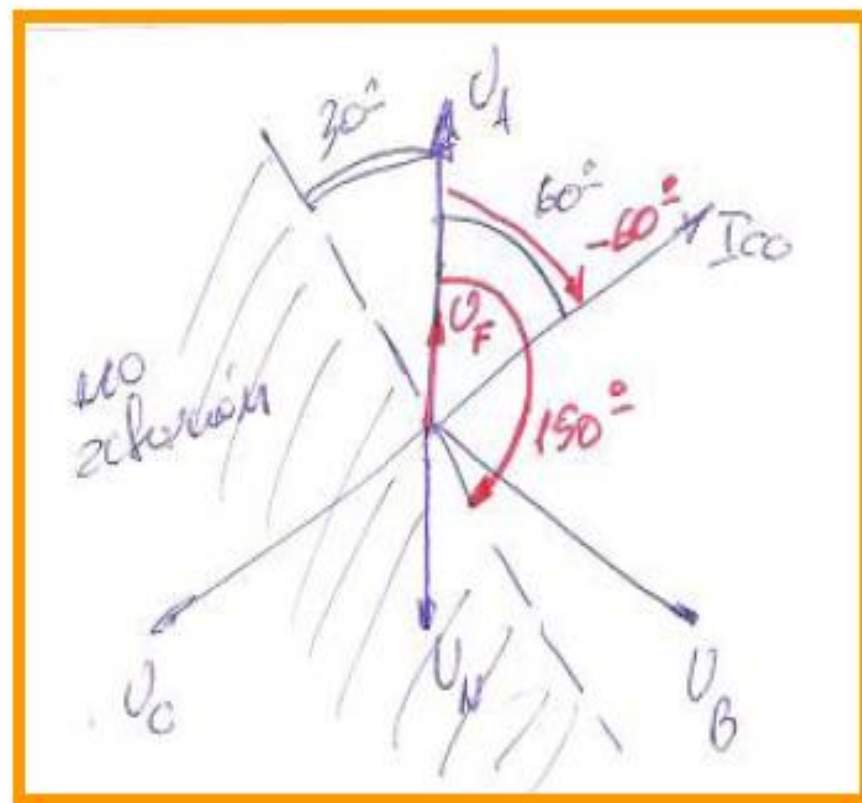
Como ejemplo el ángulo de seteo de la Cooperativa son -25° (PARA LAS FASES ES 50°).

En la figura se grafica lo expuesto



Polarización de tierra (-25°)

Cuando existe una falla, la tensión en la fase fallada cae a cero teóricamente, y en realidad esa caída de tensión debe ser mayor, siempre, que la tensión de polarización, ya que en caso contrario el relé puede no actuar. Este relé polariza con la tensión homopolar $U_0 = U_R/3$, lo que lo hace bastante sensible del lado bueno de la sensibilidad. En realidad polariza con la inversa de la U_0 .

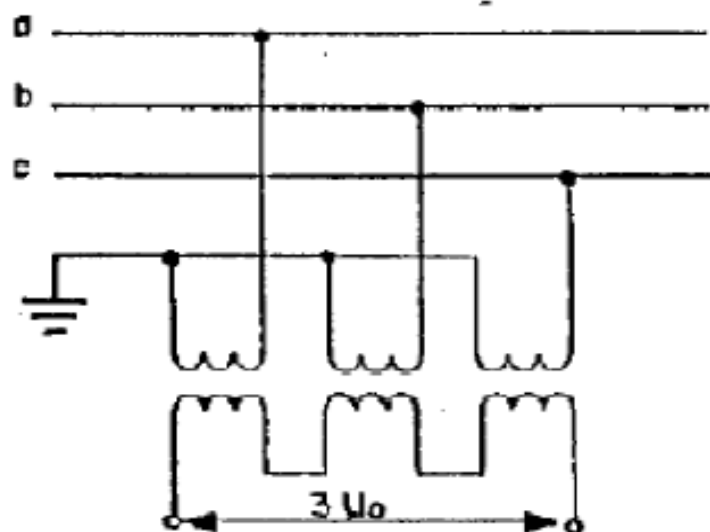


PROTECCIÓN DIRECCIONAL CONTRA CORTOCIRCUITOS A TIERRA.

Los T.I. se conectan para recibir $3I_0$, igual que los relés bidireccionales.

Los T.V. se conectan según la Figura, para recibir $3U_0$.

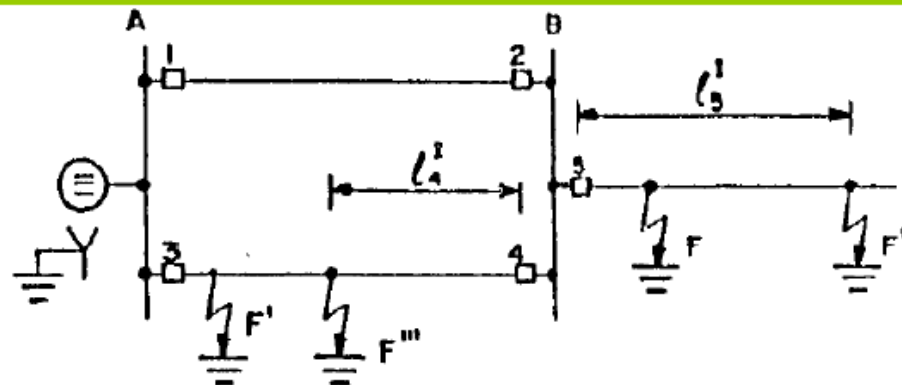
Si puede ser lo,
MEJOR



Conexión estrella aterrizada - delta rota de los transformadores de potencial para obtener voltaje de secuencia cero

Es la conexión IDEAL para discriminar la dirección de So porque el ángulo de fase de la tensión no cambia con la ubicación de la falla, pero el ángulo de fase de la corriente da un vuelco de 180° (aproximadamente).

El ajuste de los parámetros se hace como un relé bidireccional y si hay líneas paralelas como las de la figura hay que tener en cuenta el fenómeno de inducción mutua.



Efecto de la inducción mutua entre líneas paralelas en el cálculo de la corriente de arranque de las protecciones direccionales de sobrecorriente

1)- La:

$$I'_{ap1} > I_{oLAT\ 1-2}. \text{ (ap significa "arranque de la protección")}$$

Y debe cumplirse en estas dos condiciones:

- a)- falla a tierra en **F** y **línea 3-4** desconectada y puesta a tierra en sus dos extremos.
- b)- falla tierra en **F'** y apertura del **IAP 3 antes que el 4** (operación en cascada de las protecciones **3** y **4**).

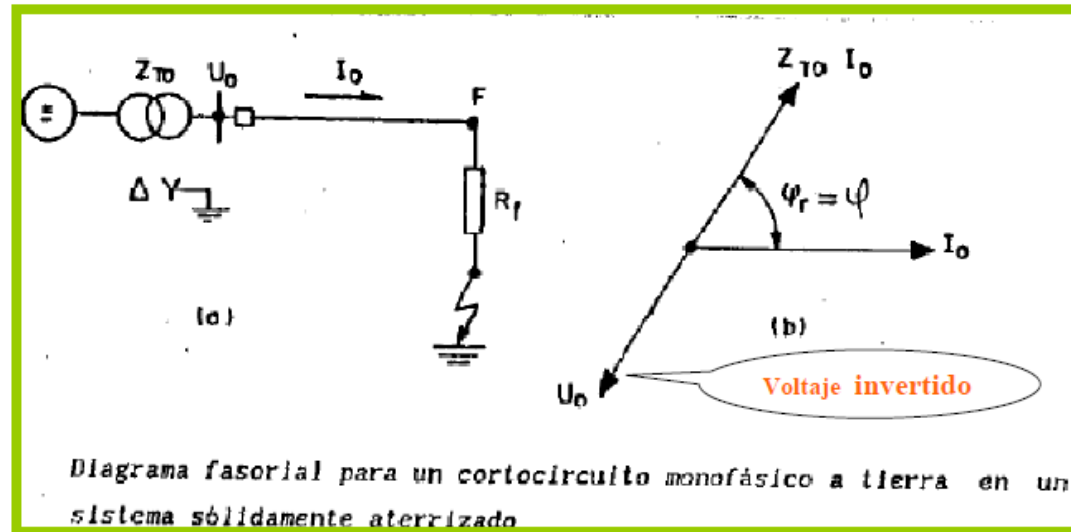
Esto es válido para protección de tiempo constante **DT**, y de tiempo inverso **IDMT**.

2)- La:

$$I''_{ap1} > I_{oLAT\ 1-2}.$$

Y debe cumplirse en estas dos condiciones.

- a)- falla a tierra en **F''** con **LAT 3-4** desconectada y puesta a tierra.
- b)- falla a tierra en **F'''** y apertura de **IAP 3** antes que el **IAP 4**.



Tal cual se dijo, el relé recibe $\bar{I}_r = 3I_0$ $\bar{V}_r = 3U_0$. Para falla F con una R_f de cualquier valor, el voltaje U_0 es máximo en F (producto de la caída de tensión en la falla) y es casi cero en el neutro del Transformador (obviamente pues es la tensión homopolar y en realidad debo considerar la impedancia homopolar y la corriente homopolar, que se ven abajo). Las tensiones en la fuente son aproximadamente constantes y en el punto de falla toman su máximo o mínimo valor.

En el transformador U_0 no depende de R_f y es:

$$\bar{U}_0 = -\bar{Z}_{0T} \bar{I}_0.$$

$\bar{Z}_{0T}$ Impedancia del lazo del defecto más la del transformador, siendo el ángulo de la impedancia del transformador 90° y la completa, línea transformador 70° .

De acuerdo a esto φ está entre $+180^\circ$ y -90° y cercano a -90° .

En la práctica se aplica al relé el voltaje ó la corriente invertida de tal manera que en realidad:

$$0 < \varphi < 90^\circ \quad \text{impedancia de solo trafo.}$$

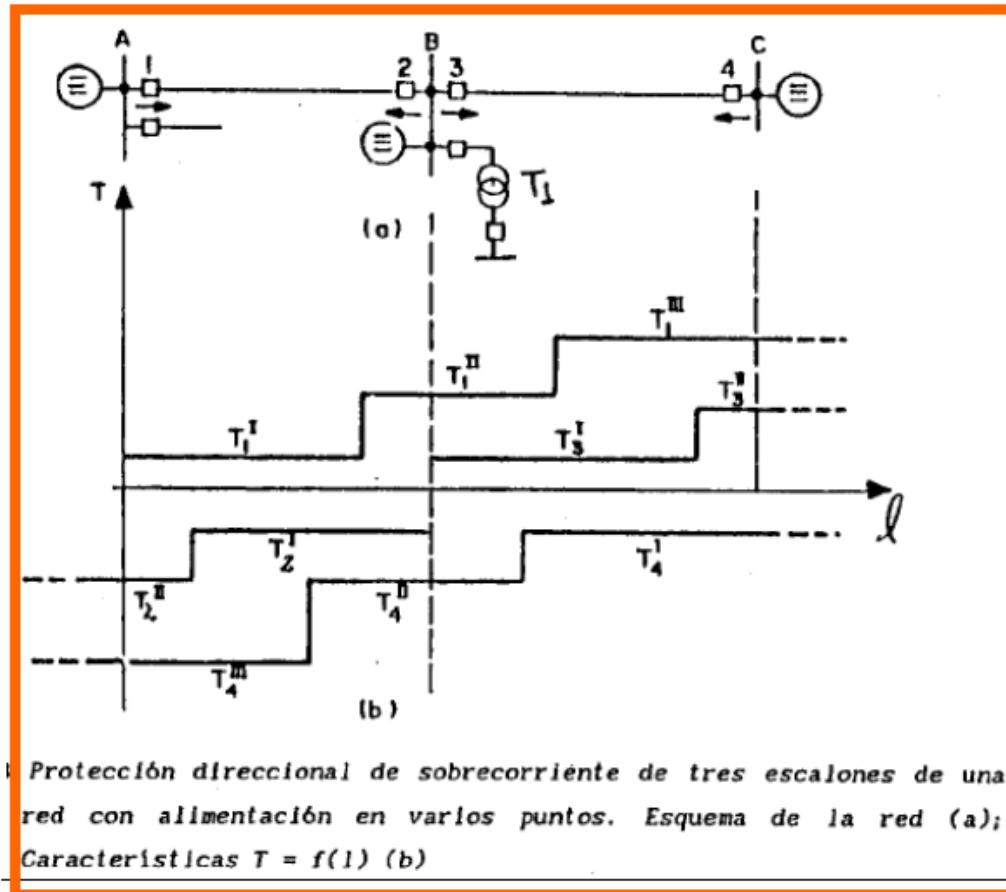
$$0 < \varphi < 70^\circ \quad \text{impedancia completa.}$$

Nota: Se ve claramente que la impedancia homopolar depende del lazo de defecto.

PROTECCIÓN DIRECCIONAL DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO CONSTANTE

Ajustes para el caso de la Protección de fase.

1º Escalón:



Descripción del sistema.

- * Generadores.
- * Barras.
- * Líneas de transmisión.

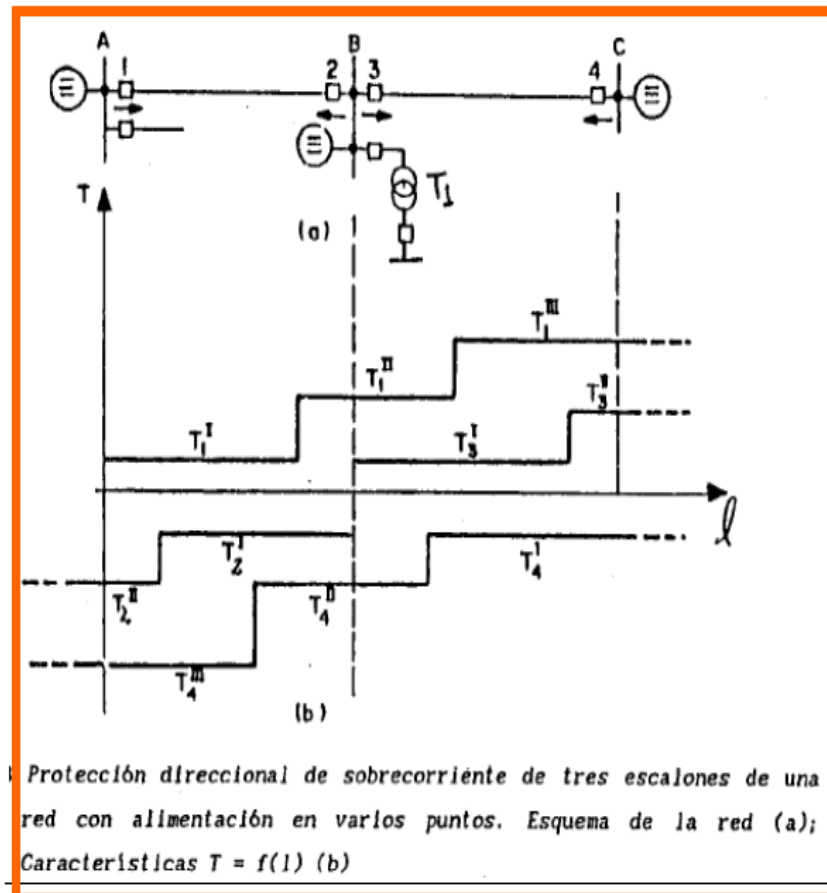
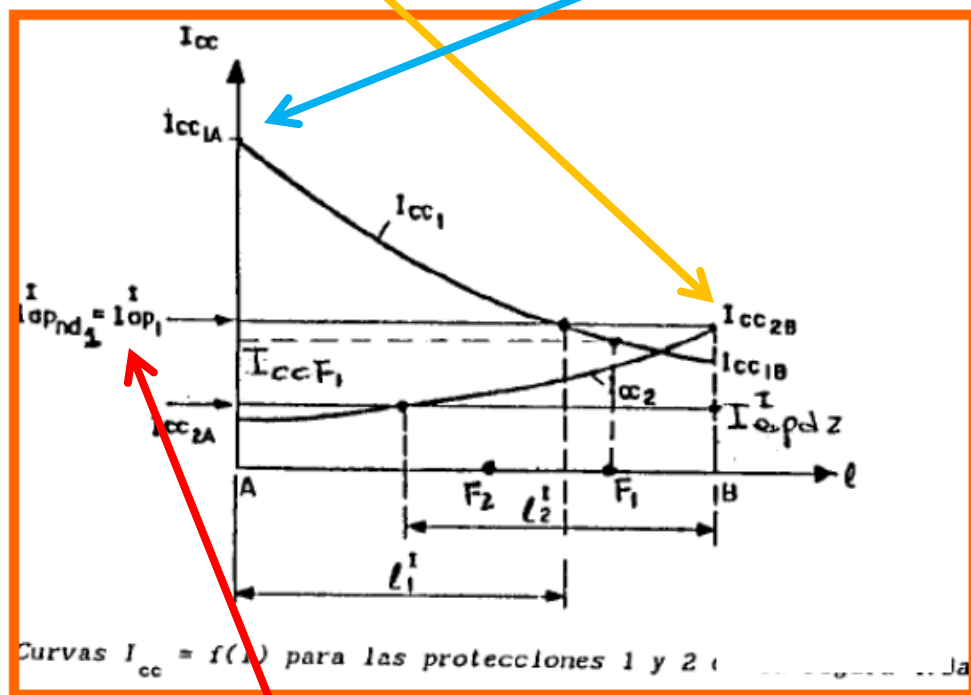
* Cargas T_1 .

* Protecciones.

Nota: nd = no direccional o bidireccional.
 d = direccional.

En la Figura, a continuación, se ve la corriente de cortocircuito que ve la protección 1, I_{cc1} , que comienza con un alto valor en la barra A I_{cc1A} y concluye en B con I_{cc1B} .

Se ve también lo mismo para 2 desde B a A. Lógicamente analizamos fallas entre A y B.



El 1º escalón de la 1 podría no ser direccional, porque ve corriente siempre de un solo lado, (aunque sí se lo hace) siempre y cuando el 1º escalón de la 2 sí sea direccional.

Debe cumplirse $I_{apnd1} > 1.1 I_{cc1B}$ A

I_{cc1B} = máxima corriente de cortocircuito externa a la zona protegida (en este caso en la barra B).

Con el valor así fijado de arranque se protege $\ell^1 1$.

Una falla en F1 no está protegida por la protección 1 porque la corriente en ese punto es $I_{ccF1} < I_{apnd1}$.

Acá **DEBE** entonces actuar la protección 2 y ser **DIRECCIONAL**.

El arranque de la 2 debe contemplar 2 cosas:

a)- $I_{apd2} > I_{cc2A} \cdot 1,05$

B

I_{cc2A} = corriente de cortocircuito en A vista desde B.

b)- La longitud cubierta desde B hacia A debe ser lo mayor posible para que una falla como la F1 sea seguramente despejada.

Nota:

La protección 2 podría también ser no *direccional* pero con la direccionalidad se aumenta la **SENSIBILIDAD** del sistema formado por las protecciones 1 y 2 en cuanto a las corrientes (F2).

Debe la protección 2 ser direccional porque me permite bajar el valor de I_{apd2} ya que si no lo fuera, con un nivel de corriente tan bajo, una falla entre B y C podría disparar la protección 2 y dejar sin energía eléctrica al trafo T1.

Nota: Los coeficientes 1.1 y 1.05 son por TI, cálculos, etc.

Nota: Como hay varios G puede haber oscilaciones de Potencia que se originan por:

- a)- desconexión tardía de un cortocircuito.
- b)- fuera de servicio de una línea enlace.
- c)- fuera de servicio de generadores.
- d)- Recierre.

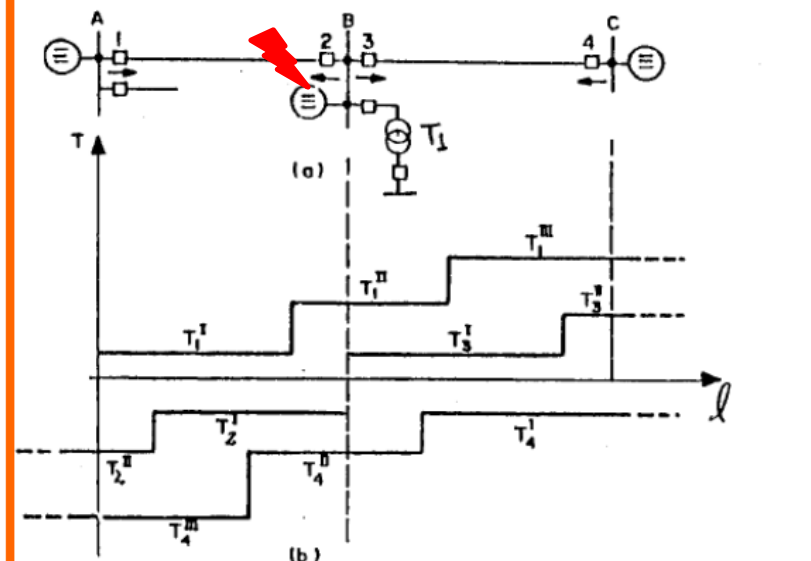
El período de las oscilaciones va de:

- 100 mseg. para la pérdida de sincronismo.
- 3000 mseg. para la oscilación de potencia ó restablecimiento del sincronismo.

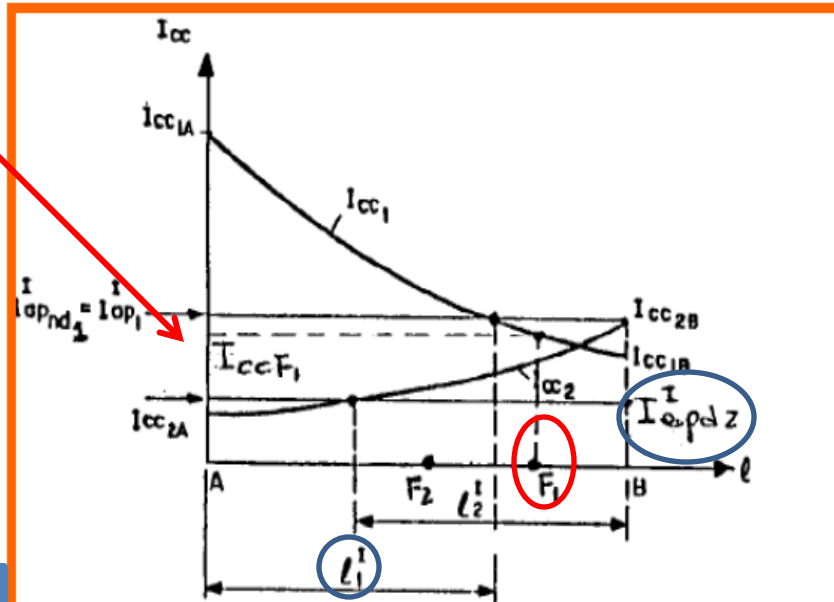
Cuando la oscilación de potencia es grave puede haber pérdida de sincronismo.

La oscilación de potencia se presenta como una corriente pulsante del orden de la de cortocircuito pero siempre trifásica, nunca de otro tipo.

Por la
protección 1
o la 2



Protección direccional de sobrecorriente de tres escalones de una red con alimentación en varios puntos. Esquema de la red (a); Características $T = f(I)$ (b)



Curvas $I_{cc} = f(l)$ para las protecciones 1 y 2

$$I = \frac{FemGA - FemGB}{Z_A + Z_B + Z_{lineaenlace}} = I_{osc\max}$$

Como la corriente de oscilación puede ser mayor que la de cortocircuito se debe tener en cuenta por lo tanto:

$$I_{apd} \text{ ó } I_{apnd} \geq k \cdot I_{osc\max} \quad \text{C con} \quad k = 1.05 \div 1.1$$

El valor de arranque definitivo del 1^{er} escalón es el mayor de **(A)** **B** (en realidad éste es para la protección 2) ó **C**. El tiempo de disparo debe ser instantáneo o sea

$$T^I = 10 \text{ mseg}$$

2º Escalón:

Su T^II y su I_{apd}^{II} se hacen igual que para las protecciones no direccionales de 3 escalones además de lo expuesto en el desarrollo del 1^{er} escalón.

La particularidad está en la existencia de fuentes de generación intermedia.

Primer caso:

Corto en BC para la protección 1.

Para que su 2^{do} escalón no se monte sobre el de las protecciones vecinas.

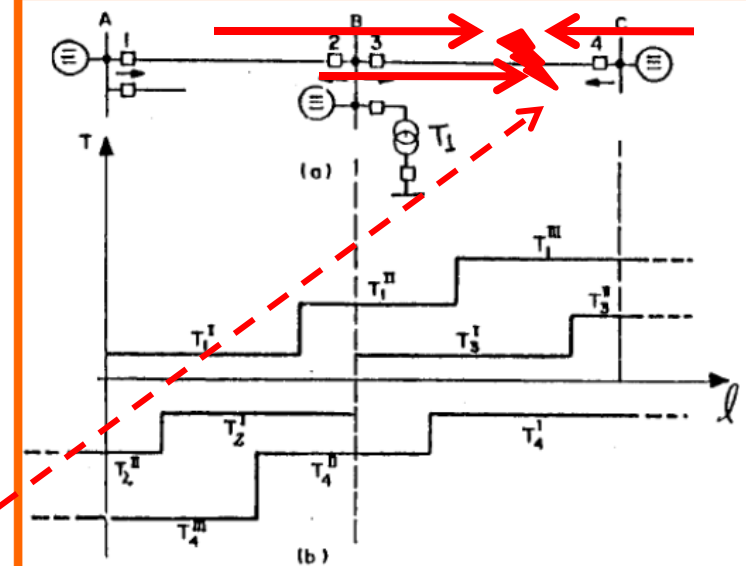
$$I_{apd1}^{II} \geq I_{apd3}^{II} \cdot k$$

$$k = 1.1 \div 1.15 \text{ (TI, relés).}$$

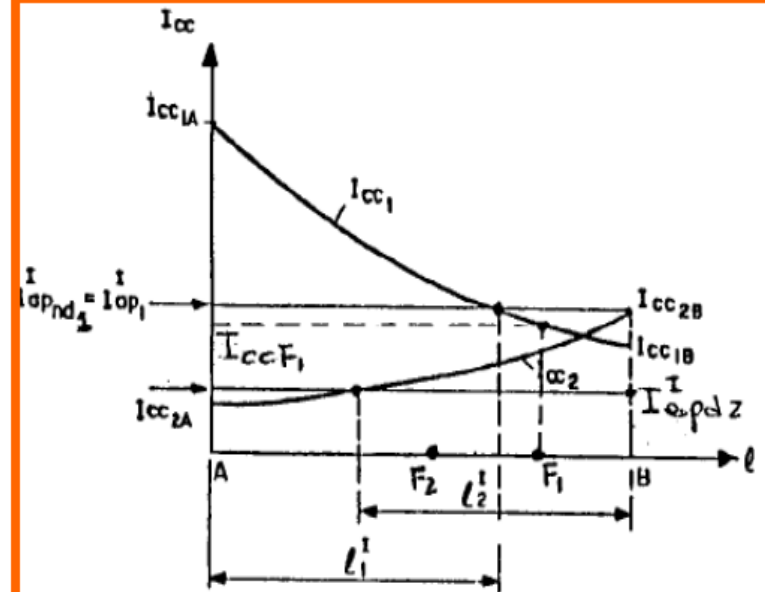
Esto es así porque como hay una fuente de generación intermedia $I_{ccAB} < I_{ccBC}$ siendo su relación

$$K_{CBC} = \frac{I_{ccAB}}{I_{ccBC}} \leq 1$$

por lo tanto



Protección direccional de sobrecorriente de tres escalones de una red con alimentación en varios puntos. Esquema de la red (a); Características $T = f(I)$ (b)



Curvas $I_{cc} = f(l)$ para las protecciones 1 y 2

$$I_{apd1}^{II} \geq K \cdot K_{CBC} \cdot I_{apd3}^{II}$$

Segundo caso:

Es cuando hay un cortocircuito en barras de 13.2 KV del T_1 .

En este caso debe verificarse:

$$I_{apd}^{II} = k \cdot k_{ct} \cdot I_{cctm\acute{a}x}|_{13.2}$$

$I_{cctm\acute{a}x}|_{13.2}$ = máxima corriente de cortocircuito del trafo en 13.2 KV.

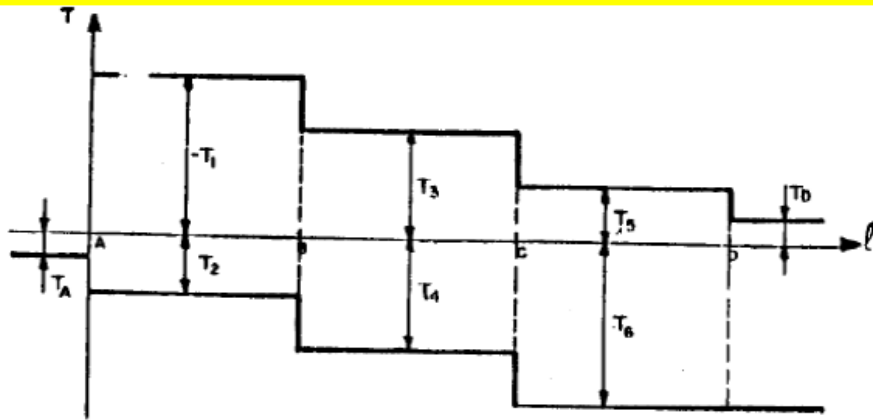
$$k_{ct} = \frac{I_{ccAB}}{I_{cctm\acute{a}x}|_{13.2}}$$

3° Escalón:

El T^{III} se hace igual que para las protecciones no direccionales y debe ser mayor al tiempo del 3er escalón de todas las protecciones de las líneas adyacentes.

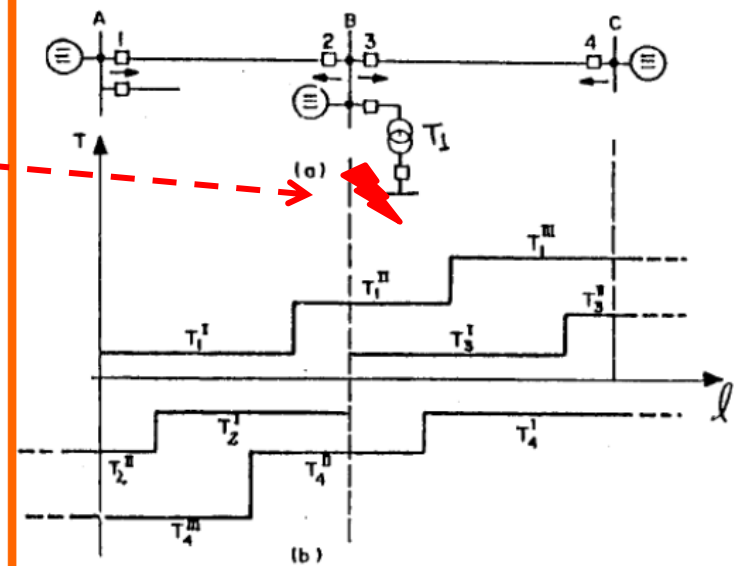
$$T^{III} n = T^{III} n-1 + \Delta T$$

$$\Delta T = 0.2 \text{ a } 0.3 \text{ seg.}$$

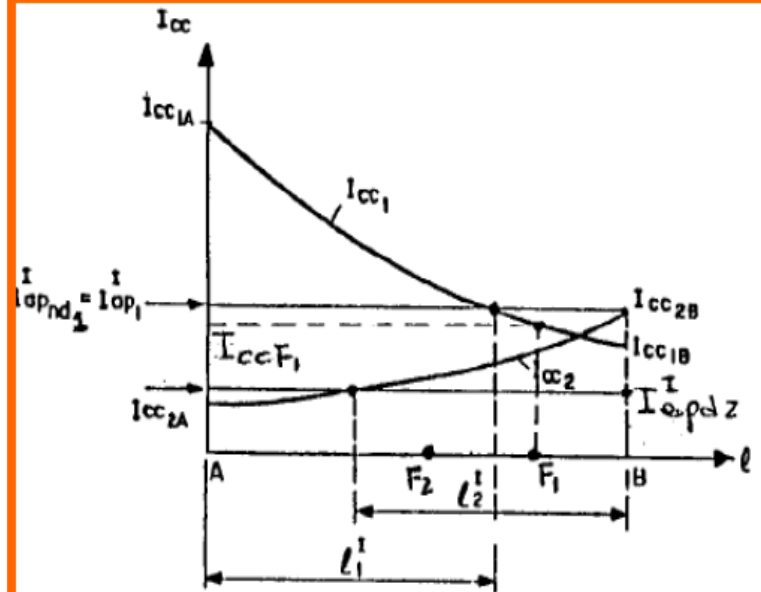


4.6 Características $T = f(l)$ de los terceros escalones de las protecciones direccionales de sobrecorriente del sistema de la

T_A y T_D = tiempo de disparo de otras protecciones (líneas, trafos, etc.).



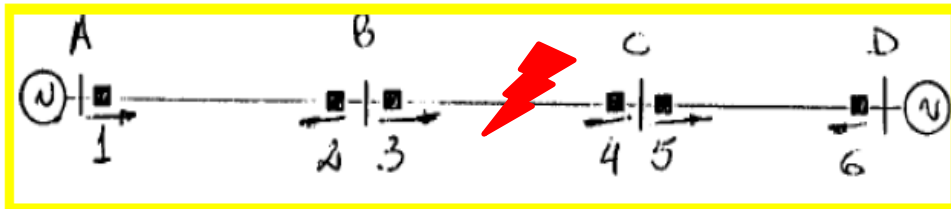
Protección direccional de sobrecorriente de tres escalones de una red con alimentación en varios puntos. Esquema de la red (a); Características $T = f(l)$ (b)



Curvas $I_{cc} = f(l)$ para las protecciones 1 y 2

Ver que si hay un cortocircuito en línea la LAT BC y fallan las 1^{eros} y 2^{dos} escalones de las protecciones 3 y 4, operan estas mismas por sus 3^{eros} escalones.

La aplicación de este principio determina que no todos los escalones terceros deben ser direccionales, tal como se aprecia en las figuras.



$T1 > TA$ por lo tanto la protección 1 no necesita ser direccional.

$T3 > T2$ por lo tanto la protección 3 no necesita ser direccional.

$T4 > T5$ por lo tanto la protección 4 no necesita ser direccional.

$T6 > TD$ por lo tanto la protección 6 no necesita ser direccional.

Los restantes 3^{eros} escalones **DEBEN** ser direccionales.

En cuanto a las corrientes de arranque del 3^{er} escalón.

$$I_{apn}^{III} \geq \frac{k^{III} k'a}{kr} I_{cm\acute{a}x}.$$

k^{III} = factor seguridad = 1.2.

$kr \approx 1$ (siendo para los relés digitales/numéricos = 1).

$I_{cm\acute{a}x}$ = corriente de carga máxima en la dirección de disparo.

$$I_{apn}^{III} \geq k^{III} \cdot k''a I_{cm\acute{a}x}.$$

$k'a$ y $k''a$ = coeficientes de arranque que vales de 2 a 5.

$$I_{apn}^{III} \geq I_{apn-1}^{III}.$$

Además de estas condiciones de las protecciones no direccionales de sobre corriente, deben cumplirse además dos condiciones más propias de la protección direccional.

1^{era} Condición.

$$I_{apn}^{III} \geq k^{III} I_{cm\acute{a}x}.$$

$I_{cm\acute{a}x}$ = corriente de carga máxima en cualquier dirección.

Esto es por si pierde la direccionalidad por ejemplo: por fusión de un fusible de un TV.

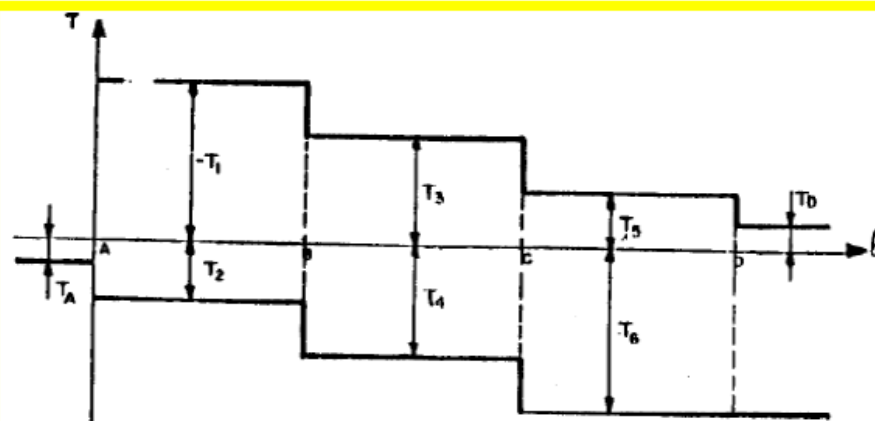
2^{da} Condición.

Cuando hay un cortocircuito mono o bifásico a tierra (con aterrizamiento sólido) las fases no falladas pueden tomar valores importantes, por lo tanto en esta condición y en algunos casos es conveniente desconectar sólo la direccionalidad de fase.

Generalmente T^{III} es > que el tiempo que dura una oscilación de potencia por eso no se considera.

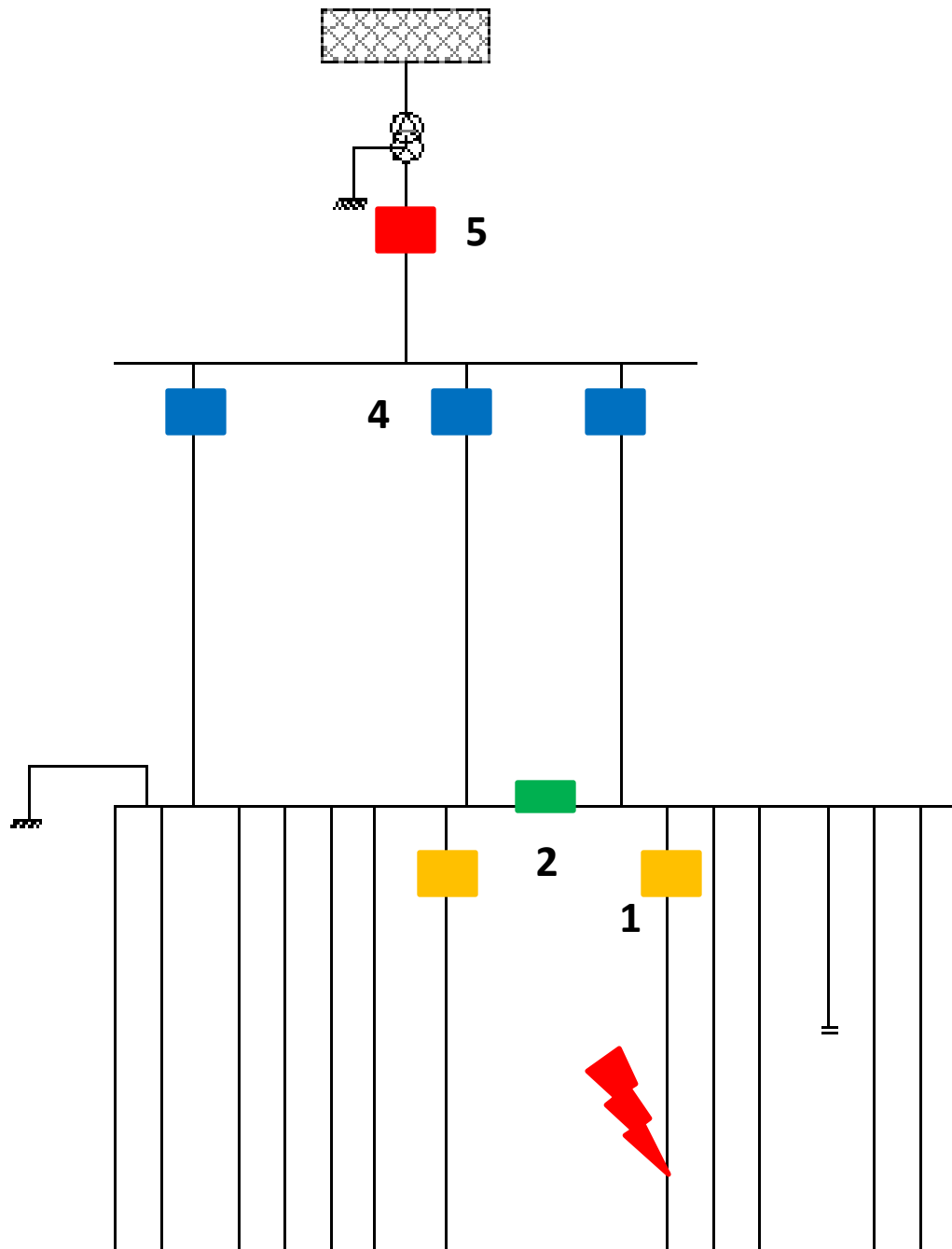
Otro problema es la zona muerta por caída de tensión ante un cortocircuito (que para colmo será el de mayor valor) que hace que los TV no trabajen.

Para evitar esto se hacen NO DIRECCIONALES los 1^{eros} escalones.



4.6 Características $T = f(I)$ de los terceros escalones de las protecciones direccionales de sobrecorriente del sistema de la zona muerta.

***Protección entre
CD Nº 1 Y CD Nº2***



Sistema B

$$\begin{aligned} Td1 &= T \text{ dis-rel} + T \text{ apert-iap} \\ Td1 &= 20 + 60 = 80 \text{ mseg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Td2 &= Td1 + \Delta T + T \text{ apert-iap} \\ Td2 &= 80 + 40 + 40 = 160 \text{ mseg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Td4 &= Td2 + \Delta T + T \text{ direccional} + T \text{ apert-iap} \\ Td4 &= 160 + 40 + 150 + 40 = 390 \text{ mseg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Td5 &= Td4 + \Delta T + T \text{ apert-iap} \\ Td5 &= 390 + 40 + 40 = 470 \text{ mseg} \end{aligned}$$

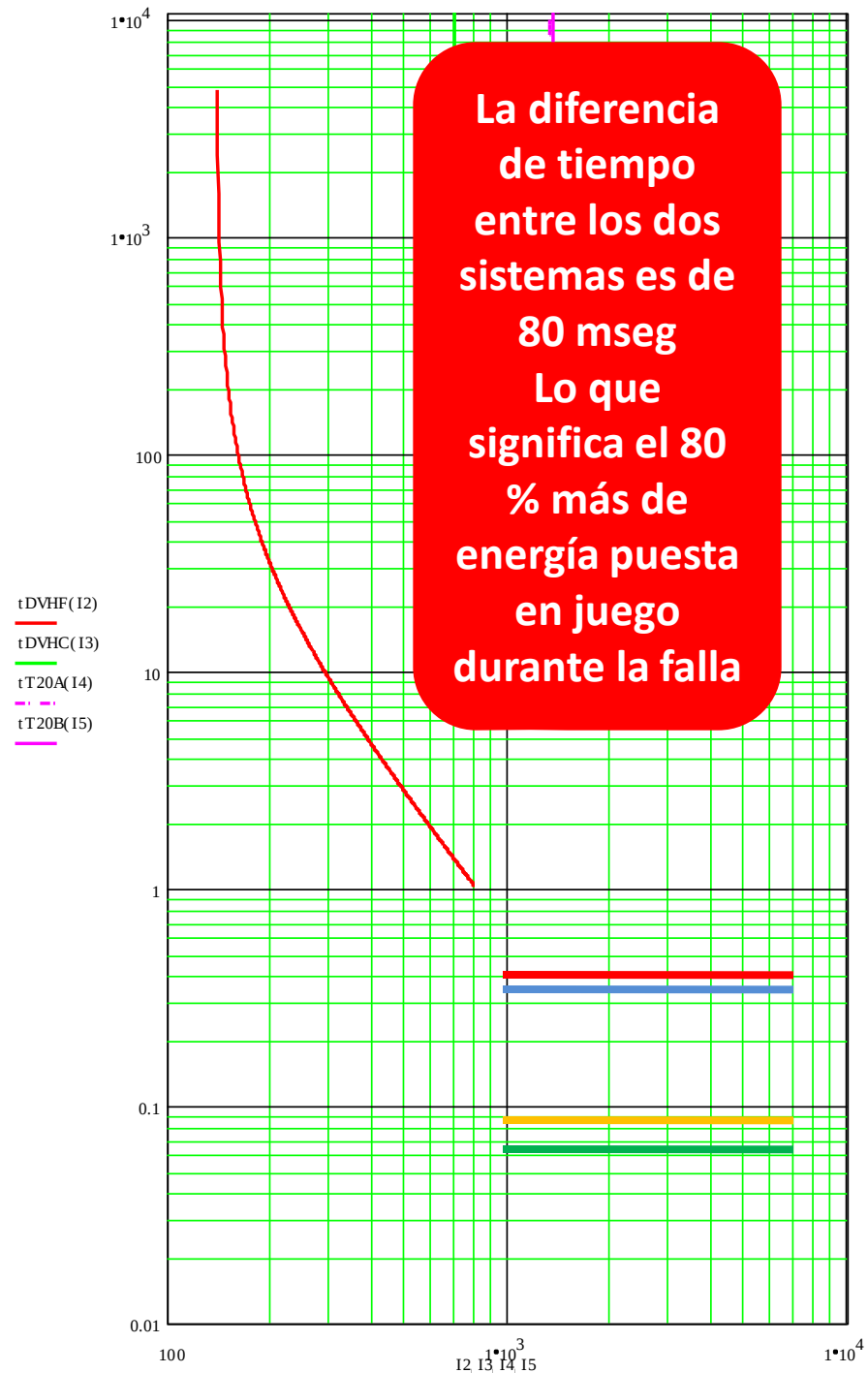
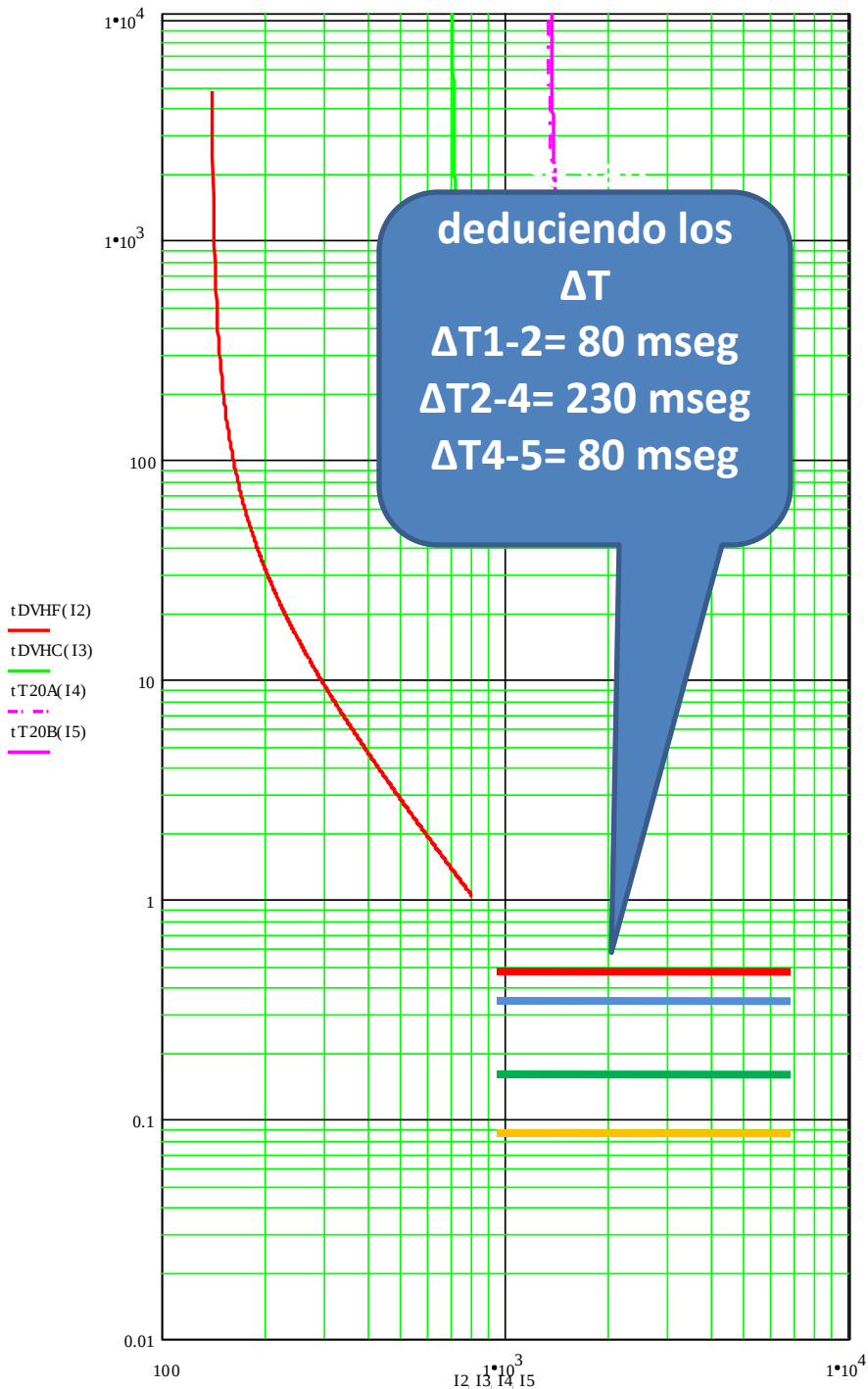
Sistema A

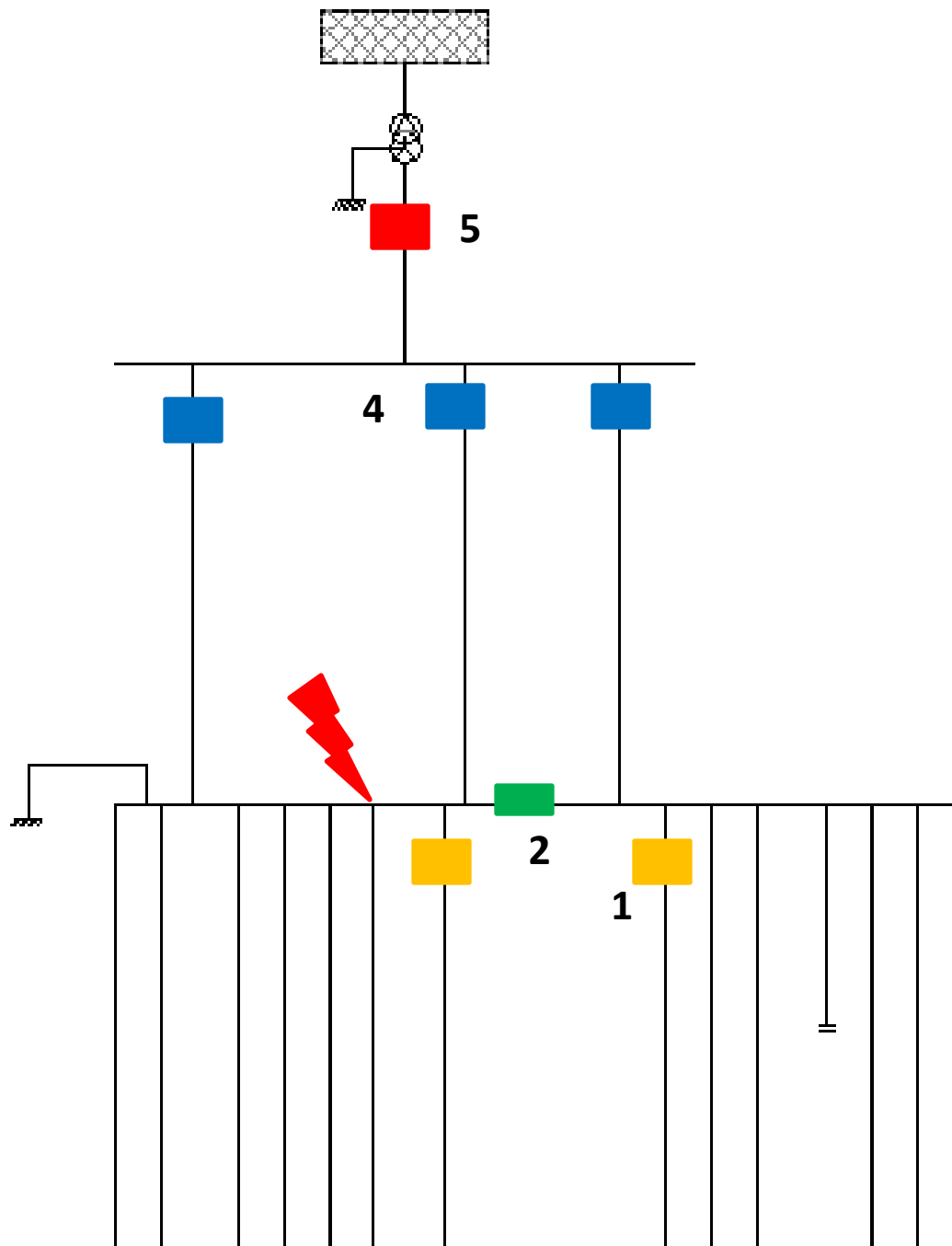
$$\begin{aligned} Td1 &= T \text{ dis-rel} + T \text{ apert-iap} \\ Td1 &= 20 + 60 = 80 \text{ mseg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Td2 &= T \text{ dis-rel} + T \text{ apert-iap} \\ Td2 &= 20 + 40 = 60 \text{ mseg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Td4 &= Td1 + \Delta T + T \text{ direccional} + T \text{ apert-iap} \\ Td4 &= 80 + 40 + 150 + 40 = 310 \text{ mseg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Td5 &= Td4 + \Delta T + T \text{ apert-iap} \\ Td5 &= 310 + 40 + 40 = 390 \text{ mseg} \end{aligned}$$





$$Td2 = T \text{ dis-rel} + T \text{ apert-iap}$$

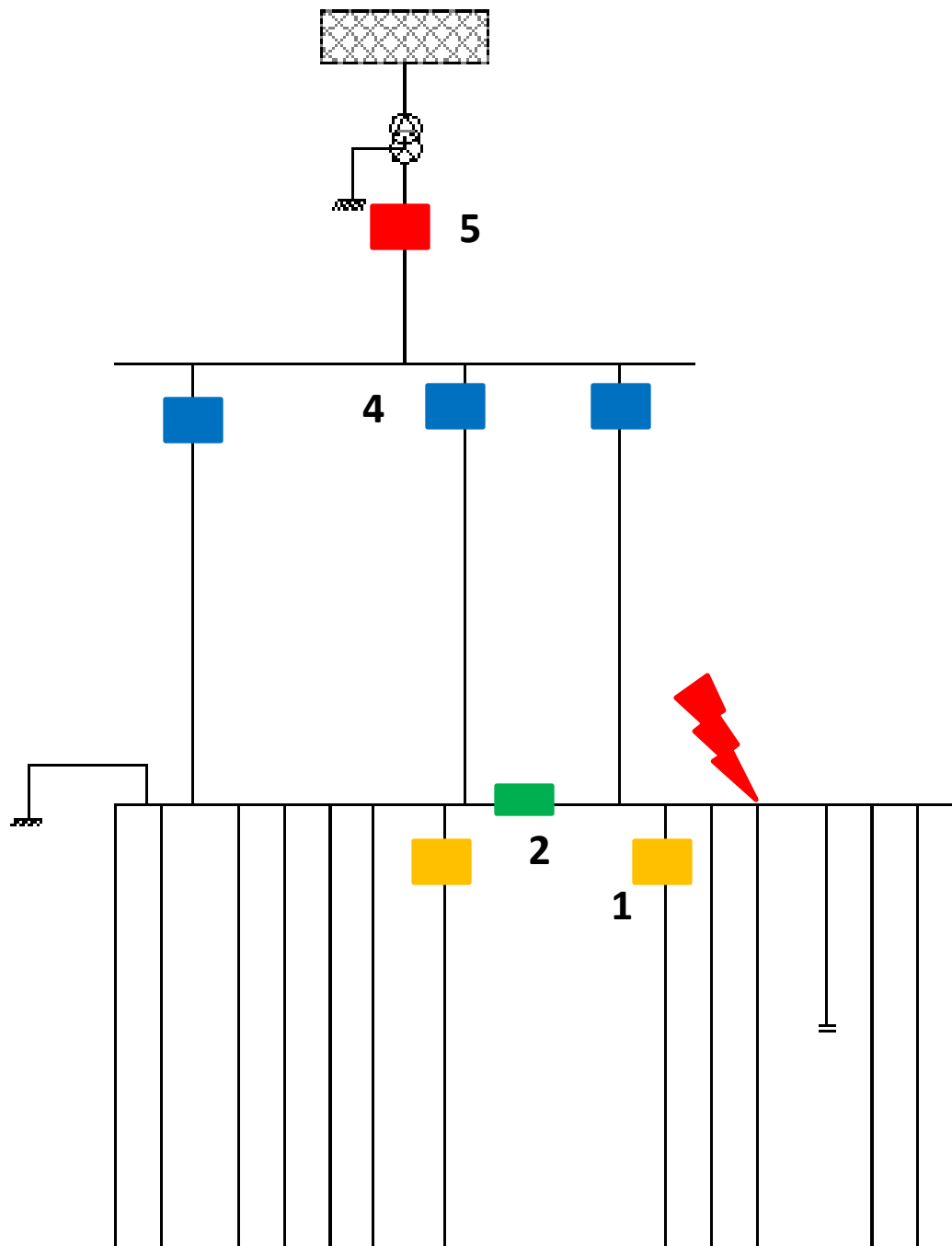
$$Td2 = 20 + 40 = 60 \text{ mseg}$$

$$Td4 = Td1 + \Delta T + T \text{ direccional} + T \text{ apert-iap}$$

$$Td4 = 80 + 40 + 150 + 40 = 310 \text{ mseg}$$

$$Td5 = Td4 + \Delta T + T \text{ apert-iap}$$

$$Td5 = 310 + 40 + 40 = 390 \text{ mseg}$$



$$Td2 = T_{\text{dis-rel}} + T_{\text{apert-iap}}$$

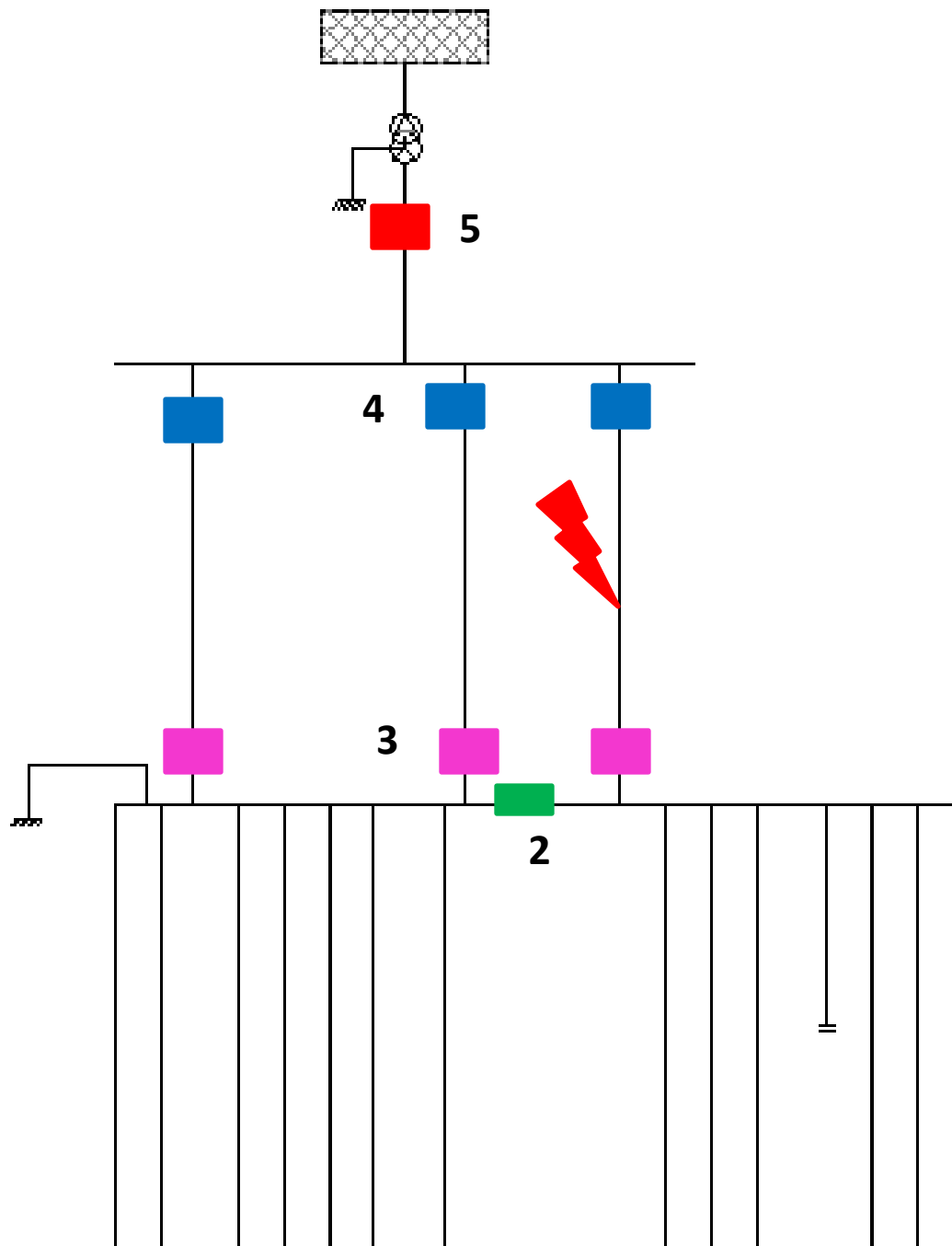
$$Td2 = 20 + 40 = 60 \text{ mseg}$$

$$Td4 = Td1 + \Delta T + T_{\text{direccional}} + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td4 = 80 + 40 + 150 + 40 = 310 \text{ mseg}$$

$$Td5 = Td4 + \Delta T + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td5 = 310 + 40 + 40 = 390 \text{ mseg}$$



$$Td2 = T_{\text{dis-rel}} + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td2 = 20 + 40 = 60 \text{ mseg}$$

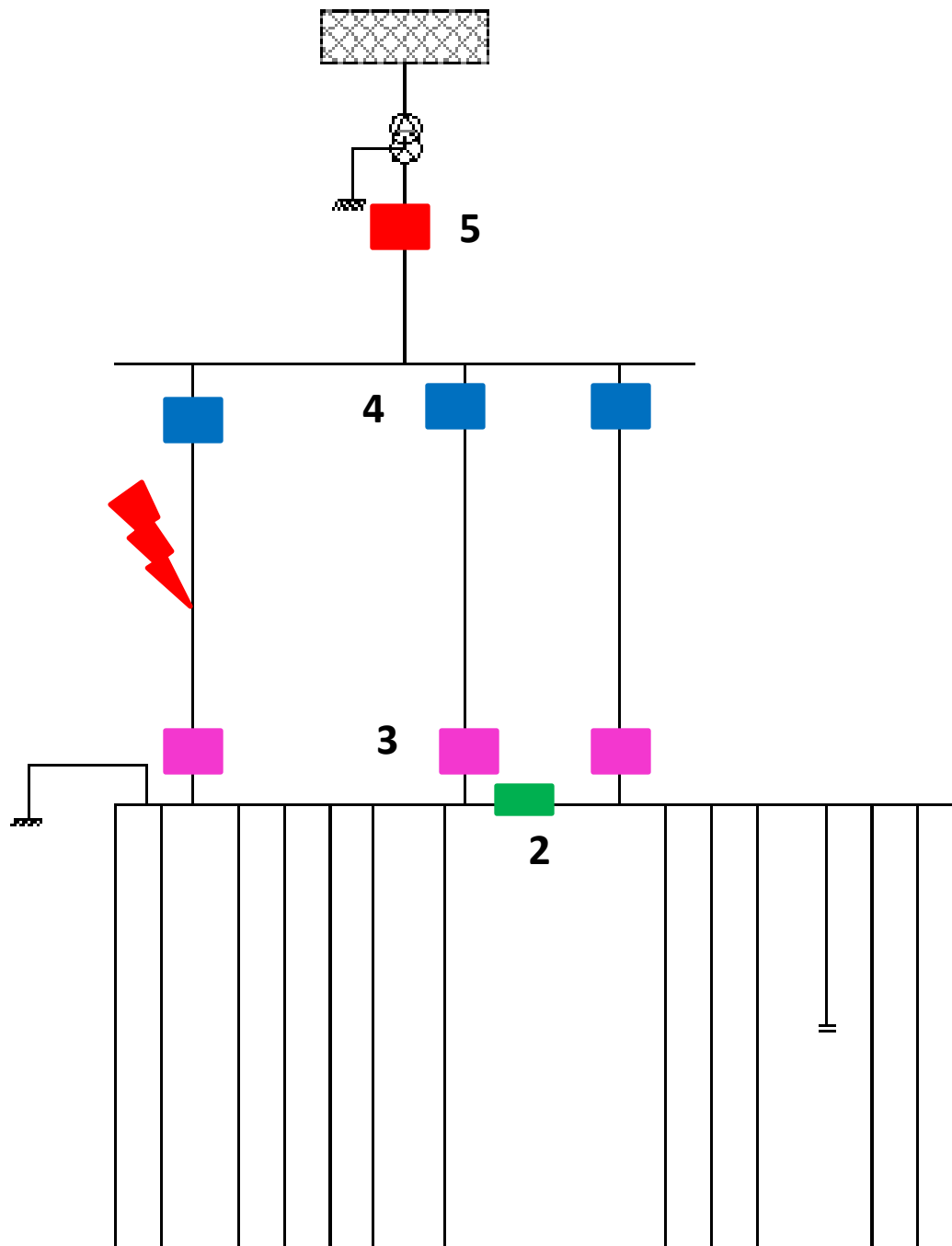
$$Td4 = Td1 + \Delta T + T_{\text{direccional}} + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td4 = 80 + 40 + 150 + 40 = 310 \text{ mseg}$$

$$Td5 = Td4 + \Delta T + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td5 = 310 + 40 + 40 = 390 \text{ mseg}$$

$$Td3 = 150 \text{ mseg}$$



$$Td2 = T \text{ dis-rel} + T \text{ apert-iap}$$

$$Td2 = 20 + 40 = 60 \text{ mseg}$$

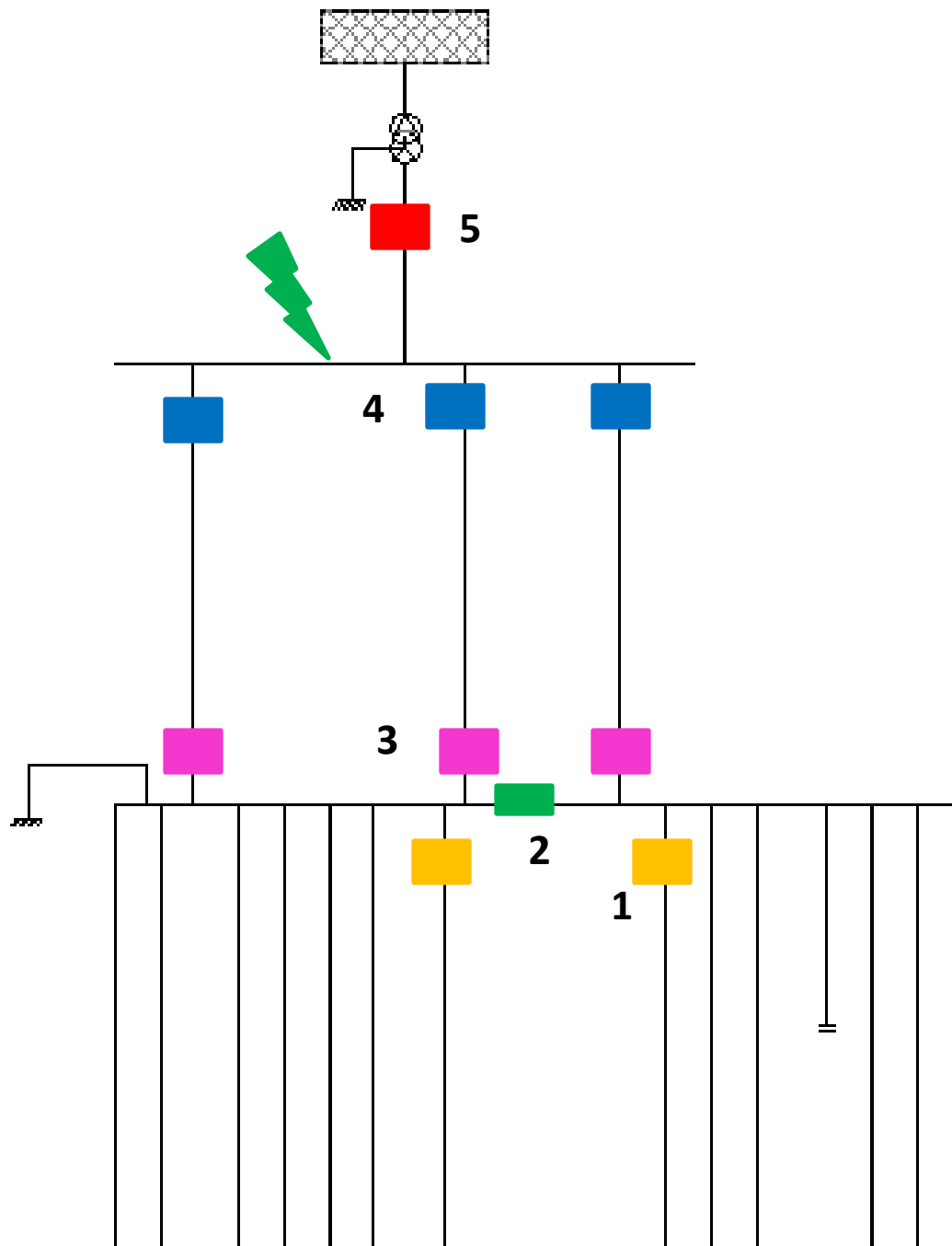
$$Td4 = Td1 + \Delta T + T \text{ direccional} + T \text{ apert-iap}$$

$$Td4 = 80 + 40 + 150 + 40 = 310 \text{ mseg}$$

$$Td5 = Td4 + \Delta T + T \text{ apert-iap}$$

$$Td5 = 310 + 40 + 40 = 390 \text{ mseg}$$

$$Td3 = 150 \text{ mseg}$$



$$Td1 = T_{\text{dis-rel}} + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td1 = 20 + 60 = 80 \text{ mseg}$$

$$Td2 = T_{\text{dis-rel}} + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td2 = 20 + 40 = 60 \text{ mseg}$$

$$Td3 = 150 \text{ mseg}$$

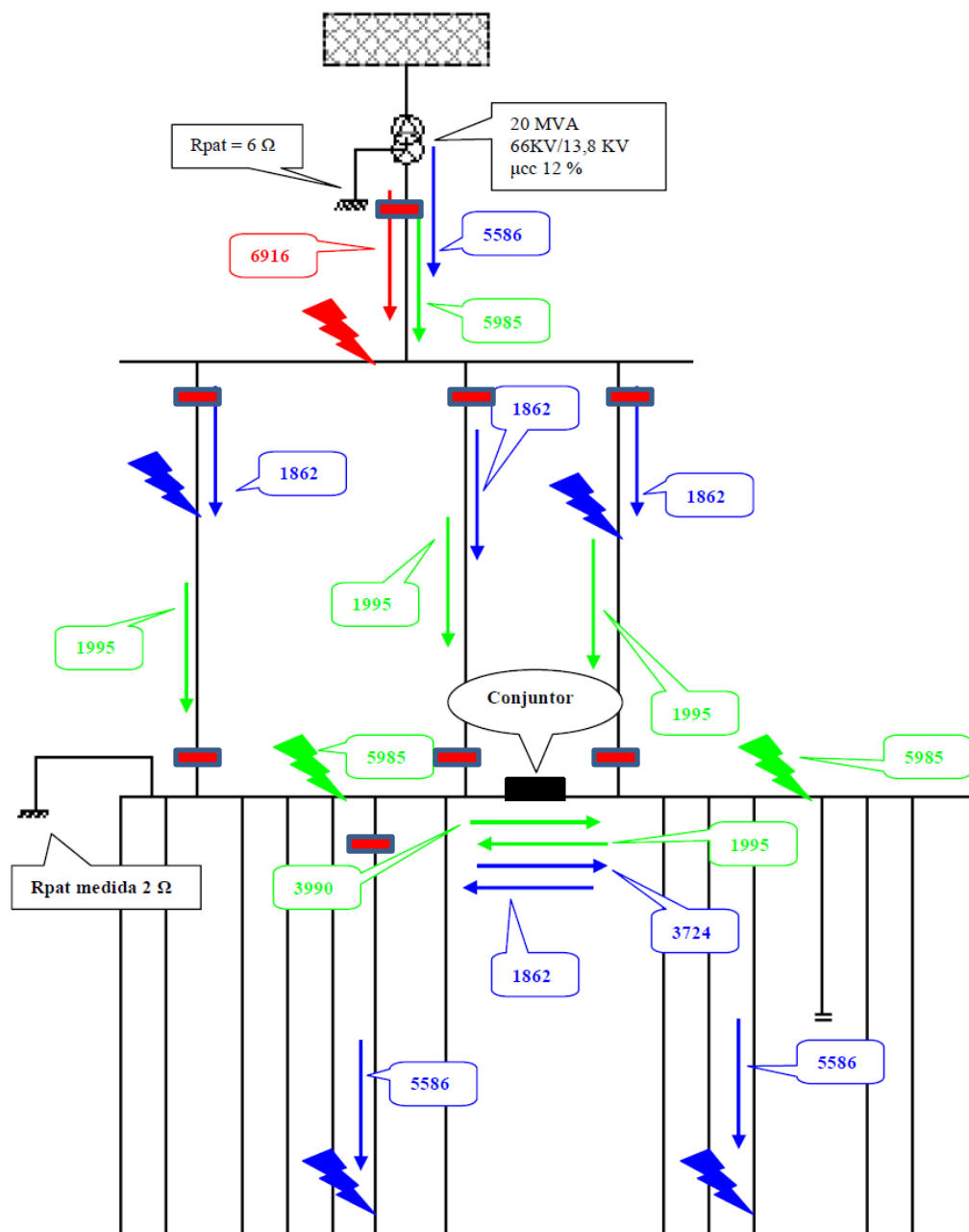
$$Td4 = Td1 + \Delta T + T_{\text{direccional}} + T_{\text{apert-iap}}$$

$$Td4 = 80 + 40 + 150 + 40 = 310 \text{ mseg}$$

$$Td5 = Td4 + \Delta T + T_{\text{apert-iap}}$$

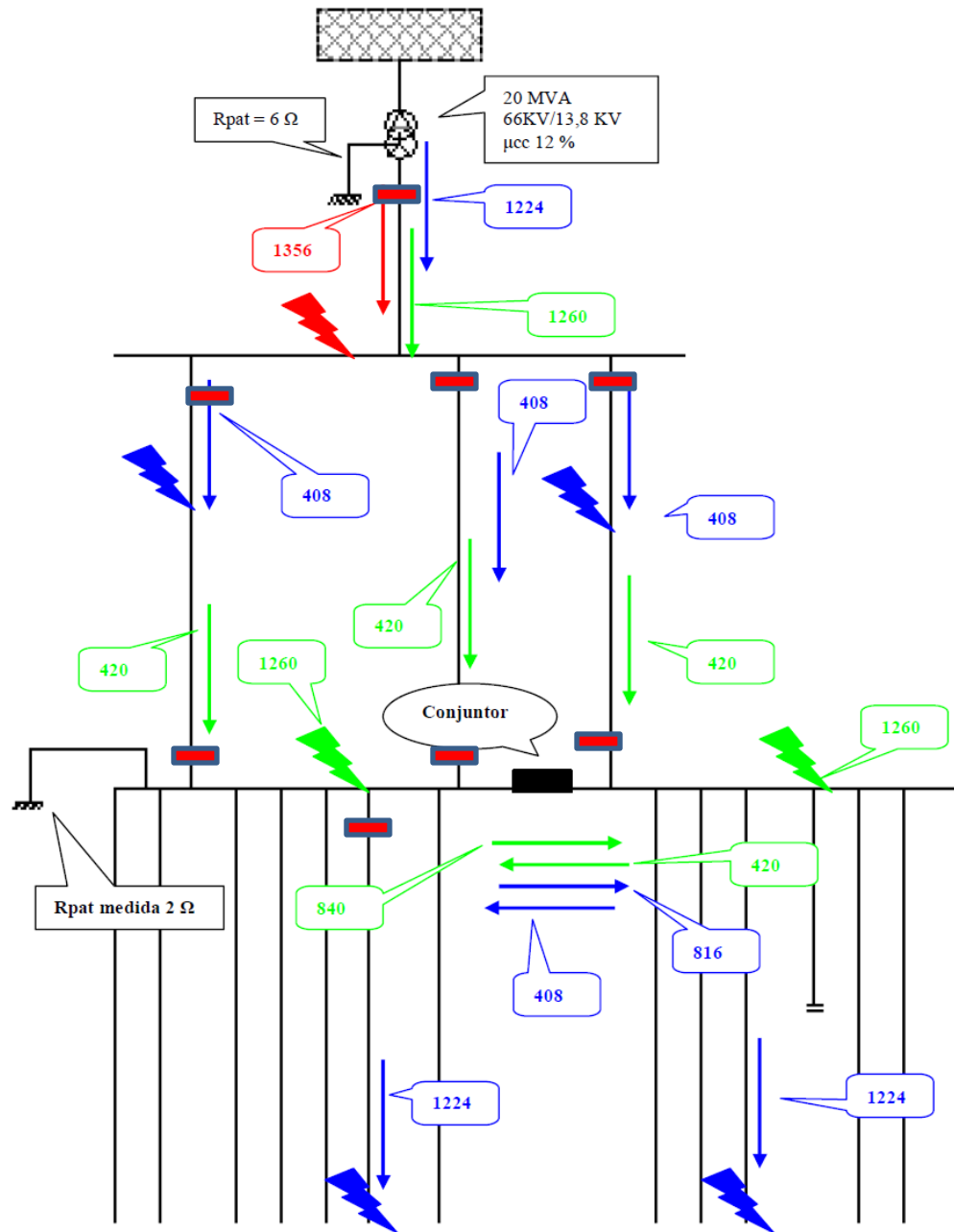
$$Td5 = 310 + 40 + 40 = 390 \text{ mseg}$$

VALORES DE CORRIENTES DE FALLA TRIPOLARES



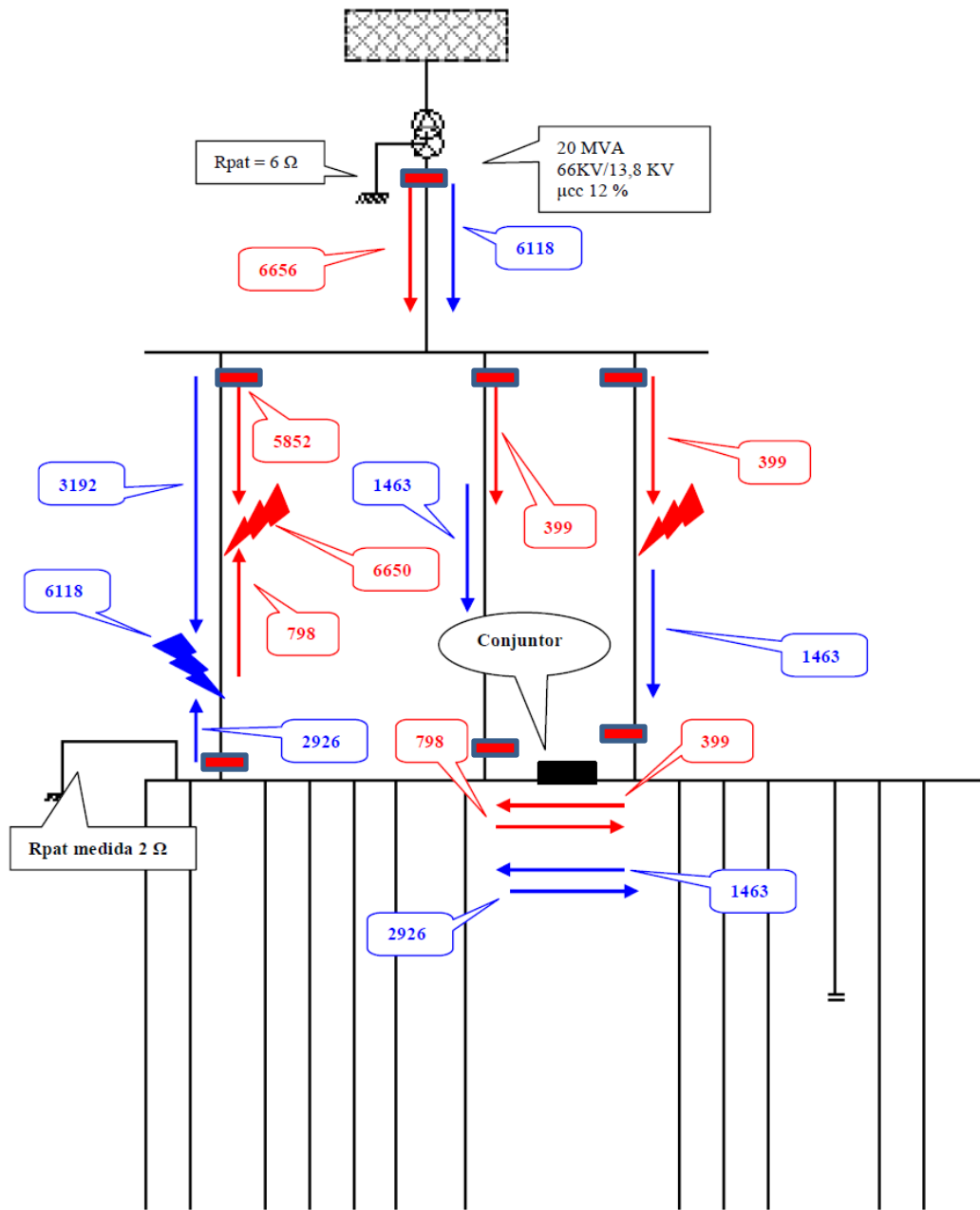
Distancia de ETGC, a falla en CD Villa Hipódromo (verde)
3800 metros.
Distancia a falla azul desde CDVH, entre 1000 y 1200 metros.

VALORES DE CORRIENTES DE FALLA UNIPOLARES



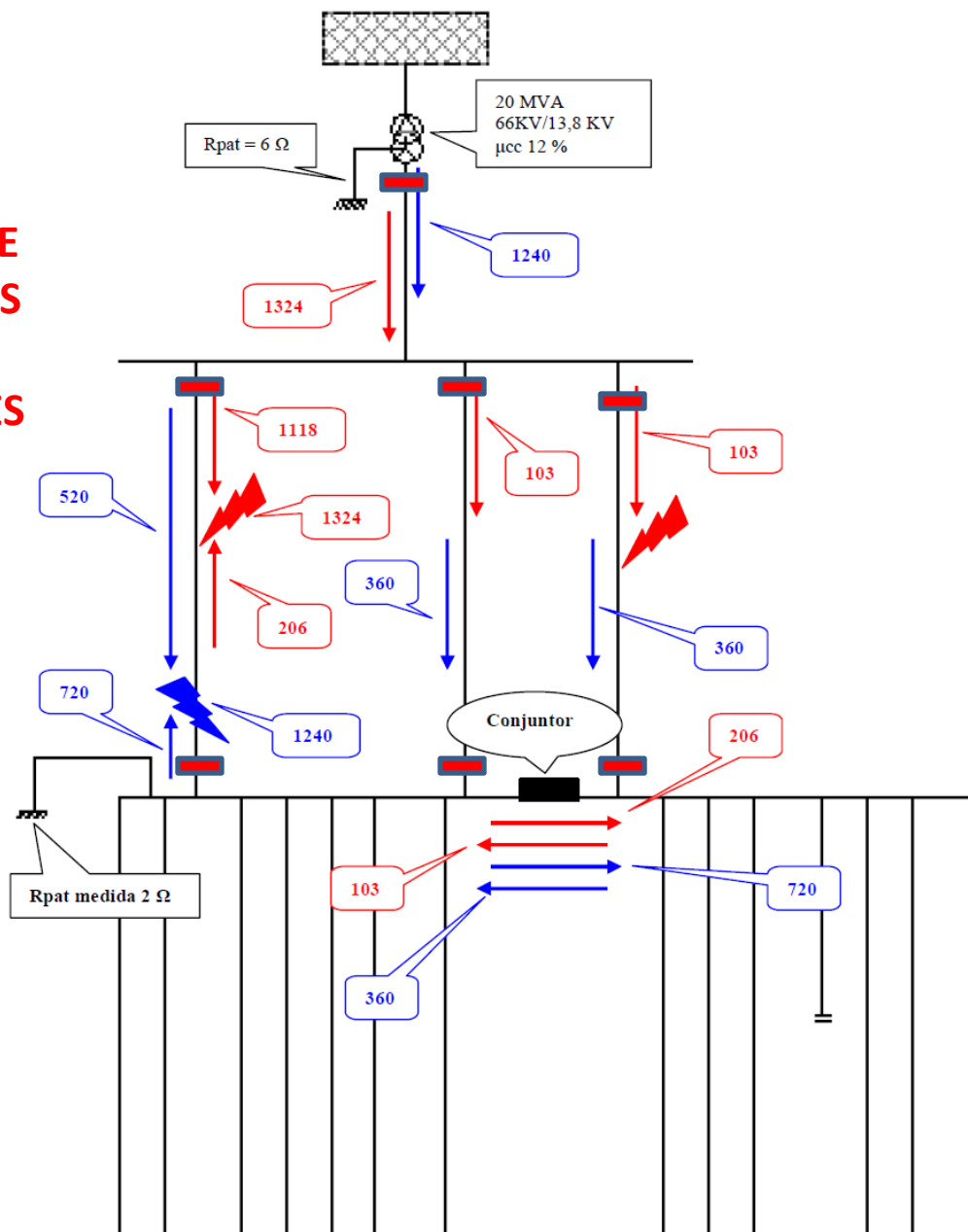
Distancia de ETGC, a falla en CD Villa Hipódromo (verde)
3800 metros.
Distancia a falla azul desde CDVH, entre 1000 y 1200 metros.

VALORES DE CORRIENTES DE FALLA TRIPOLARES



Distancia de ETGC a Falla roja 800 metros.
Distancia a falla azul desde ETGC, 3000 metros.

VALORES DE CORRIENTES DE FALLA UNIPOLARES



Distancia de ETGC a Falla roja 800 metros.
Distancia a falla azul desde ETGC, 3000 metros.

CURVAS DE PROTECCIÓN DE FASES

Elemento	I> (A)	t> (segundos ó TMS)	I>> (A)	t>> (segundos ó TMS)	I>>> (A)	t>>> (segundos ó TMS)
Distribuidor	140	TMS=0,6	800	0,050		
Alimentador en CD VH Aceite Línea de trazos						SE ELIMINA LA BI DIRECCIONALIDAD
Alimentador en CD VH Seco Línea llena						SE ELIMINA LA BI DIRECCIONALIDAD
Alimentador en ET GC Aceite Línea de trazos	300	TMS=1,5	1500	0,350 SE LLEVA A 0,500	Nota 1	
Alimentador en ET GC Seco Línea llena	400	TMS=0,6	1500	0,350 SE LLEVA A 0,500	Nota 2	
Conjuntor	900	TMS=0,8	1000	0,010		
Transformador	1181	TMS=0,15 Kt=0,15	Ver Protección Diferencial del trafo			
I²t según IEEE						
Protección Direccional CAS			200	0,200		Los ángulos se respetan

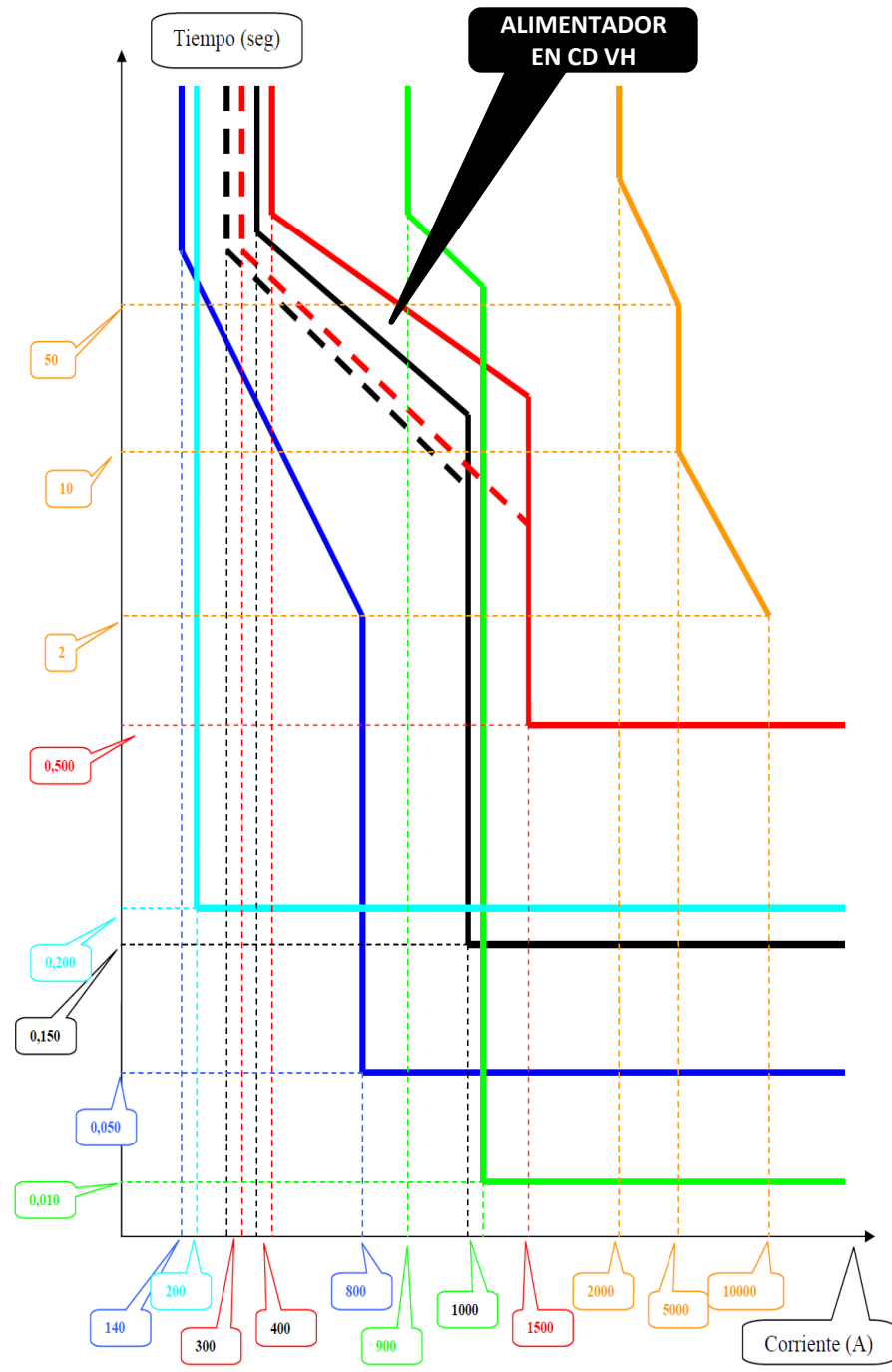
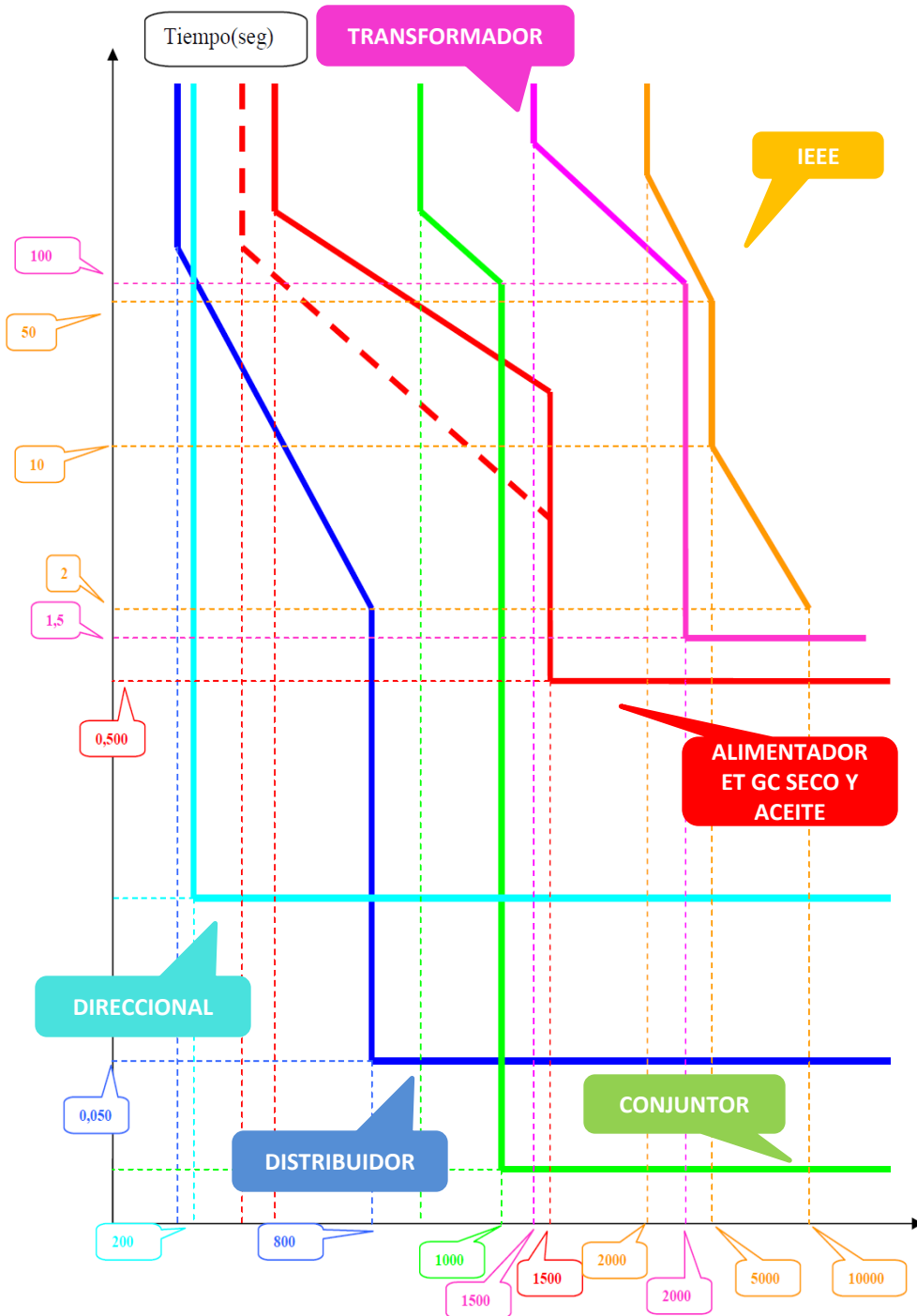
Nota 1: Para el cable aceite se verifica el punto más comprometido que corresponde a los 800 A y debe ser menor a los 20 segundos.

$$1,5 \left(\frac{80}{\left(\frac{800}{300} \right)^2 - 1} \right) = 19,63 \text{ segundos} \quad \text{Verifica}$$

Nota 2: Para el cable seco se verifica el punto más comprometido que corresponde a los 800 A y debe ser menor a los 28 segundos.

$$0,6 \left(\frac{80}{\left(\frac{800}{400} \right)^2 - 1} \right) = 16 \text{ segundos} \quad \text{Verifica}$$

ganan 100 milisegundos para el disparo entre distribuidor y alimentador y se protege idénticamente al cable.



CURVAS DE PROTECCIÓN DE TIERRA

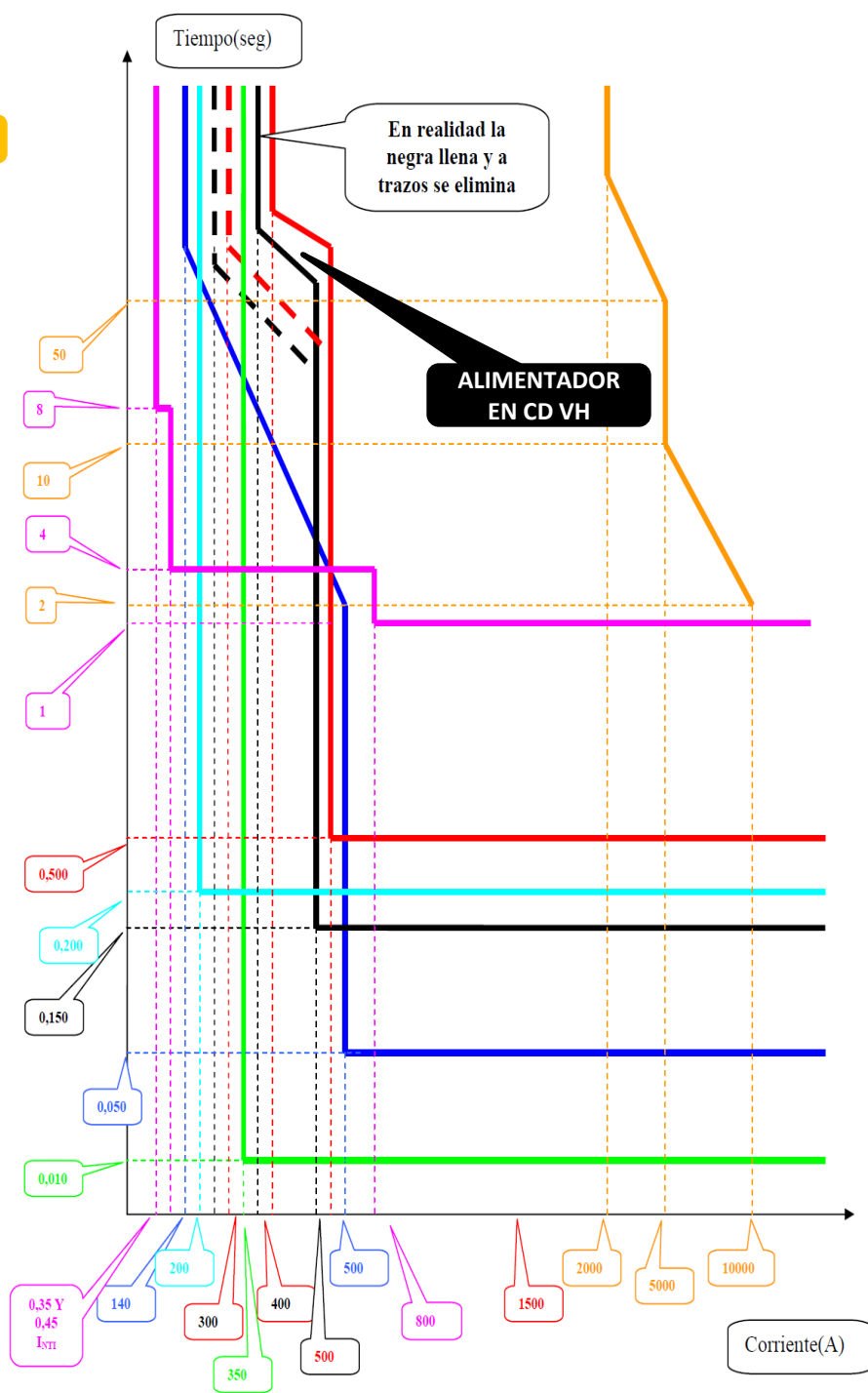
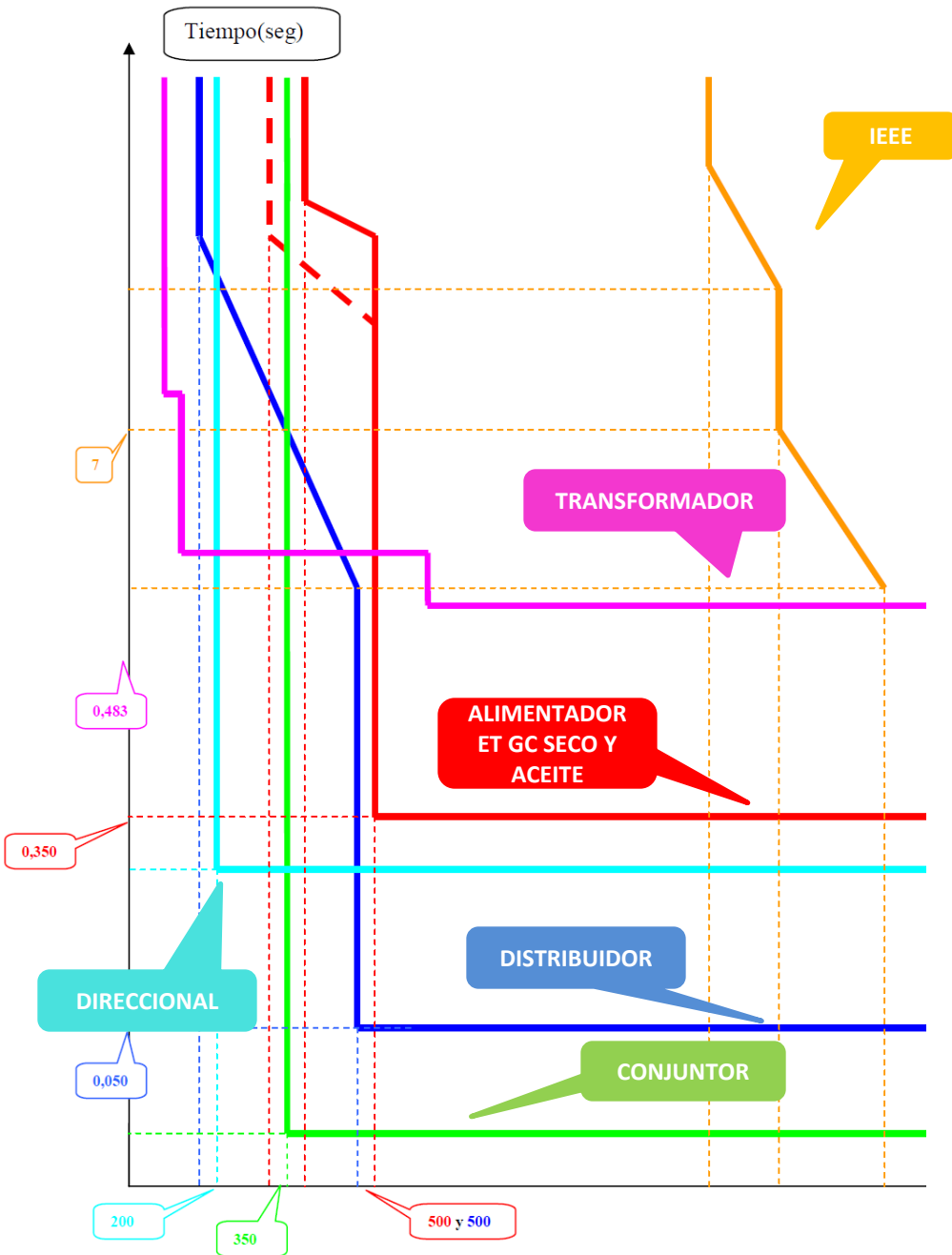
Elemento	$I_0 >$ (A)	$t_0 >$ (segundos ó TMS)	$I_0 >>$ (A)	$t_0 >>$ (segundos ó TMS)	$I_0 >>>$ (A)	$t_0 >>>$ (segundos ó TMS)
Distribuidor	140	TMS=0,6	500	0,050		
Alimentador en CD VH Aceite Línea de trazos						SE ELIMINA LA BIDIRECCIONALIDAD
Alimentador en CD VH Seco Línea llena						SE ELIMINA LA BIDIRECCIONALIDAD
Alimentador en ET GC Aceite Línea de trazos	300	TMS=1,5	500	0,350 SE LLEVA A 0,500	Nota 1	
Alimentador en ET GC Seco Línea llena	400	TMS=0,6	500	0,350 SE LLEVA A 0,500	Nota 1	
Conjuntor	300 SE LLEVA A 350	0,010				
Transformador	0,350 I_{NTI}	8	0,450 I_{NTI}	4	0,900 I_{NTI}	1
I^2t según IEEE						
Protección Direccional CAS			200 SE LLEVA A 100	0,200		Los ángulos se respetan

Nota 1: Para la protección de la pantalla del cable, hay que tener en cuenta que una de 6 mm², resiste 15 A en forma permanente, cientos de amperes durante 2 ó 3 segundos y de 2000 a 3000 A durante 200 milisegundos. Esto lleva a considerar que para su mejor protección se podría considerar una curva Estándar Inversa del siguiente tipo para corrientes de hasta 800 A, luego hay que setear con una de Tiempo Definido a 800 A, 100 milisegundos.

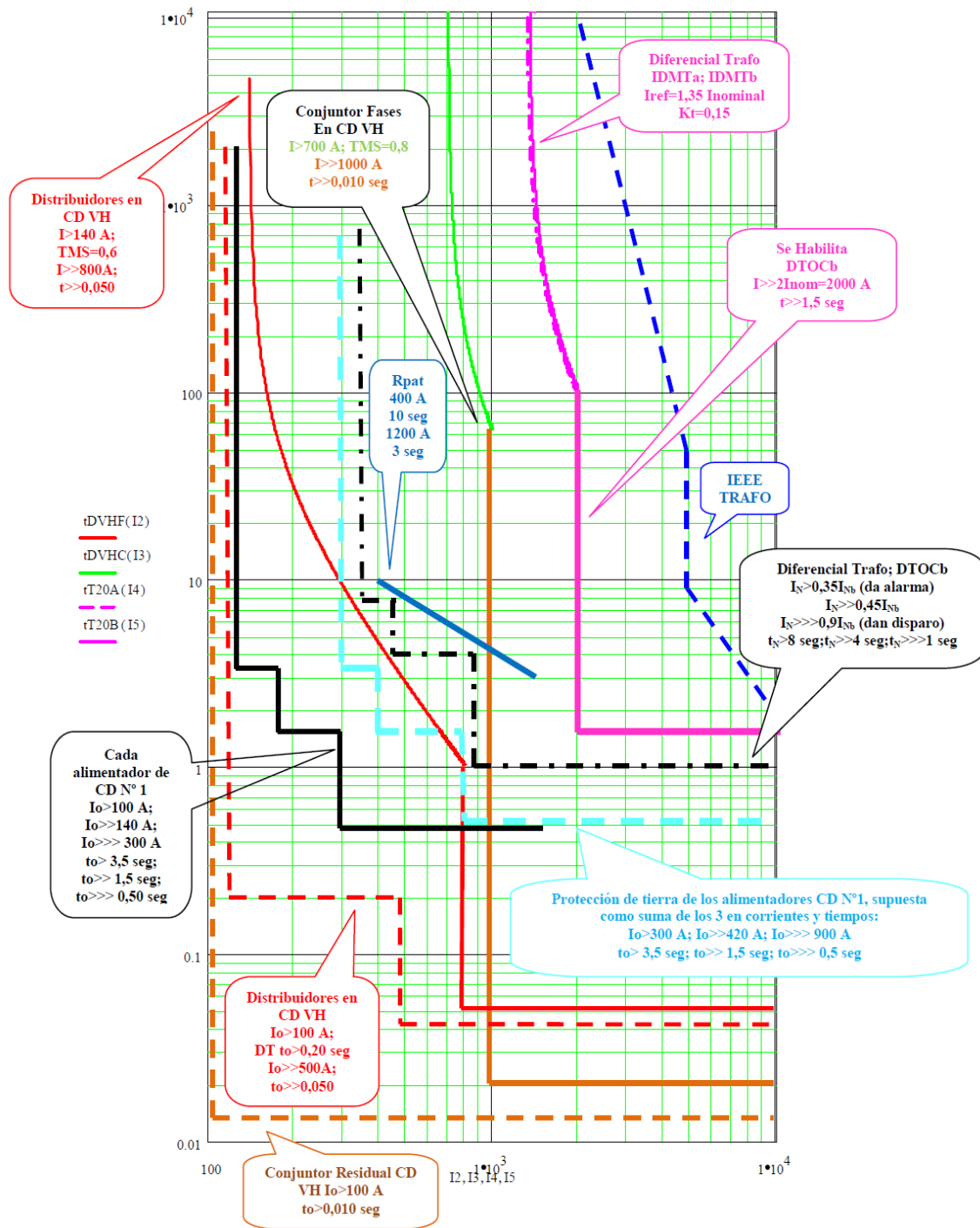
$$1,5 \left(\frac{0,14}{\left(\frac{300}{15} \right)^{0,02} - 1} \right) = 3,40 \text{ segundos} \quad 0,05 \left(\frac{0,14}{\left(\frac{300}{15} \right)^{0,02} - 1} \right) = 0,113 \text{ segundos}$$

$$1,5 \left(\frac{0,14}{\left(\frac{800}{15} \right)^{0,02} - 1} \right) = 2,53 \text{ segundos} \quad 0,05 \left(\frac{0,14}{\left(\frac{800}{15} \right)^{0,02} - 1} \right) = 0,084 \text{ segundos}$$

Evidentemente a menor TMS, menor tiempo de disparo



Nota 3: Se podría eliminar la función de protección bidireccional de los relés de CD VH (Curva negra), protegiendo el cable solo desde ET GC (Curva roja), se ganan 300 milisegundos para el disparo entre distribuidor y alimentador y se protege idénticamente al cable.



MUCHAS GRACIAS

PROF. ING. ROBERTO CAMPOY