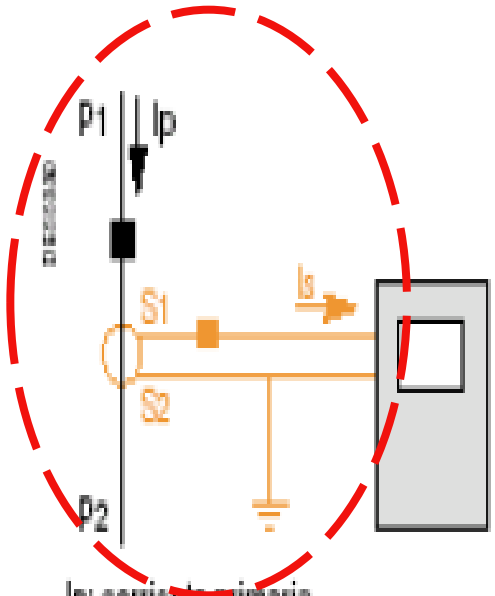
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y DE TENSIÓN

DETECCIÓN DE TENSIÓN Y CORRIENTE

Medición de corriente



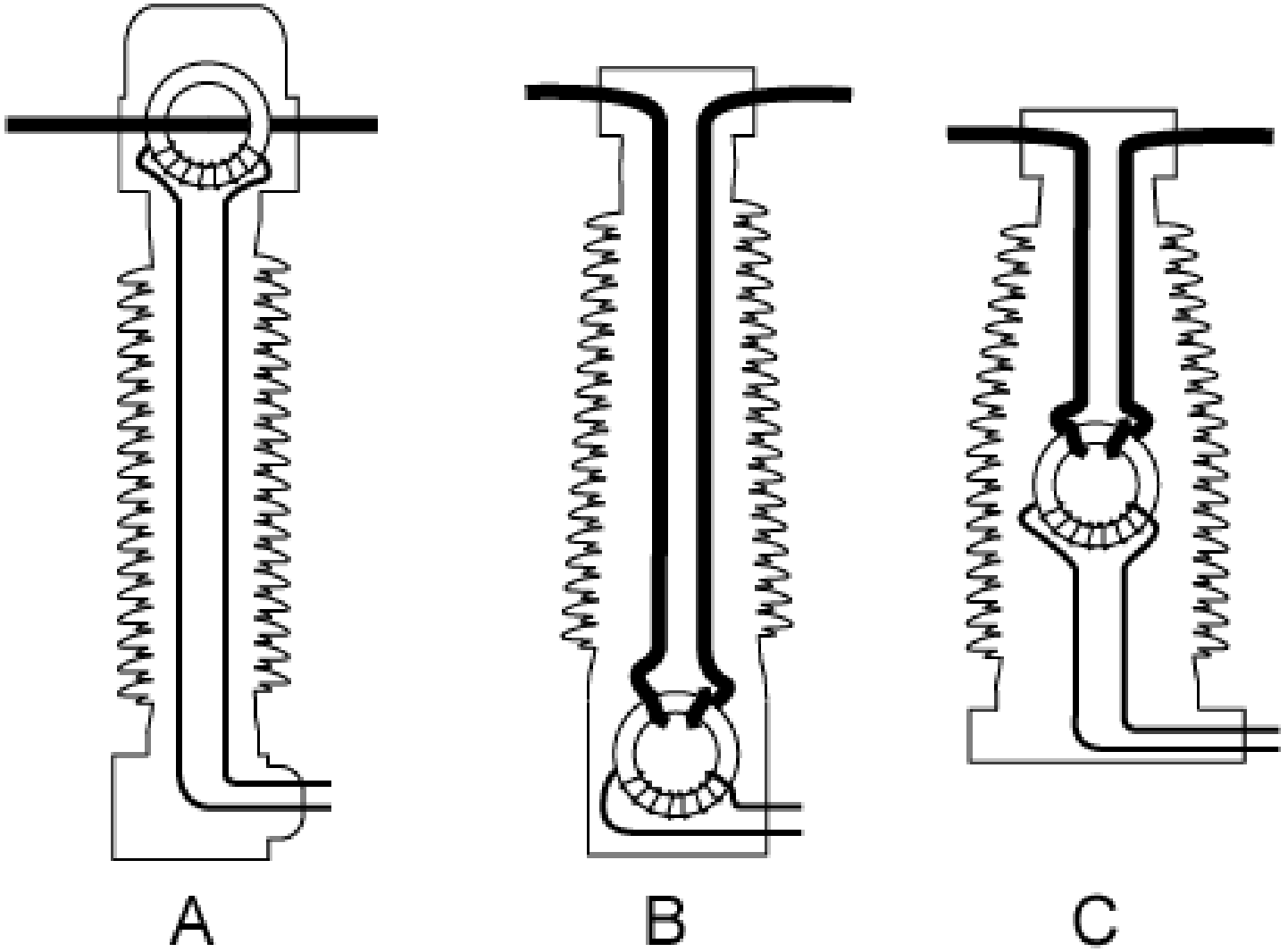
Ip: corriente primaria.
Is: corriente secundaria (proporcional a Ip y en fase).

Transformador de intensidad.

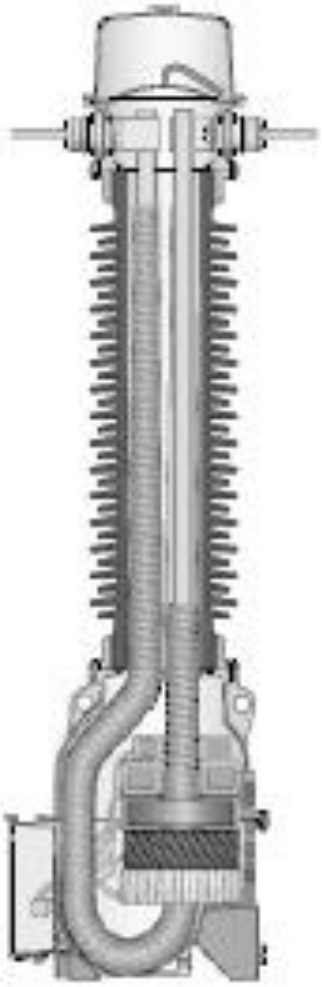
El transformador de intensidad está constituido por dos circuitos, el primario y el secundario, acoplados por un circuito magnético. Cuando hay cierto número de espiras en el circuito primario, el transformador es de tipo primario devanado.

Cuando el primario es un conductor único que va a través de un sensor, el transformador puede ser de tipo primario barra (primario integrado constituido por una barra de cobre), de tipo soporte (primario formado por un conductor sin aislar de la instalación) o de tipo toroidal (primario hecho de un cable sin aislar de la instalación).

Tipos y modelos constructivos de transformadores. Convencionales.



Cabello pasante

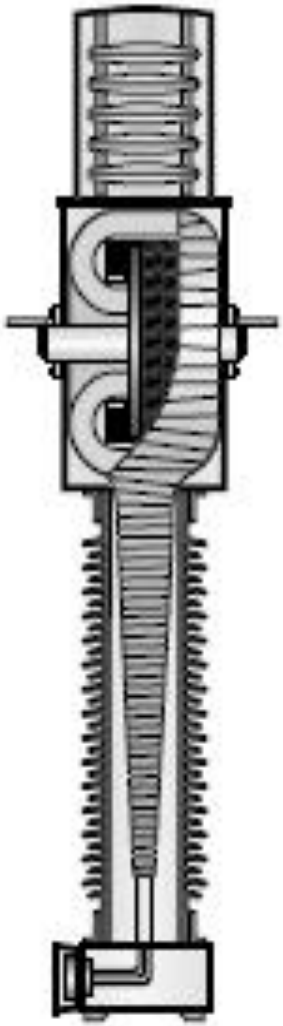


Hair-pin / Tank type

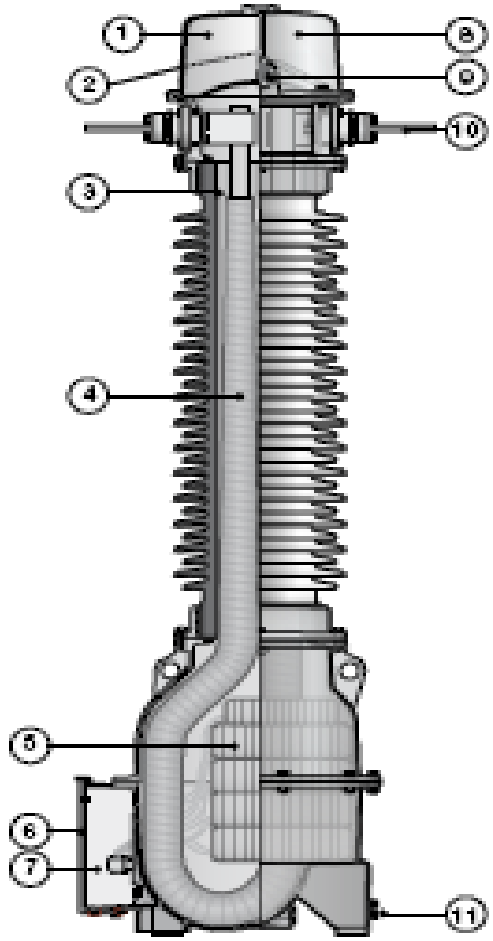
Ojo-ventana

Eye-bolt

Núcleo superior



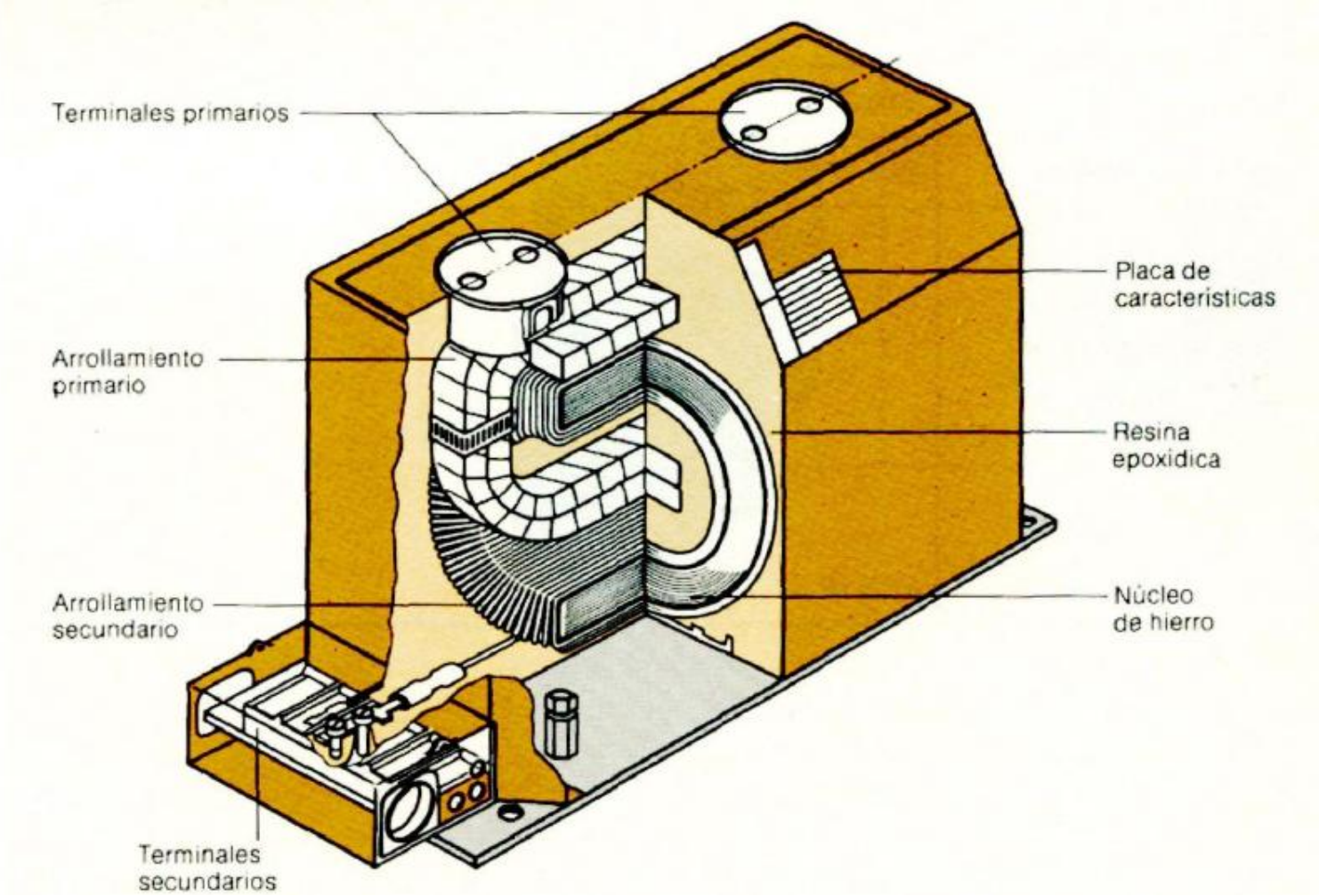
Top-core



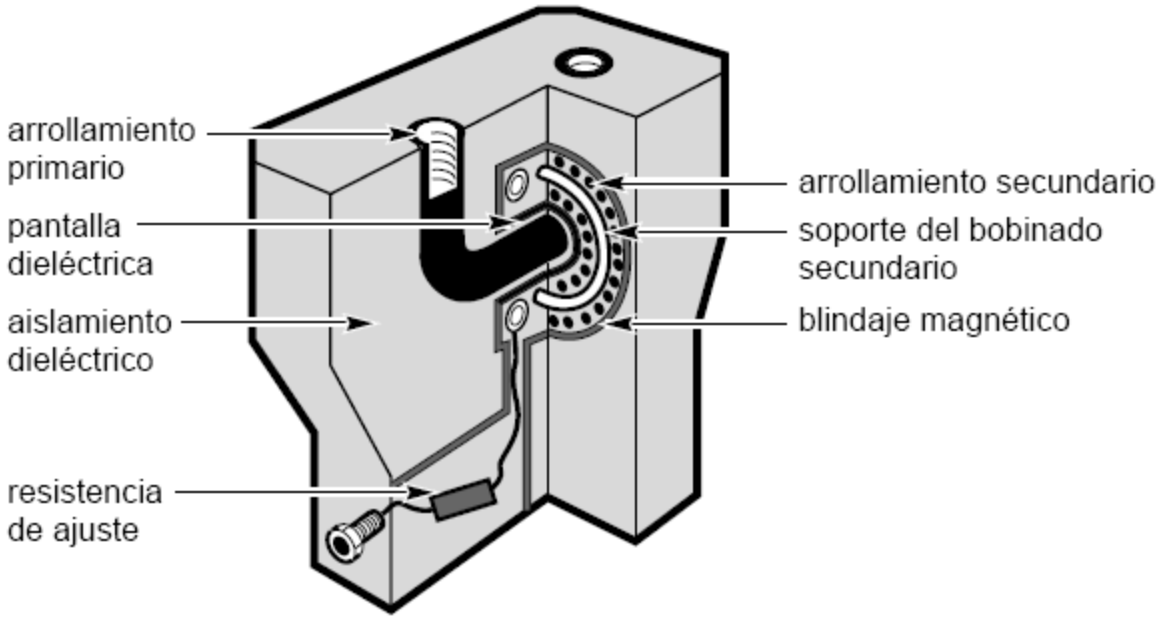
Current Transformer Type IMB

1. Gas cushion
2. Oil filling unit (hidden)
3. Quartz filling
4. Paper-insulated primary conductor
5. Cores/secondary windings
6. Secondary terminal box
7. Capacitive voltage tap (on request)
8. Expansion vessel
9. Oil sight glass
10. Primary terminal
11. Ground terminal

Tipos y modelos constructivos de transformadores. Convencionales.



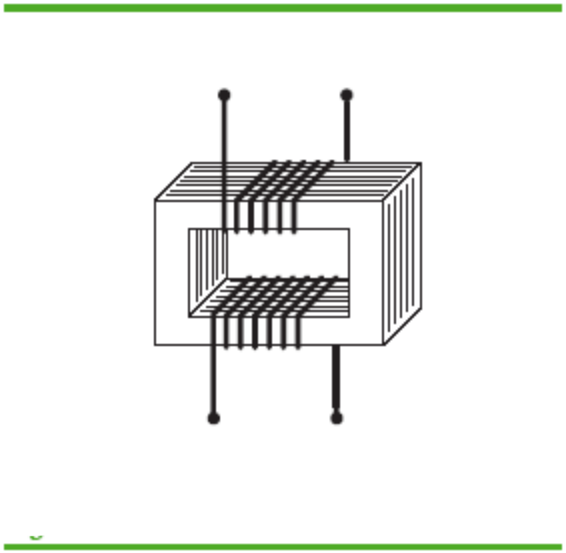
Tipos y modelos constructivos de transformadores. Captor.

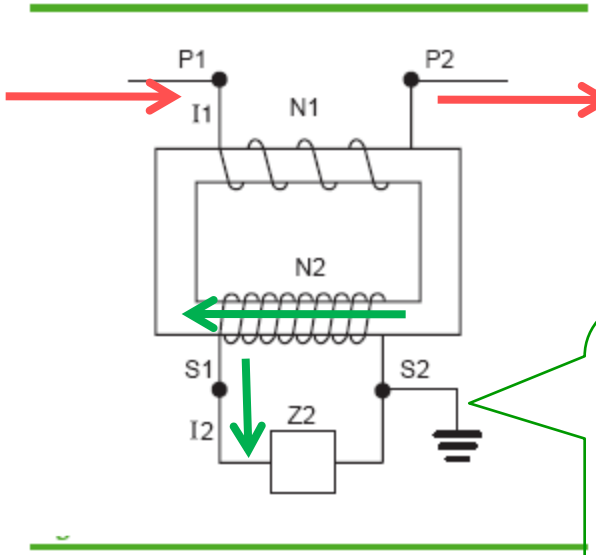


Corte de un captador CS para AT-A.

Tipos y modelos constructivos de transformadores

- Con núcleo magnético y arrollamientos primarios y secundarios.
- En general son monofásicos.

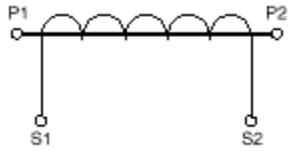


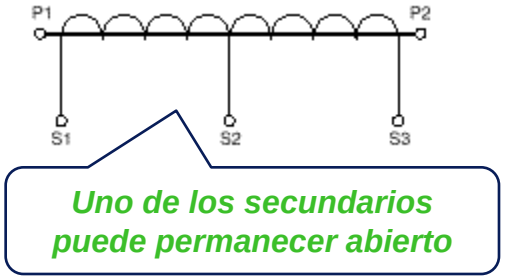


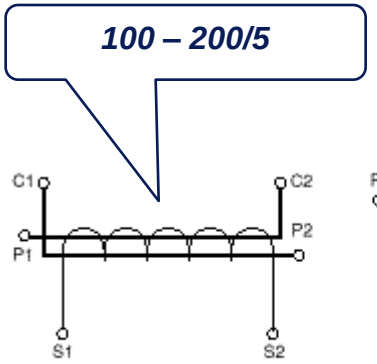
No está normado pero el punto que generalmente se conecta a tierra es el otro del homólogo

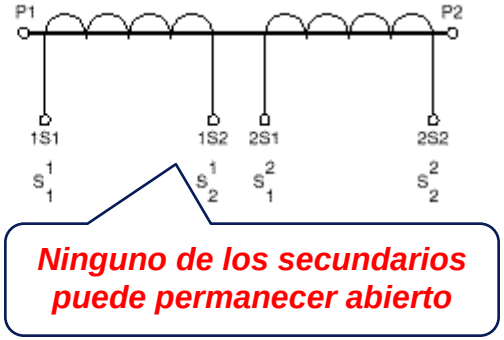
Las marcas de los bornes identifican

- Los arrollamientos primario y secundario.
- Las secciones de cada arrollamiento, cuando estén divididos en secciones.
- Los bornes de cada arrollamiento, cuando estén divididos en secciones.
- Las polaridades relativas de los arrollamientos y de las secciones de los arrollamientos.
- Las tomas intermedias, si existen.

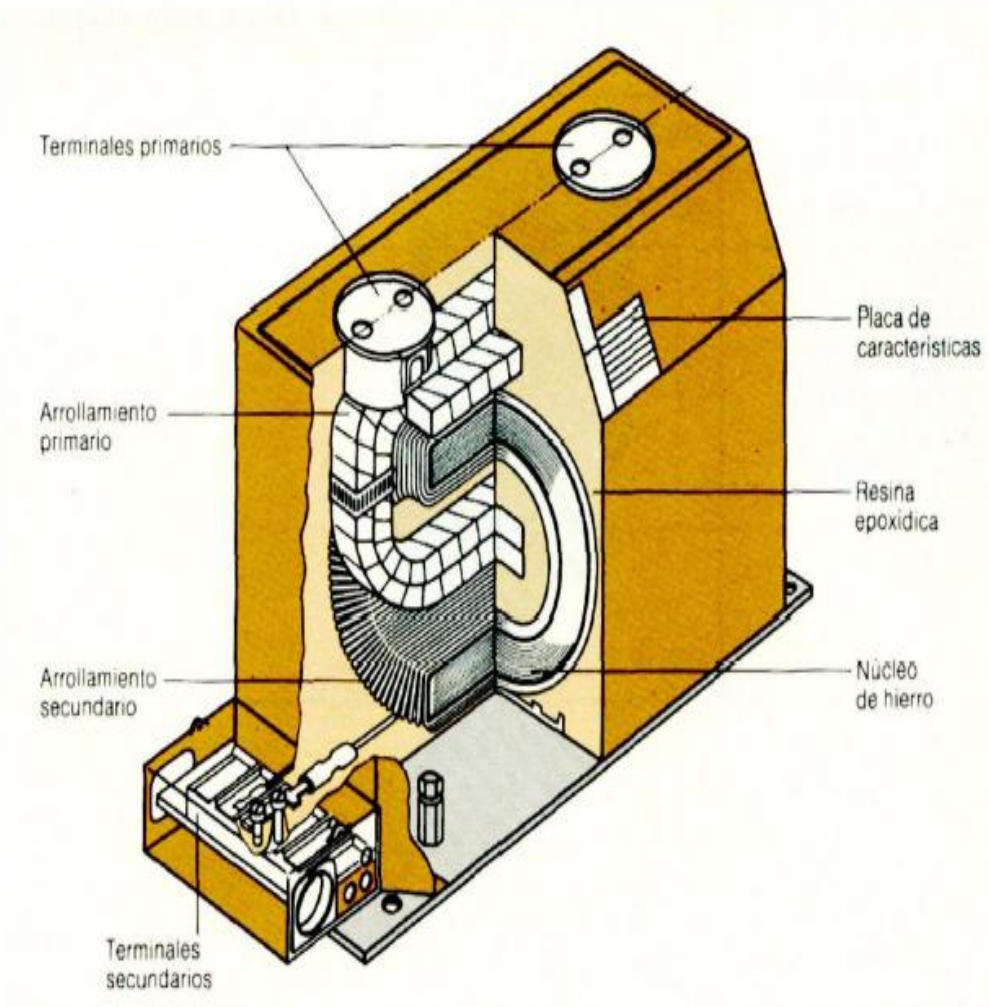


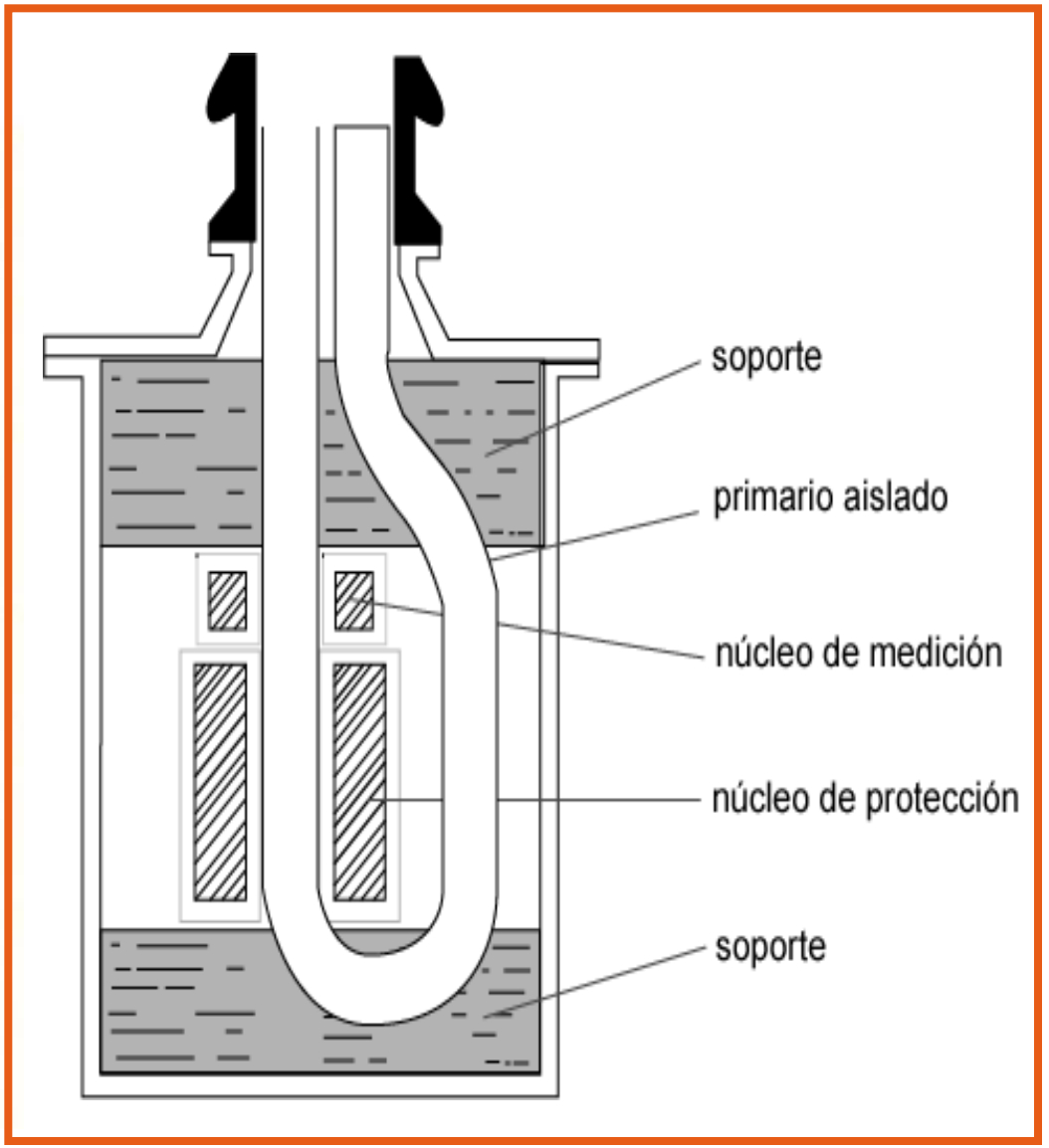




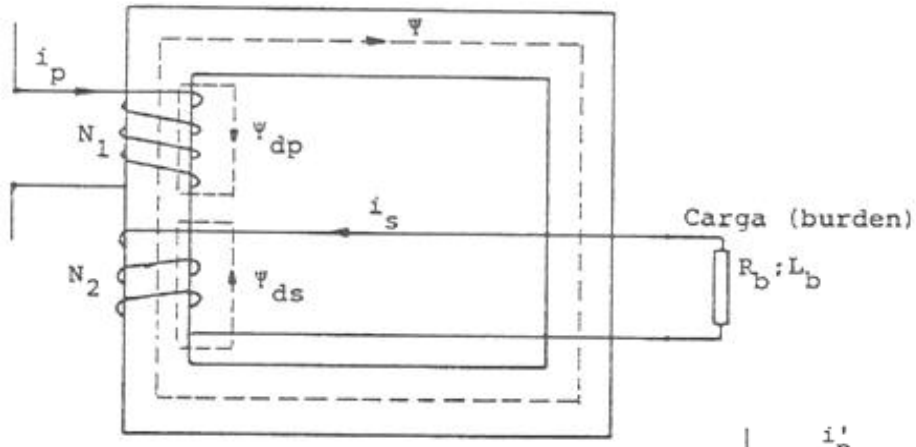


TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD





CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TI



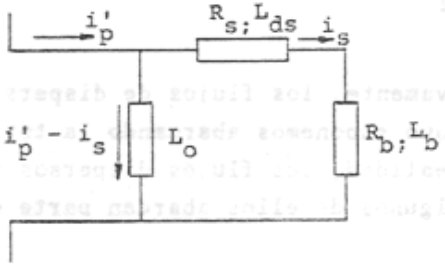


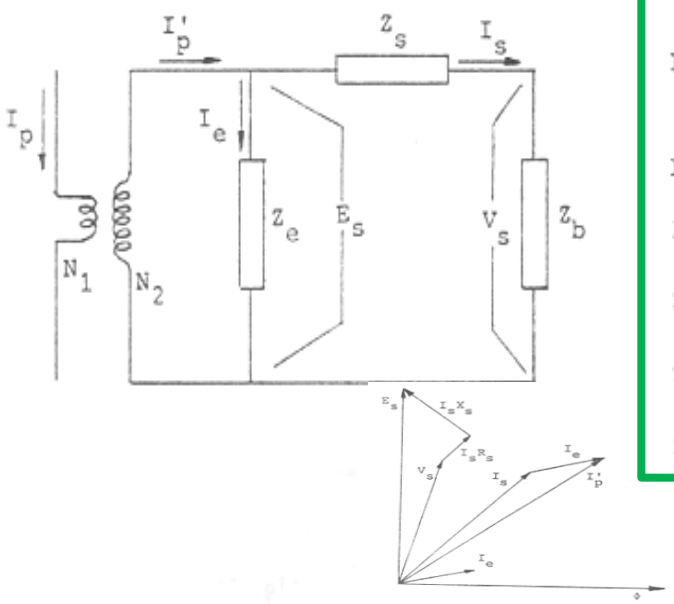
fig. 6

Con el sentido de corrientes adoptado:

$$i_p N_1 - i_s N_2 = \Psi \mathcal{R} \qquad (1)$$

Ψ_{dp} y Ψ_{ds} son, respectivamente, los flujos de dispersión equivalentes primarios y secundarios, que suponemos abarcando la totalidad de las espiras en cada caso. En la realidad, los flujos dispersos adoptan distintos caminos, de modo que algunos de ellos abarcan parte de las espiras.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TI



I_p: corriente primaria

$I'_p = I_p \frac{N_1}{N_2}$: corriente primaria ref. al secundario

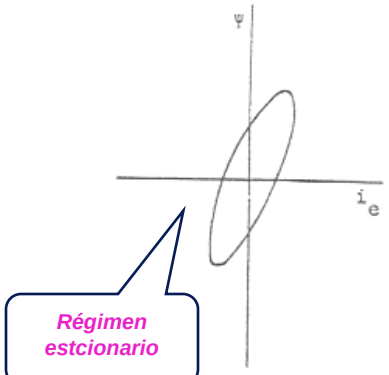
I_s: corriente secundaria

I_e: corriente de excitación (magnetizante)

Z_s: impedancia del arrollamiento secundario

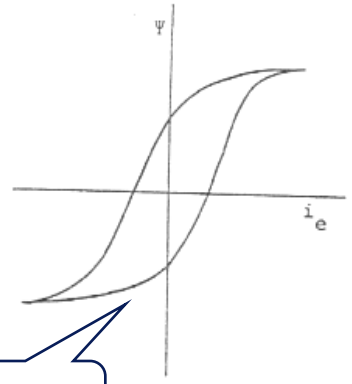
Z_e: impedancia de magnetización

Z_b: impedancia de la carga



Régimen estcionario

fig. 9



Régimen con posible saturación

fig. 10

En la práctica, por lo menos en T.C. con núcleo ferromagnético, el núcleo tiene un comportamiento no lineal y, si consideramos valores instantáneos, el flujo es función de la corriente de excitación $i_e = i'_p - i_s$, describiendo en régimen estacionario un ciclo de histéresis como el de la fig. 9. En caso que se produzca saturación el lazo podrá ser como el de la fig. 10.

Siempre en régimen estacionario, se podría graficar el valor eficaz del flujo en función del valor eficaz de la corriente de excitación, resultando una curva como por ejemplo la de la fig. 11.

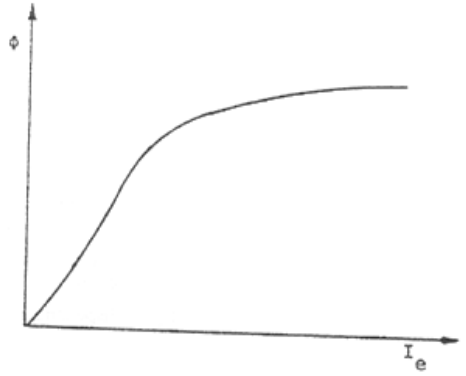
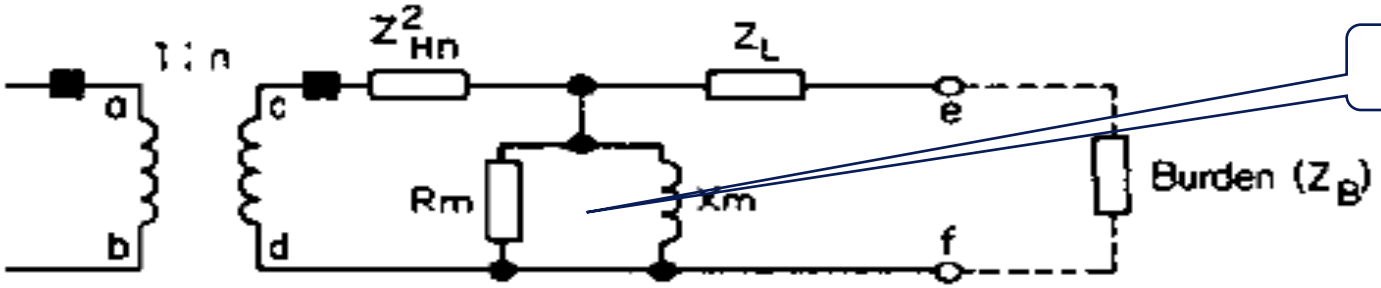


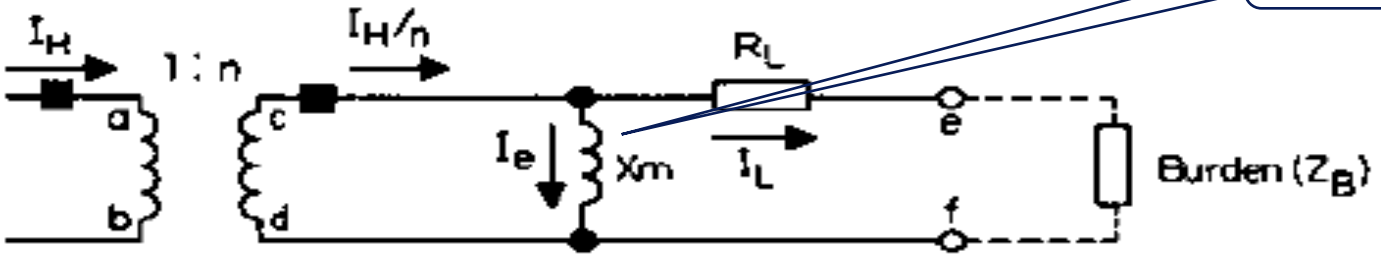
fig. 11

CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TI



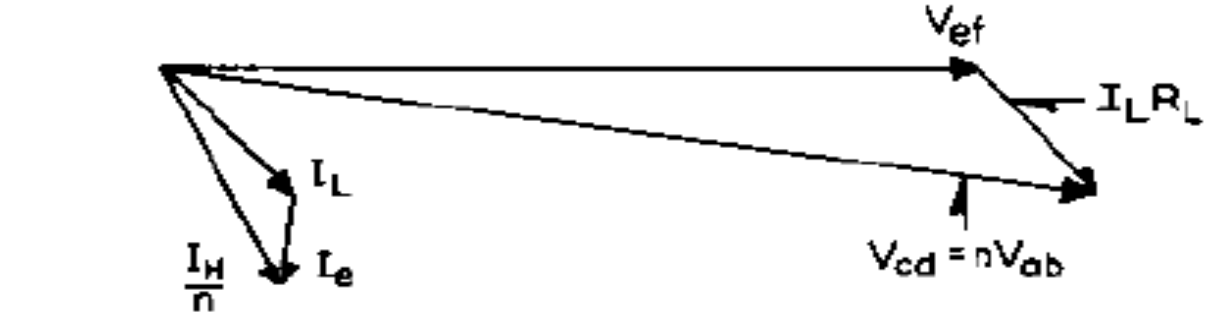
a)

PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO



b)

CORRIENTE DE EXCITACIÓN



c)

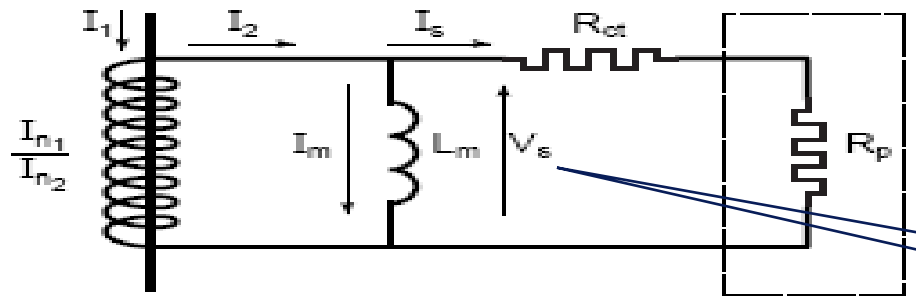
DIAGRAMA VECTORIAL CON UNA CAÍDA DE TENSIÓN REPRESENTADA MAGNIFICADA

Ie ATRASA 90º RESPECTO A Vcd, Y ES LA FUENTE DE ERROR

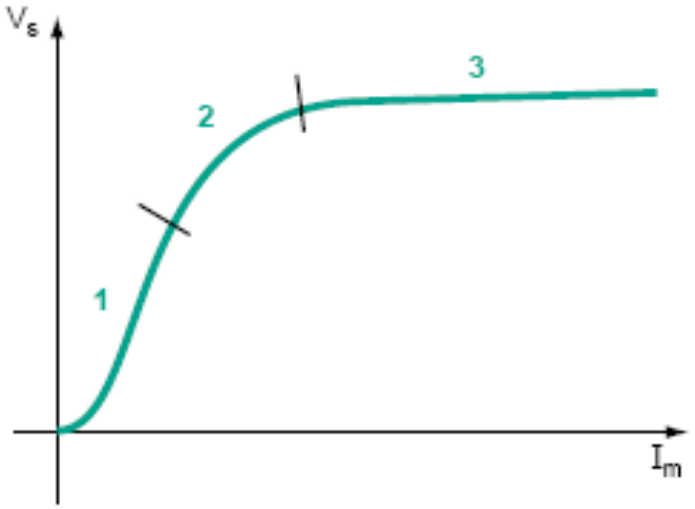
Curva características de un TC

Esquema equivalente de un TC (figura 2)

- Razón del TC: $\frac{I_{n1}}{I_{n2}}$,
- L_m: autoinducción de magnetización (saturable) equivalente de un TC,
- I_m: corriente magnetizante,
- I_1: intensidad primaria,
- I_2: intensidad secundaria que corresponde a un TC perfecto, o sea: $I_2 = I_1 \frac{I_{n2}}{I_{n1}}$
- I_s: intensidad secundaria que realmente circula por el secundario del TC: $\overline{I_2} = \overline{I_s} + \overline{I_m}$.



Esquema equivalente de un TC.



1 - Zona no saturada
2 - Zona intermedia
3 - Zona saturada

Curva de magnetización (de excitación) $V_s = f(I_m)$ de un TC.

ESTA CAÍDA DE TENSIÓN ES LA QUE SE UTILIZA PARA ALIMENTAR CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DE BAJO CONSUMO

CARACTERÍSTICA DE MAGNETIZACIÓN

La característica de magnetización es una curva ensayos, que representa el valor eficaz de la $f.e.$ estado estacionario, en función del valor eficaz excitación (I_e).

Para una dada frecuencia y temperatura de ensayo única curva, esta curva es entregada por el f logarítmica en ambos ejes y puede dividirse en tres z

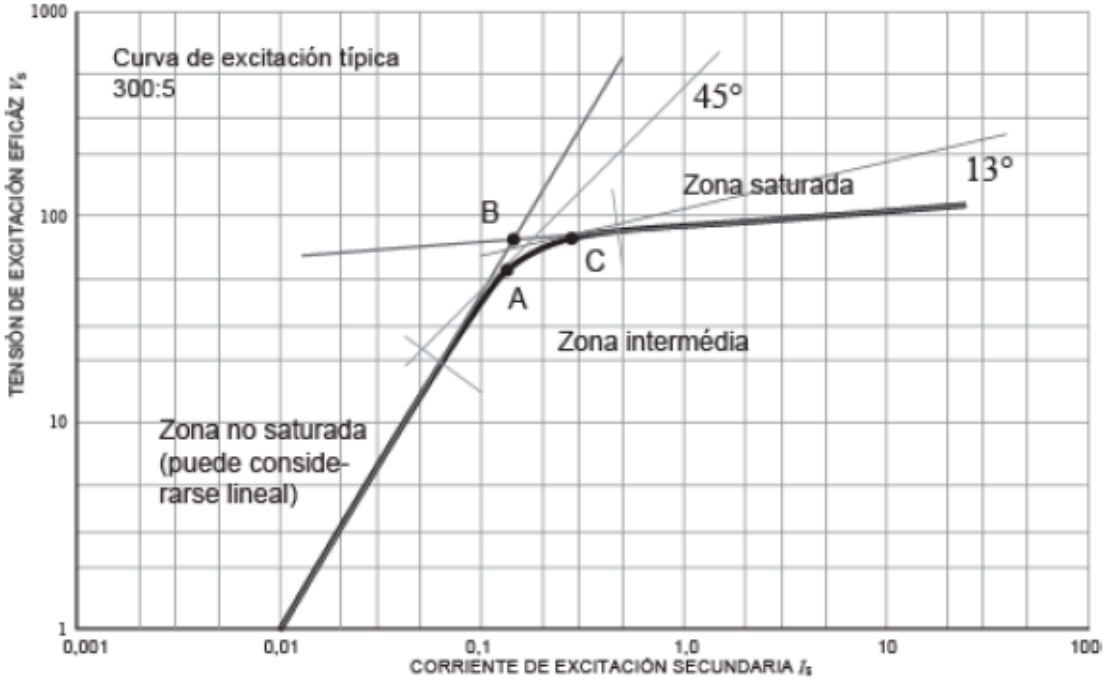


Figura (I-18) - Curva de magnetización caracteristica con sus zonas marcadas.

- Zona no saturada: Aquí la corriente de excitación es muy pequeña, puede considerarse que I_s varía proporcionalmente a la corriente de primario.
- Zona intermedia: Es la zona de transición entre la región considerada lineal y la no lineal. No existe un punto de quiebre real ya que cada norma toma un criterio diferente para su definición.
- Zona saturada: Aquí la curva es prácticamente horizontal, la corriente de excitación toma valores mayores y se distorsiona debido a la acentuada no linealidad del núcleo, lo que resulta en una reproducción errónea y distorsionada de la corriente de primario.

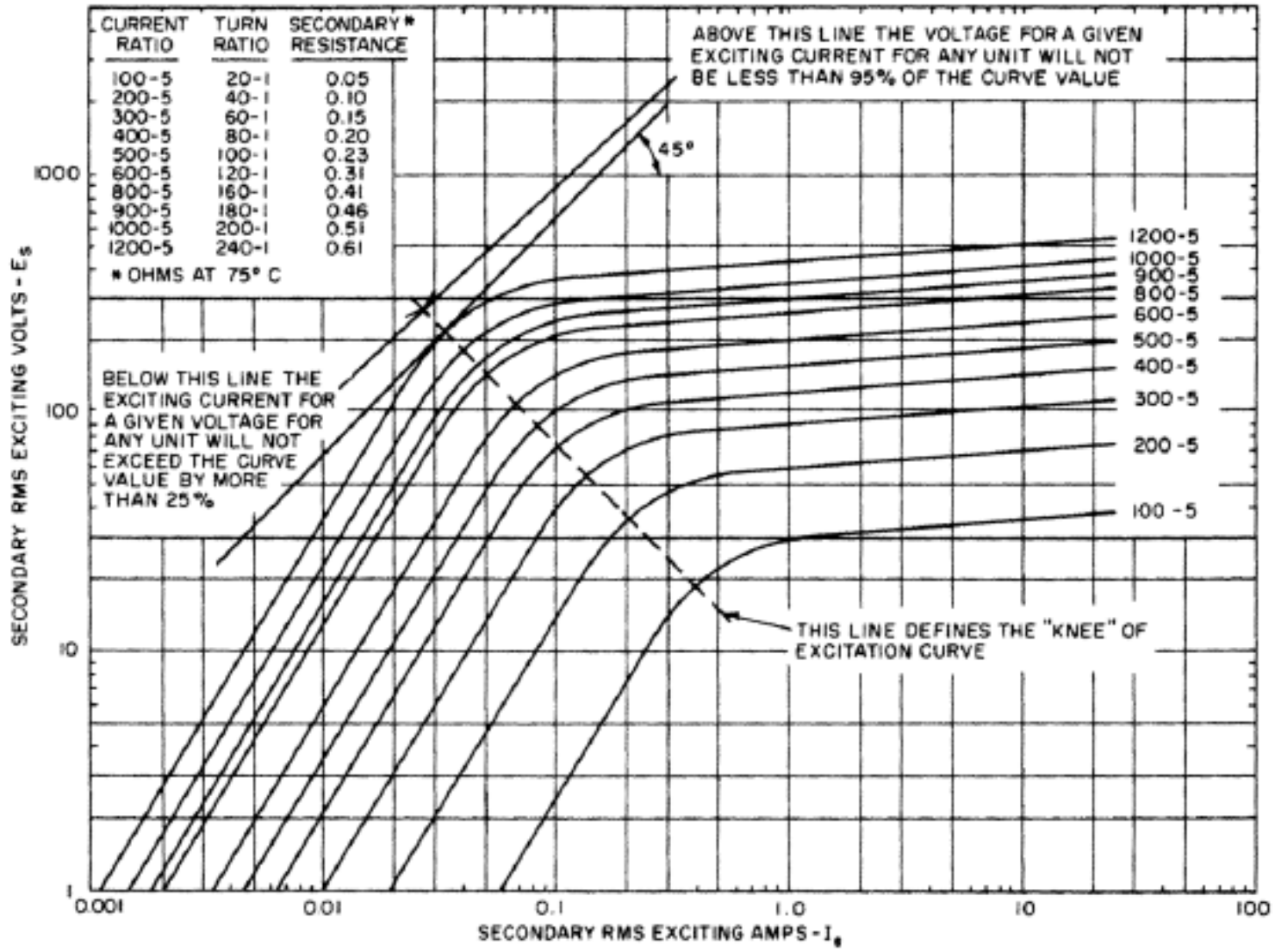


Figura (I-19) – Curva de magnetización típica de un T.C. con distintas relaciones clase C.

Respuesta de TI en estado saturado

Cuando está sometido a una corriente primaria muy alta, el TI se satura. La corriente secundaria ya no es proporcional a la corriente primaria. El error de corriente que corresponde a la corriente de magnetización aumenta de manera significativa.

Tensión de codo (fig. 33) : Es el punto en la curva de magnetización del transformador de intensidad en la que un aumento del 10% en la tensión E requiere un aumento del 50% en la corriente de magnetización Im.

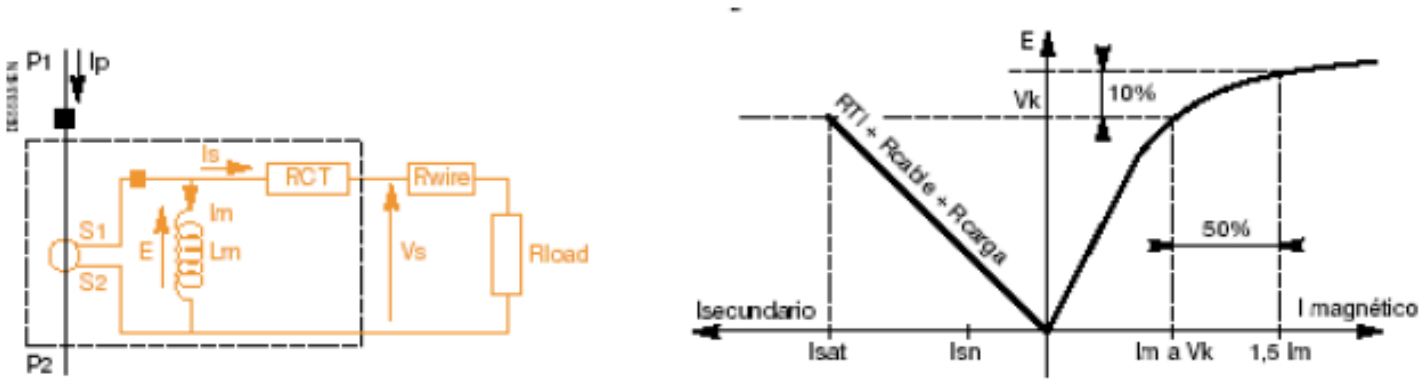


Fig. 33. Esquema equivalente de una corriente secundaria de TI... y una curva de magnetización de TI.

El secundario del TI cumple la ecuación:

(RTI + Rcarga + Rcable) • FLP • Isn_2 < V límite (según se establezca, por error o por tensión de codo)

donde:
Isn = corriente secundaria nominal.

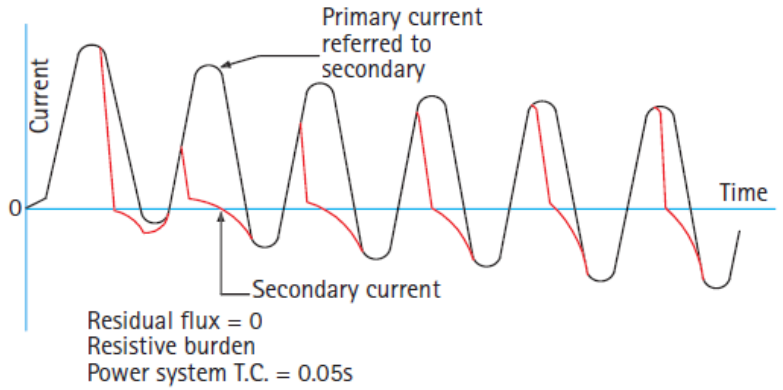
FLP = factor de límite de precisión: indica la sobrecorriente para la cual se alcanza el límite de error
Isat = FLP • Isn.

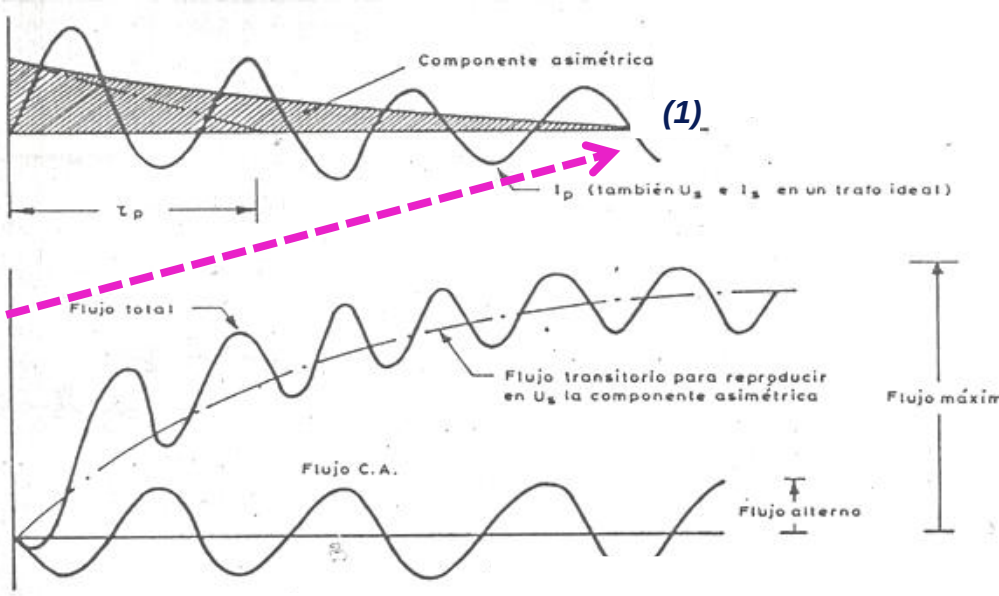
La corriente de cortocircuito es máxima cuando la tensión pasa por cero y mínima cuando la tensión pasa por el máximo, al momento de producirse la falla, lo que indica que hay componente de contínua en el primer caso y esto se produce siempre.

El flujo alterno sería único si no hubiera componente de corriente contínua.

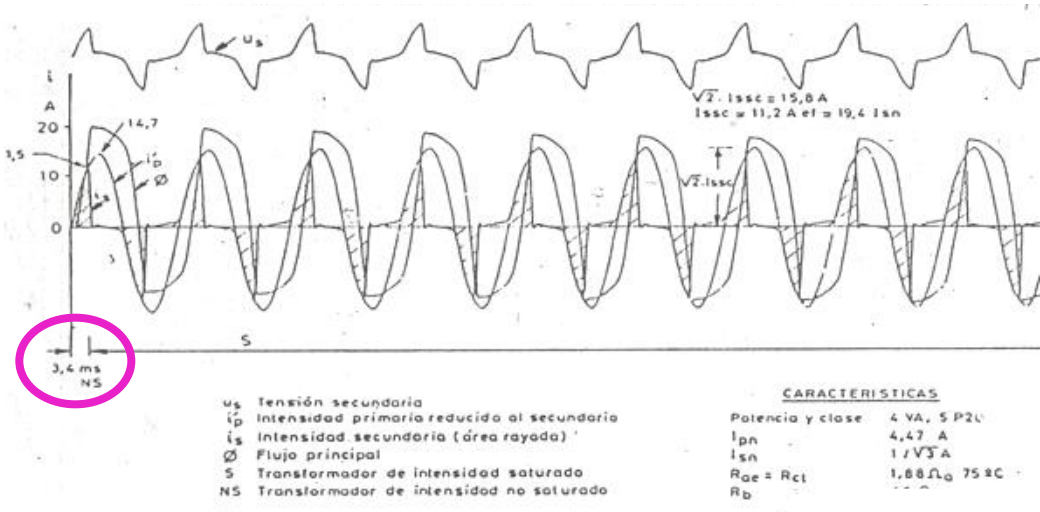
Si la impedancia de magnetización fuera infinita, la cte de tiempo del circuito llegaría a (1), pero como no es así, la componente asimétrica de la corriente secundaria es menor a la primaria en la cantidad absorbida por la corriente de magnetización.(*a >Zo > Io y la componente asimétrica de Is es < Ip*).

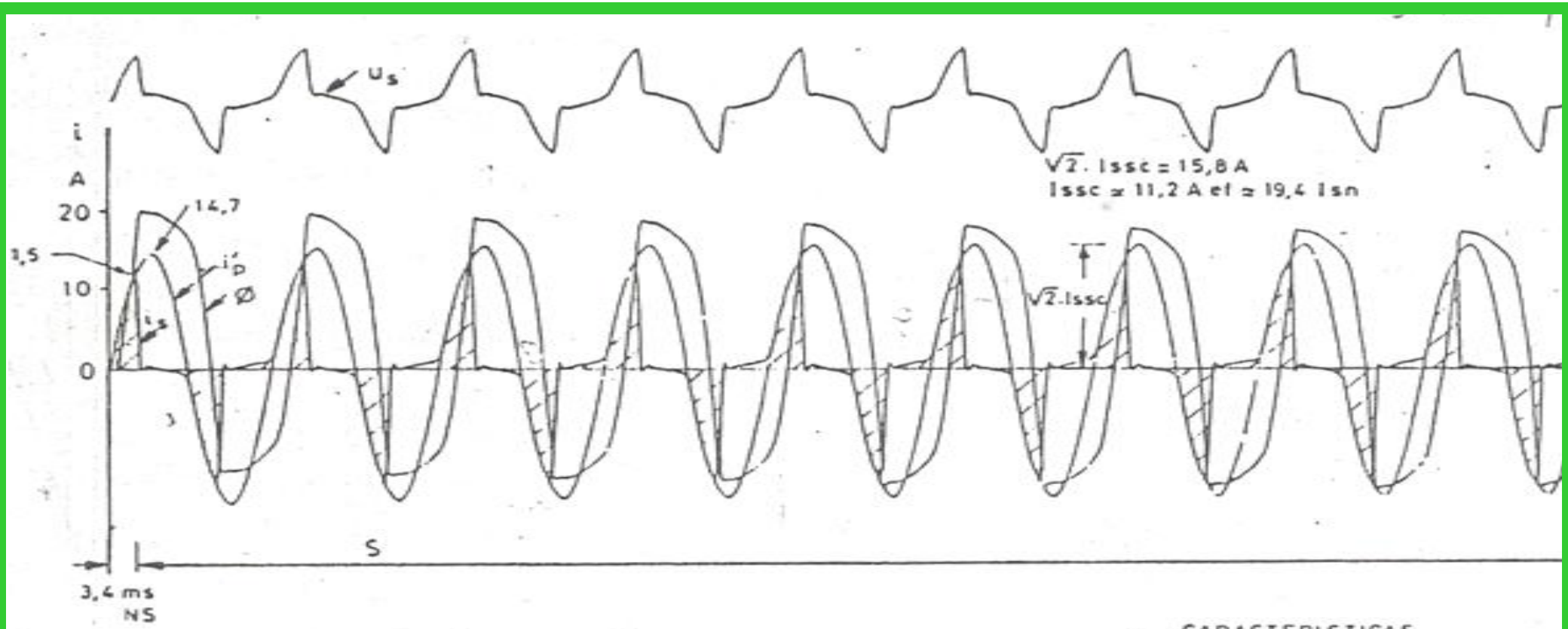
Entonces la corriente diferencial en estado transitorio y estable, puede presentar una componente aperiódica con una cte de tiempo de aproximadamente un segundo, en el cual su valor es varias veces mayor al de su estado estable. Además durante aproximadamente 5 milisegundos, no hay saturación y la corriente diferencial mantiene su valor y después de los 5 milisegundos sí se produce el pico.





Comportamiento de un transformador ideal y saturado

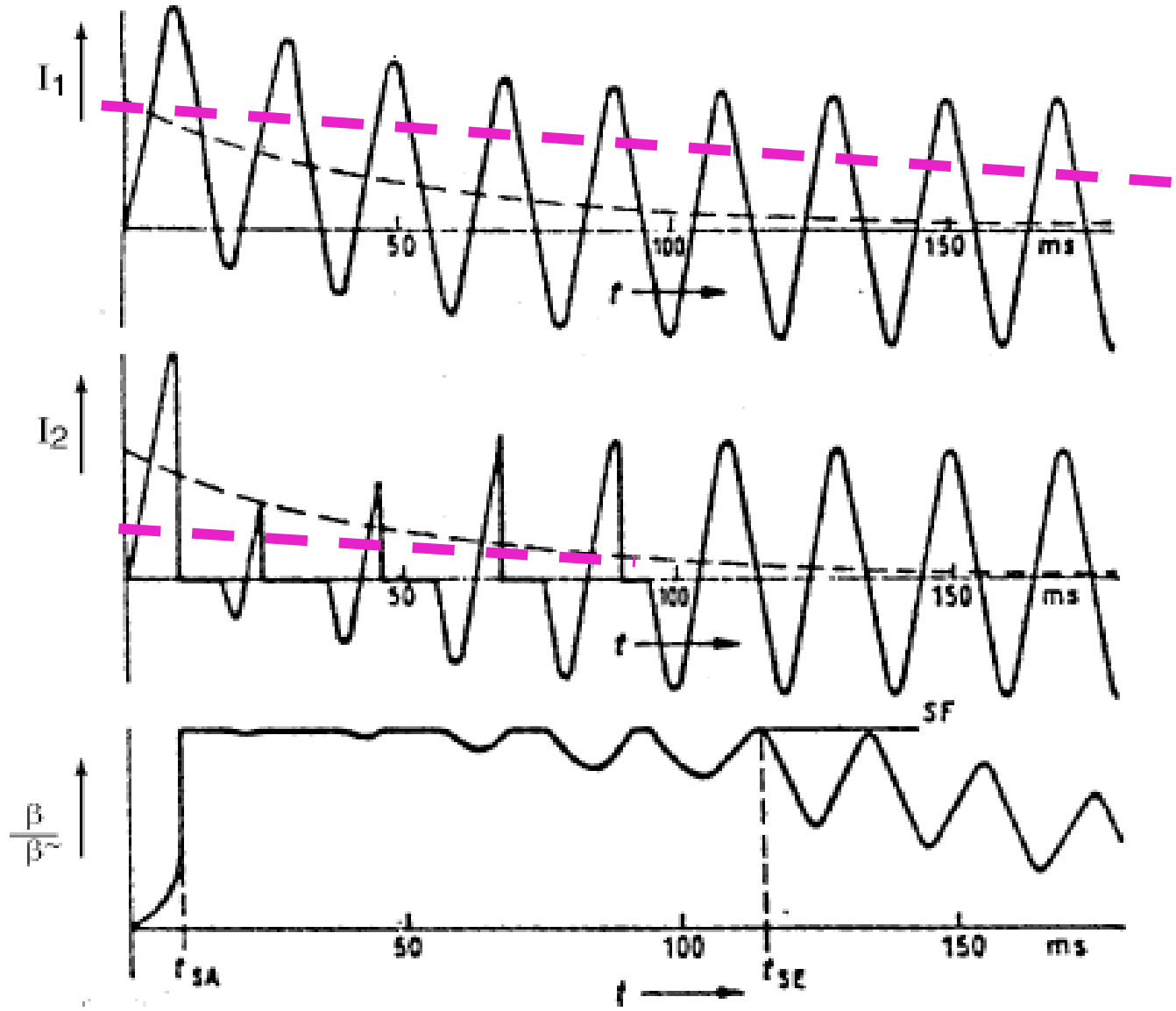




u_s	Tensión secundaria
i'_p	Intensidad primaria reducida al secundario
i_s	Intensidad secundaria (área rayada)
Ø	Flujo principal
S	Transformador de intensidad saturado
NS	Transformador de intensidad no saturado

CARACTERISTICAS

Potencia y clase	4 VA, 5 P2(
I_{pn}	4,47 A
I_{sn}	$1/\sqrt{3}$ A
$R_{ae} = R_{ct}$	1,88 Ω_a 75 ºC
R_b	46 Ω



I1 Curso de la corriente primaria

I2 Curso de la corriente secundaria

β/β~ Curso de la inducción

Características generales

Los TI se caracterizan por los valores siguientes (según la norma IEC 60044)[1]:

- **Nivel de aislamiento nominal de TI**

Debe responder al nivel de aislación del sistema en ese punto, puesto que el primario está el nivel de alta tensión y que uno de los terminales secundarios suele estar en general conectado a tierra.
Al igual que para otros equipos, se definen los valores siguientes:

- Tensión de resistencia de 1 minuto a frecuencia industrial.
- Tensión de impulso resistida.

Ejemplo: Para una tensión nominal de 24 kV, el TI debe resistir 50 kV durante 1 minuto a 50 Hz y una tensión impulsiva de 125 kV.

- **Relación de transformación nominal**

Se suele indicar por lo general como la relación de transformación entre la corriente primaria y secundaria Ip/Is. La corriente secundaria nominal suele ser normalmente 5 A o 1 A.

- **Precisión**

Se define por el error compuesto para la corriente de límite de precisión. El factor de límite de precisión es la relación entre la corriente de límite de precisión y la corriente nominal.

FLP=Ilp/In

Para clase P: *5 es el error y 10 la corriente límite de precisión*

5P10 significa un 5% de error para 10 In y 10P15 significa un 10% para 15 In, 5P y 10P son las clases de precisión estándar para los TI de protección, 5 In, 10 In, 15 In, 20 In son las corrientes de límite de precisión estándar.

La clase PR se define por el factor de remanencia, la relación entre el flujo remanente y el flujo de saturación, que debe ser inferior al 10%. 5PR y 10PR son las clases de precisión estándar para los TI de protección.

Imprescindible a la hora de legir TI para sitemas de AT con RECIERRE

La clase PX es otro modo de especificar las características de TI basándose en la "tensión de codo", la resistencia secundaria y la corriente magnetizante (consulte la página siguiente, fig. 33, respuesta de TI en estado saturado).

- **Salida nominal**

Es la potencia aparente en VA que el TI puede proporcionar al circuito secundario con la corriente secundaria nominal sin provocar errores por superar los valores especificados.
Representa la potencia consumida por todos los dispositivos y cables conectados.Si se carga un TI con una potencia inferior a la salida nominal, su nivel de precisión real es superior al nivel de precisión nominal. De igual modo, un TI que está sobrecargado pierde precisión. **CAMMESA, SMEC R**

- **Corriente térmica de corta duración**

Expresada en rms kA, la corriente máxima autorizada durante 1 segundo (Ith) (ya que el secundario está en cortocircuito) representa la resistencia térmica del TI a las máximas intensidades. El TI debe poder resistir a la corriente de cortocircuito durante el tiempo necesario para corregirla. Si el tiempo de corrección es distinto a 1 seg., la corriente que el TI puede resistir es: $Ith / \sqrt{t}$ **Ith = 80 In**

La resistencia electrodinámica expresada en punta kA es al menos igual a **2,5 • Ith**

Valores normales de corrientes primarias nominales (en A): 10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 y múltiplos o submúltiplos decimales.

(1) Se deben tener en cuenta igualmente los elementos relacionados con el tipo de montaje, características de la instalación (por ejemplo, temperatura, etc.), frecuencia industrial, etc.

Errores de intensidad, de tensión y de fase

- **Error de intensidad en %, en los transformadores de corriente.**
- **Error compuesto en TI**

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_p} \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \eta \cdot i_s - i_p \,^2} = \frac{I_e}{I_p} \cdot 100$$

$$\varepsilon_c = f \;\; Z_s$$

Ie = I`p -Is

- **Error de tensión en %, en los transformadores de tensión.**
- **Error de fase en %, en los transformadores de tensión y corriente.**

Es el ángulo entre los vectores primario y secundario que puede afectar a: un contador de energía, sincronización de alternadores, los relés direccionales de energía, etc

- para los TC:

$$\text{Error de intensidad (\%)} = \frac{K_n I_s - I_p}{I_p} \times 100$$

- para los TT:

$$\text{Error de tensión (\%)} = \frac{K_n U_s - U_p}{U_p} \times 100$$

en las que:

K_n = Relación de transformación nominal o teórica,

U_P = Tensión primaria real en el TT,

I_p = Intensidad primaria real en el TC,

U_s = Tensión secundaria real en el TT correspondiente a la U_P,

I_s = Intensidad secundaria real en el TC correspondiente a la I_P.

$$|I_e| = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i'_p \,^2 \cdot dt} - \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_s \,^2 \cdot dt} = |I'_p| - |I_s|$$

$$|I_e| = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \eta \cdot i_s - i_p \,^2 \cdot dt}$$

Potencia de precisión Carga

- Es la admitancia o impedancia del circuito secundario.(RTI+Rcarga+Rcable)

$$(2.\ R_{cables}+R_{burden}+(I_1/350)^{1,15}/(I_2)^2)$$

- Se expresa como potencia aparente en VA.

$$S = U_2 \times I_2 = \frac{U_2^2}{Z_2} \qquad S = I_2^2 \times Z_2$$

- Los errores de relación y de fase varían con la carga del transformador.
- Los errores de precisión y/o fase pueden variar con el factor de potencia de la carga.

Potencia Carga

- **Las fuerzas contraelectromotriz primaria y electromotriz secundaria, responden a las fórmulas:**
  - $U_1 \cong -E_1 = 4,44\ \beta N_1\ f$
  - $E2 = 4,44\ \beta SN2\ f = U2$
- **La inducción magnética, magnitud que determina el comportamiento del circuito magnético, resulta inversamente proporcional a la frecuencia impuesta por la línea al transformador, y por tanto es función de la misma.**
- **La frecuencia es pues una de las magnitudes que determinan las condiciones de funcionamiento del transformador.**

Características nominales normalizados en TC

- **Intensidad primaria nominal**
  - 10 - 12,5 - 15 - 20 -- 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 y sus múltiplos o submúltiplos decimales.

- **Intensiddad secundaria nominal:**
  - 1A, 2A y 5A.

- **Relación de transformación nominal**

- **Frecuencia nominal**
  - 50 Hz.
  - 60 Hz.

Factor de corriente térmica continua nominal (RF):

Es el número por el cual se debe multiplicar la corriente primaria nominal de un T.C. para obtener la máxima corriente primaria que puede atravesarlo sin exceder el limite de crecimiento de temperatura desde la temperatura ambiente promedio. El RF de un T.C. con derivaciones o múltiples relaciones se aplica a la relación más alta.

Los valores aceptados de RF son: 1.0, 1.33, 1.5, 2.0, 3.0 y 4.0

- **Potencia de exactitud**
  - 2,5 - 5 - 10 - 15 - 30 VA.
- **Intensidad térmica nominal de cortocircuito**
  - Es el valor *eficaz* de la corriente primaria que el transformador puede soportar durante 1s, con el arrollamiento secundario en cortocircuito, (o sea, sin carga), sin sufrir efectos perjudiciales.
  - Se considera que el tiempo de 1s (1000 ms) es suficiente para que las protecciones del circuito actúen y los interruptores desconecten. Esta intensidad térmica admisible se acostumbra a expresar como un múltiplo de la intensidad nominal primaria In, por ejemplo $\mathbf{I_{térmica} = 80\ I_n}$**, 1 segundo**.
- **Intensidad dinámica nominal de cortocircuito**
  - Es el valor *cresta* de la corriente primaria que el transformador puede soportar, con el arrollamiento secundario en cortocircuito, sin sufrir efectos perjudiciales.
  - $\mathbf{I_d = 2{,}5\ I_{térmica}}$ **(2,5 =1,8 x√2)**
- **Clase de precisión (Índice de clase)**
  - 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1,0 - 3,0.

Nivel de aislamiento nominal

Tensión más elevada para el material Um kV (valor eficaz)	Tensión resistida al impulso atmosférico 1,2/50µs kV	Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor cresta)
0,72		3
1,2		6
3,6	20 rígido a tierra **40 neutro aislado**	10 rígido a tierra 10 neutro aislado
7,2	40 **60**	20 20
12	60 **75**	28 28
17,5	75 **95**	38 38

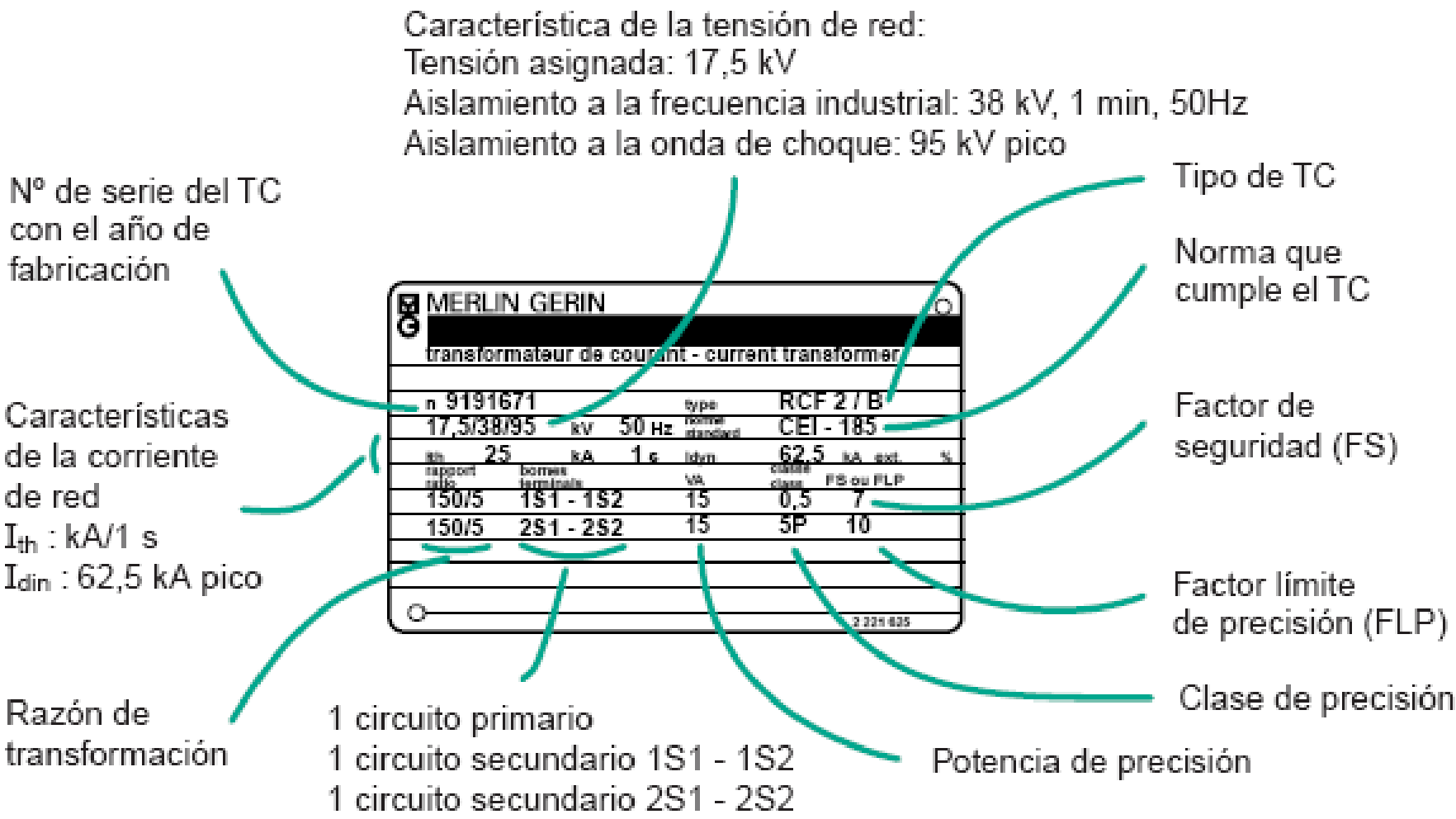
Transformadores de corriente de protección

Los TC destinados a alimentar ***relés de protección***, lo que interesa es que, al aparecer elevadas sobreintensidades como son las de cortocircuito, el ***secundario siga reflejando lo que sucede en el primario***, aunque sea con errores mayores, pues en definitiva los relés no necesitan tanta precisión (no son aparatos de medida).

En efecto, por la misión que tienen encomendada, ***los relés de protección, deben seguir «viendo» las sobreintensidades*** aún en sus valores más elevados, a fin de dar la respuesta adecuada, y **NO SATURARSE**.

Chapa de características de un TC

- El nombre del fabricante o una indicación que permita identificarlo fácilmente.
- El número de serie y la designación del tipo.
- La relación de transformación: $K_N = I_{PN} / I_{SN}$ A (Ejemplo K_N = 100/5 A).
- La frecuencia asignada (Ejemplo: 50 Hz).
- La potencia de precisión.
- La clase de precisión.
- La tensión más elevada para el material (Ejemplo: 13,2 kV).
- El nivel de aislamiento asignado (Ejemplo: 38 / 95 kV).
- La intensidad térmica de cortocircuito asignada (Ith).


Característica de la tensión de red:
Tensión asignada: 17,5 kV
Aislamiento a la frecuencia industrial: 38 kV, 1 min, 50Hz
Aislamiento a la onda de choque: 95 kV pico
Nº de serie del TC con el año de fabricación
Tipo de TC
Norma que cumple el TC
Características de la corriente de red
I_{th} : kA/1 s
I_{din} : 62,5 kA pico
Factor de seguridad (FS)
Factor límite de precisión (FLP)
Clase de precisión
Razón de transformación
1 circuito primario
1 circuito secundario 1S1 - 1S2
1 circuito secundario 2S1 - 2S2
Potencia de precisión
MERLIN GERIN
transformateur de courant - current transformer
n 9191671
type
RCF 2 / B
17,5/38/95 kV 50 Hz
norme standard
CEI - 185
Ith 25 kA 1 s
Idyn
62,5 kA
ext. %
rapport ratio
bornes terminals
VA
classe class
FS ou FLP
150/5 1S1 - 1S2 15 0,5 7
150/5 2S1 - 2S2 15 5P 10
2 221 625

Clases de Precisión Normales de los Transformadores de Corriente de Medida.								
Clase de precisión	Error de relación ($\pm\varepsilon_i$) en % para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.				Error de fase ($\pm\delta_i$) en minutos para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1	3	1,5	0,1	0,1	180	90	60	60

Clases de Precisión Especiales de los Transformadores de Corriente de Medida de Gama Extendida. (I_2n = 5 A)										
Clase de precisión	Error de relación ($\pm\varepsilon_i$) en % para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.					Error de fase ($\pm\delta_i$) en minutos para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

Clases de Precisión Normales de los Transformadores de Corriente de Protección.			
Clase de precisión.	Error de relación ($\pm\varepsilon_i$) en % para la corriente nominal.	Error de fase ($\pm\delta_i$) en minutos para la corriente nominal.	Error compuesto en % para la corriente límite de precisión.
5 P	±1	±60	5
10 P	±3	–––	10

Por ejemplo, **10 P 30** significa que el transformador de protección presenta un error total compuesto del 10 por 100, a una corriente 30 veces mayor que la nominal.

A frecuencia nominal y con carga nominal conectada, el error de relación, el error de ángulo y el error compuesto no deben exceder los siguientes valores:

Clase de precisión	A corriente primaria nominal			A corriente limite de exactitud nominal
	Error de corriente	Desplazamiento de fase		Error compuesto %
		minutos	centirradianes	
5P	±1	±60	±1.8	5
10P	±3	-	-	10
5PR	±1	±60	±1.8	5
10PR	±3	-	-	10

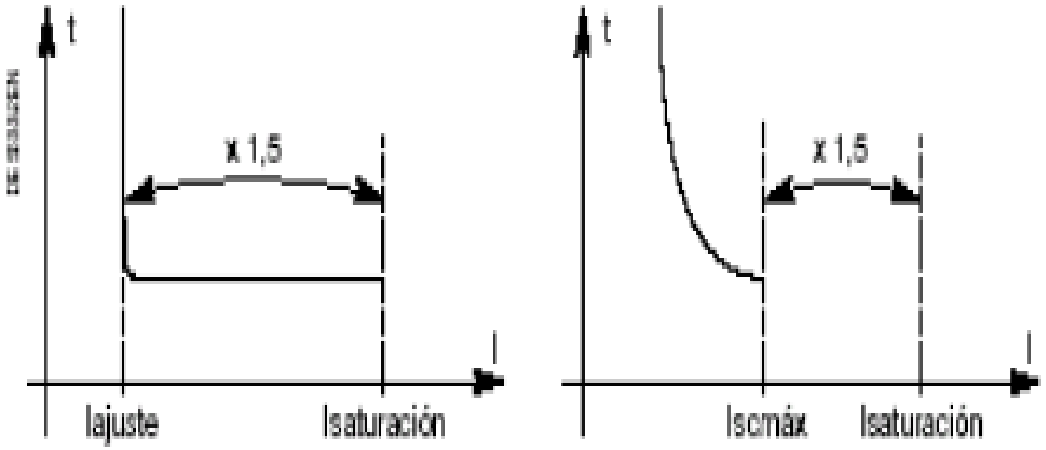
Para el caso de la clase PR además se debe especificar:

- El factor de remanencia, el cual no debe exceder el 10%
- La constante de tiempo secundaria
- La resistencia de bobinado secundario.

TI para protección de máxima intensidad de fase

Para la protección de máxima intensidad de tiempo independiente, si no se alcanza la saturación a 1,5 veces el ajuste de corriente, el funcionamiento está asegurado independientemente de lo elevada que sea la corriente de defecto

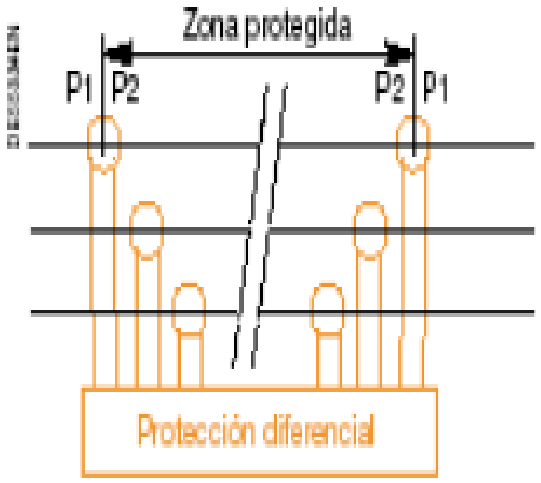
Para la protección de máxima intensidad de tiempo dependiente, no se debe alcanzar la saturación a 1,5 veces el valor de corriente correspondiente al máximo en la parte útil de la curva de funcionamiento



Esto hay que considerarlo cuando se instala el TI, pues en el punto de instalación hay una corriente de cortocircuito que debe entrar en la curva de no saturación.

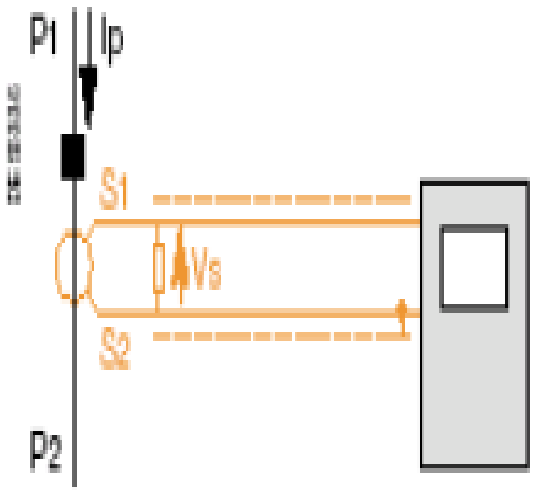
TI para protección diferencial

Se deben especificar los TI para cada aplicación, según el principio de funcionamiento de la unidad de protección y el componente protegido. Consulte el manual de instrucciones de la unidad de protección.



Para esta protección hay que tener en cuenta el grupo de conexión del transformador de potencia. Antiguamente para corregir esto se instalaban TI intermedios, hoy se resuelve por software.

Transductores de intensidad de baja potencia (LPCT)



Sensores de intensidad de tipo LPCT.

Son sensores de salida de tensión especiales de tipo transductor de intensidad de baja potencia (LPCT), que cumplen con la norma IEC 60044-8.

Los TIBP se utilizan para funciones de medida y protección.

Están definidos por:

- La corriente primaria nominal.
- La corriente primaria ampliada nominal.
- La corriente primaria de límite de precisión nominal.

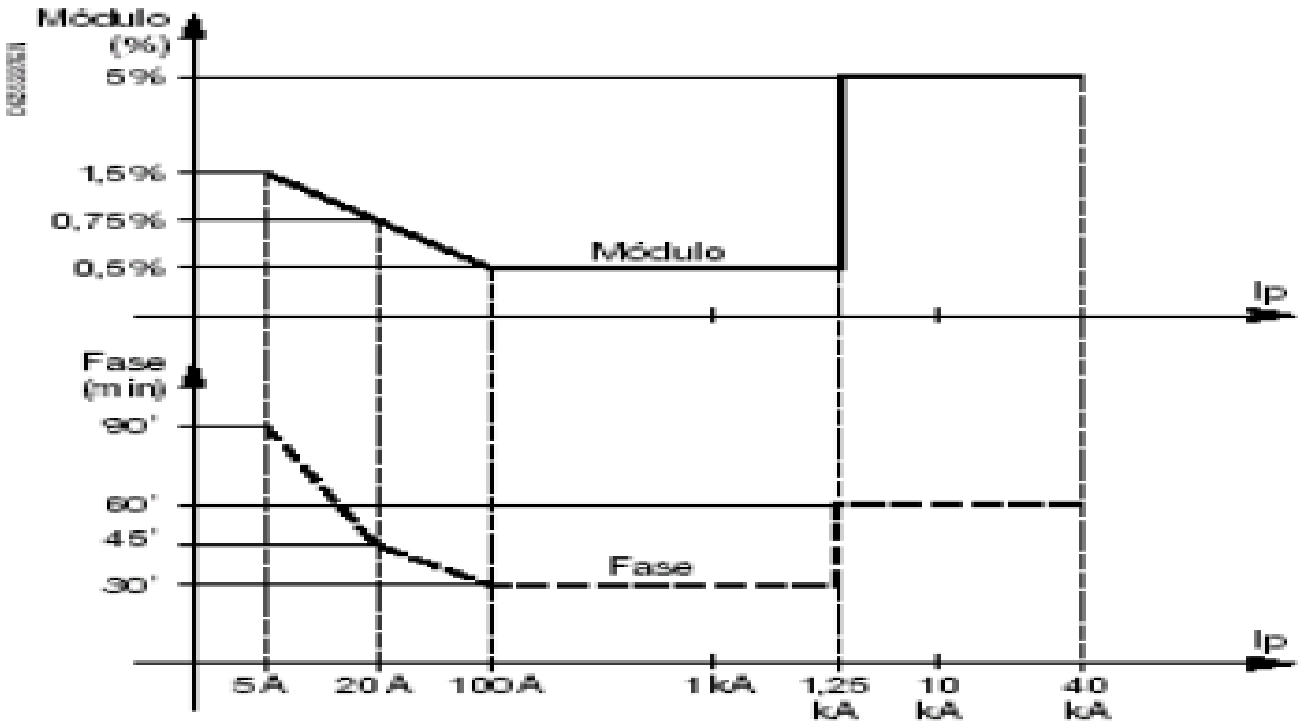
Tienen una salida lineal por encima de un rango de corrientes amplio y comienzan a saturarse en niveles superiores a las corrientes que se deben interrumpir.

Ejemplo de características de medida según IEC 60044-8:

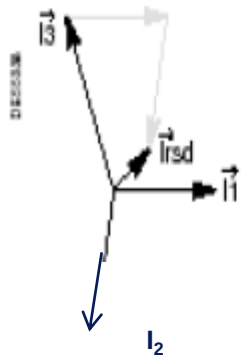
- Corriente primaria nominal Ipn = 100 A.
- Corriente primaria ampliada nominal Ipe = 1.250 A.
- Tensión secundaria Vsn = 22,5 mV.
- Clase 0.5:
  - Precisión del 0,5% de 100 A a 1.250 A.
  - Precisión del 0,75% a 20 A.
  - Precisión del 1,5% a 5 A.

Ejemplo de características de protección según IEC 60044-8:

- Corriente primaria Ipn = 100 A.
- Tensión secundaria Vsn = 22,5 mV.
- Clase 5P de 1,25 kA a 40 kA (fig. 38).



Corriente homopolar – corriente residual

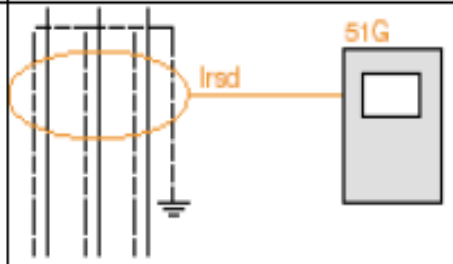
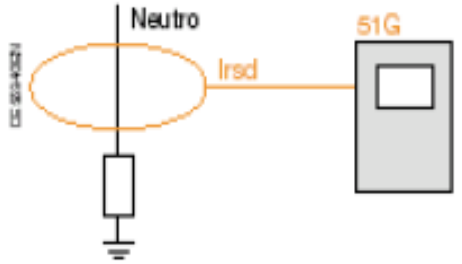


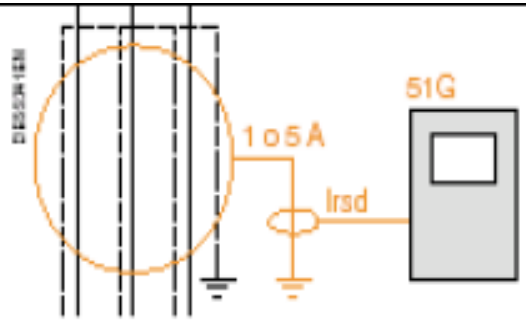
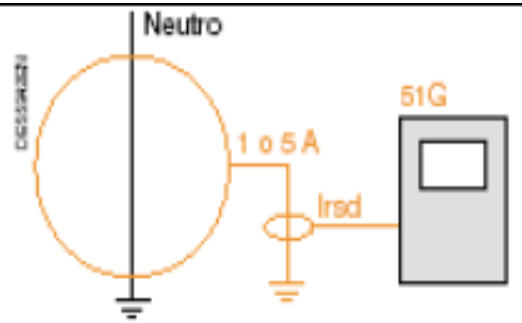
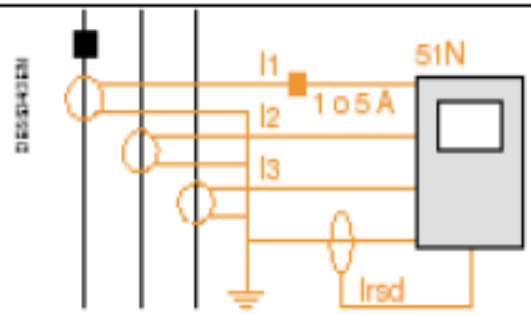
La corriente residual que caracteriza la corriente de defecto a tierra es igual a la suma vectorial de las corrientes trifásicas

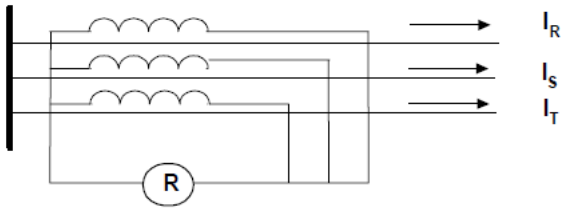
La corriente residual es igual a tres veces corriente la homopolar Io.

Detección de la corriente de defecto

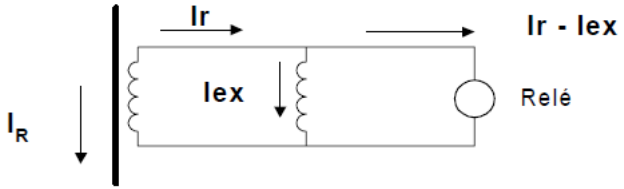
La corriente de defecto a tierra se puede detectar se puede detectar de varias maneras.

Sensores de medida	Precisión	Umbral recomendado mínimo para protección de fallo a tierra	Montaje	
Toroidal especial	+++	Algunos amperios	 Medida directa por toroidal especial conectado directamente al relé de protección. El TI está instalado alrededor de los conductores en tensión y lee directamente la corriente residual.	 Se puede instalar igualmente en el neutro accesible al enlace de tierra. El resultado es una alta precisión de medida; se puede utilizar un umbral de detección muy bajo (algunos amperios).

TI toroidal + TI anular interpuesto	++	10% de InTI (DT) 5% de InTI (IDMT) 1% de InTI en relés de detección sensible ***Umbral mínimo para falla a tierra***	 Medida diferencial que utiliza un TI toroidal clásico instalado alrededor de los conductores en tensión y que genera la corriente residual, además de un TI anular interpuesto que se utiliza como adaptador para el relé de protección.	 El TI toroidal se puede instalar igualmente en el neutro accesible al enlace de tierra con un TI anular interpuesto. Esta solución ofrece una buena precisión y flexibilidad en la selección del TI.
TI trifásicos + TI anular interpuesto	++	10% de InTI (T indep.) 5% de InTI (T dep.) 1% de InTI en relés de detección sensible	 Medida de las corrientes en las tres fases con un TI por fase y medida de la corriente residual mediante un TI anular interpuesto especial. En la práctica, el umbral de corriente residual debe ser: – Is0 ε 10% de InTI (protección de T indep.). – Is0 ≥ 5% de InTI (protección de T dep.).	



$$Io = (I_R + I_S + I_T) / 3$$



luego la corriente en el relé es :

$$Irele = (Ir - Iexr) + (Is - Iexs) + (It - Iext)$$

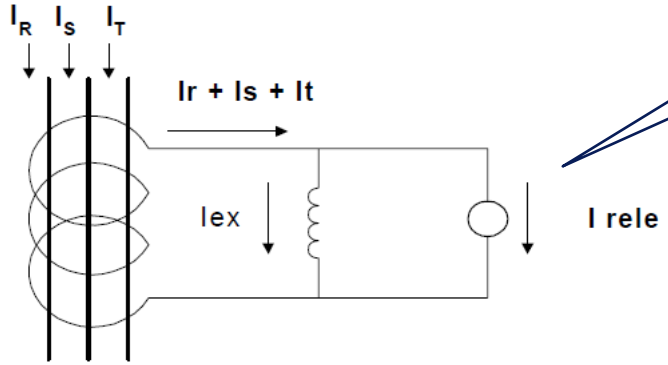
$$Irele = (Ir + Is + It) - (Iexr + Iexs + Iext)$$

- si el sistema no tiene falla a tierra

$$Irele = - (Iexr + Iexs + Iext)$$

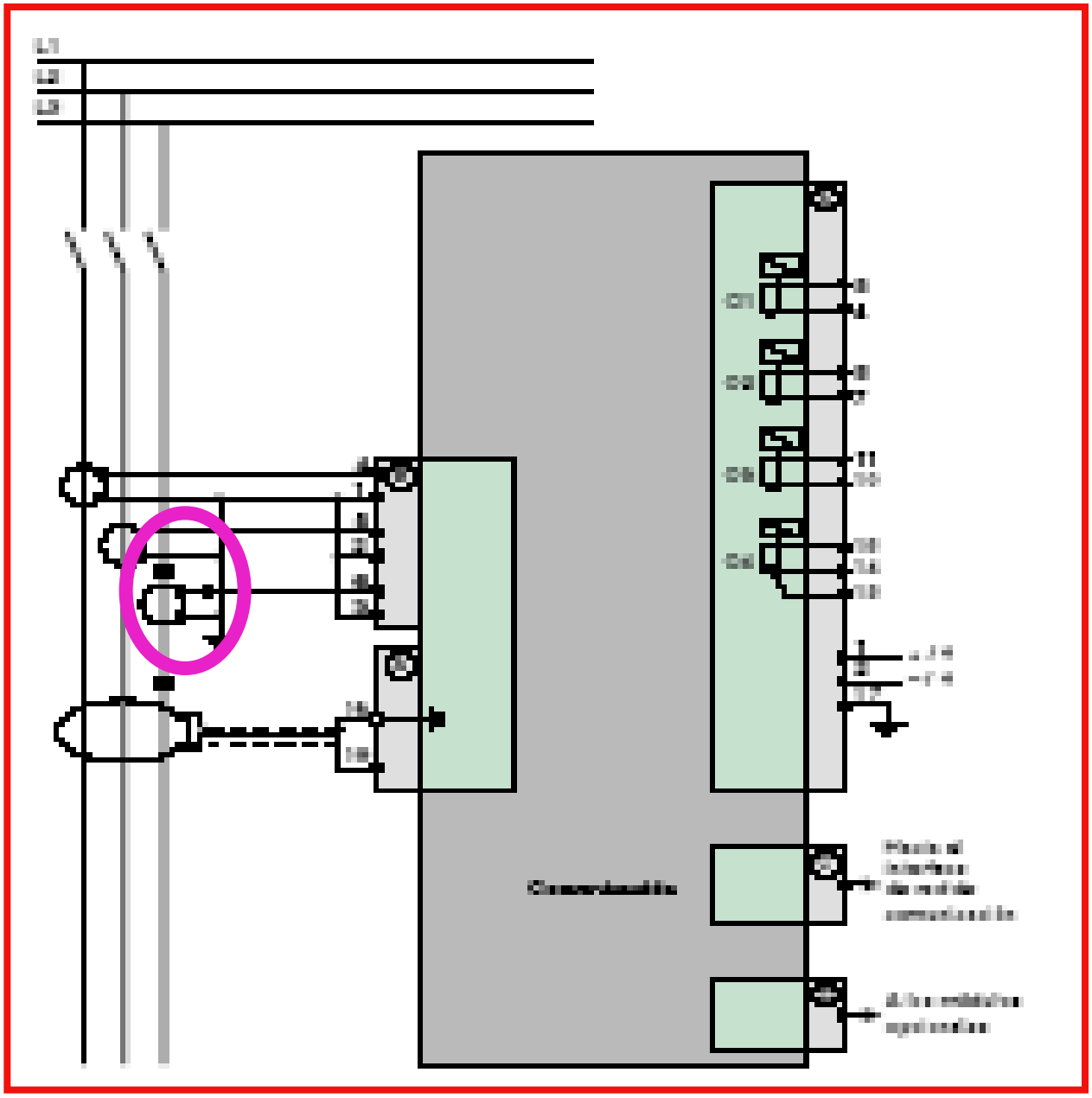
esta corriente puede originar operaciones incorrectas del relé

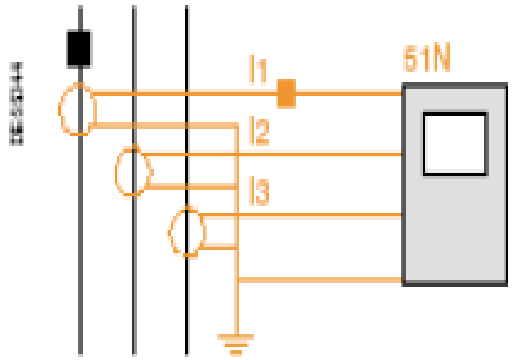
Para solucionar este inconveniente es preferible sumar las tres corrientes dentro de un solo núcleo magnético

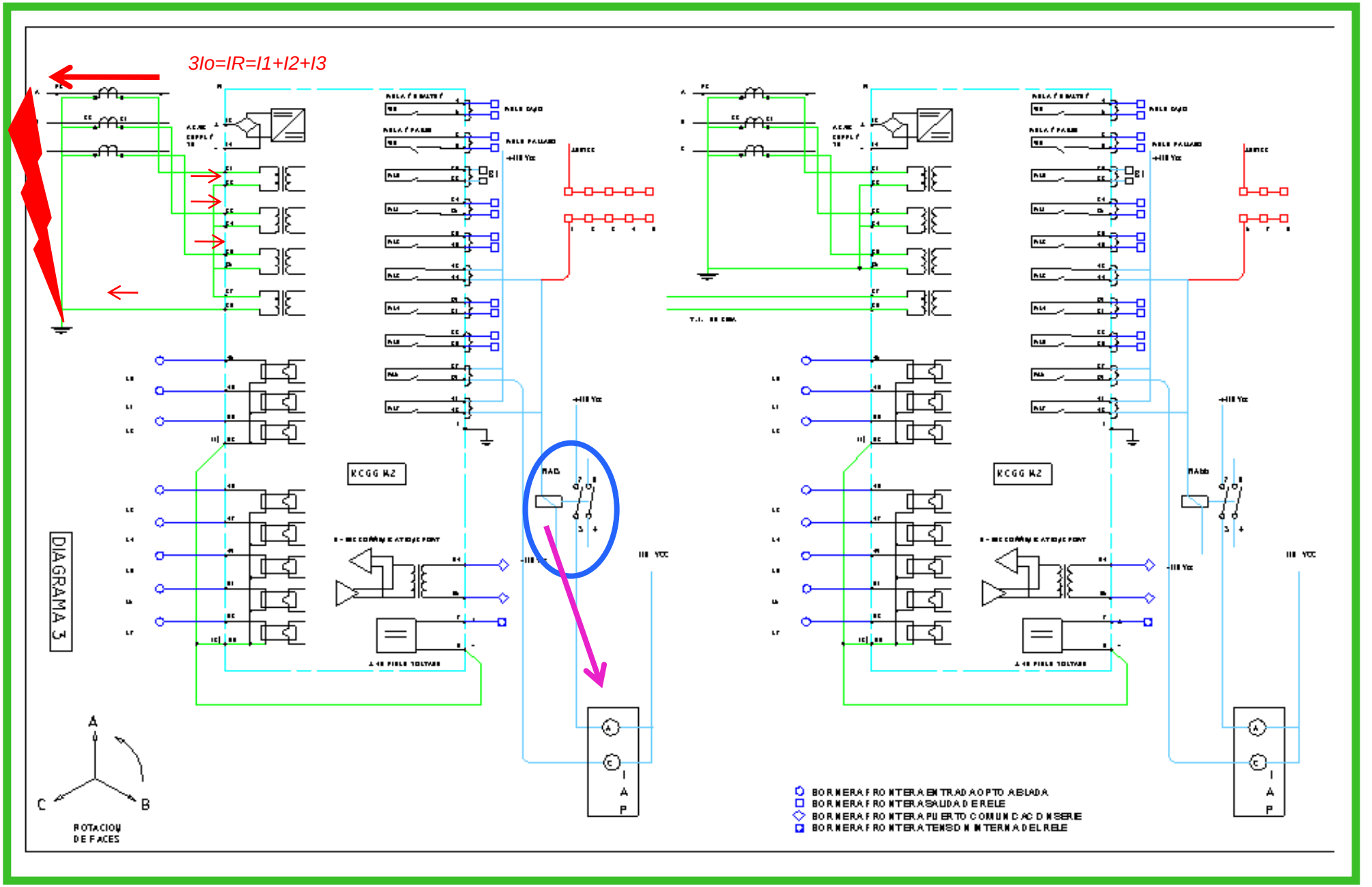


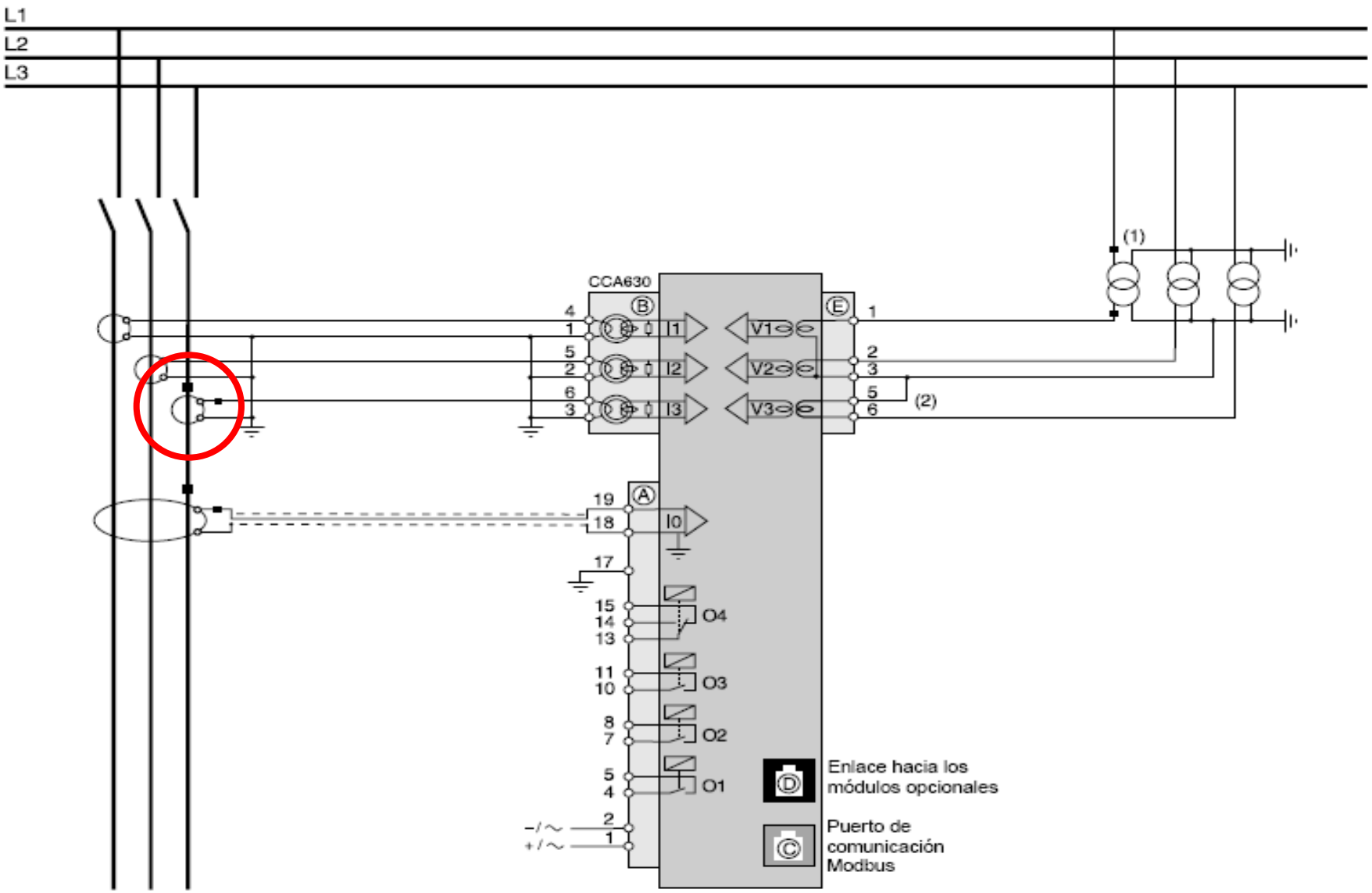
$$I\ rele = (Ir + Is + It) - Iex$$

Básicamente la diferencia está en que la medición con toroide es más precisa, en condción NORMAL



TI trifásicos (Irsd calculado por relé)	+	Sin retención de H2 30% de InTI (T indep.) 10% de InTI (T dep.) Con retención de H2 10% de InTI (T indep.) 5% de InTI (T dep.)	Cálculo basado en la medida de las corrientes en las tres fases con un TI por fase:  • La corriente residual se calcula mediante el relé de protección. • La precisión de la medida no es alta (suma de los errores de TI y características de saturación, corriente calculada). • La instalación es más fácil que en el caso anterior, pero la precisión de la medida es inferior. En la práctica, la configuración del umbral de protección debe cumplir las reglas siguientes: • Is0 ≥30% de InTI para protección de T indep. (el 10% de InTI para un relé deprotección con retención de H2). • Is0 ≥10% de InTI para protección de T dep.


3Io=IR=I1+I2+I3
DIAGRAMA 3
KCGG MZ
KCGG MZ
ROTACION DE FACES
A
B
C
BORNERA FRONTERA ENTRADA OPTO AISLADA
BORNERA FRONTERA SALIDA DE RELE
BORNERA FRONTERA PUERTO COMUNICACION SERIE
BORNERA FRONTERA TENSION INTERNA DEL RELE



(1) esta conexión permite calcular la tensión residual.
(2) accesorio para derivar las bornas 3 y 5 suministradas con el conector CCA626.

Transformadores de corriente de medición

Para evitar que circulen estas elevadas intensidades por los transformadores de ***medida***, interesa que a partir de un cierto valor de la sobreintensidad, el secundario del TC, deje de reflejar la sobreintensidad primaria, o sea «**se desacople**» del primario.

Esto se consigue de forma que el error de relación aumente rápidamente al aumentar la intensidad primaria. Este error es siempre por defecto o sea, la intensidad real secundaria es menor que la teórica según la relación de transformación K por el valor de la corriente de excitación secundaria Ie.

Si se diseña el circuito magnético de forma que **rápidamente llegue** a la ***saturación***, a partir de un cierto valor de sobreintensidad primaria, la corriente de excitación **Ie** crecerá mucho en detrimento de la $\mathbf{I_2}$ que pasa por los aparatos.

Un riesgo especial

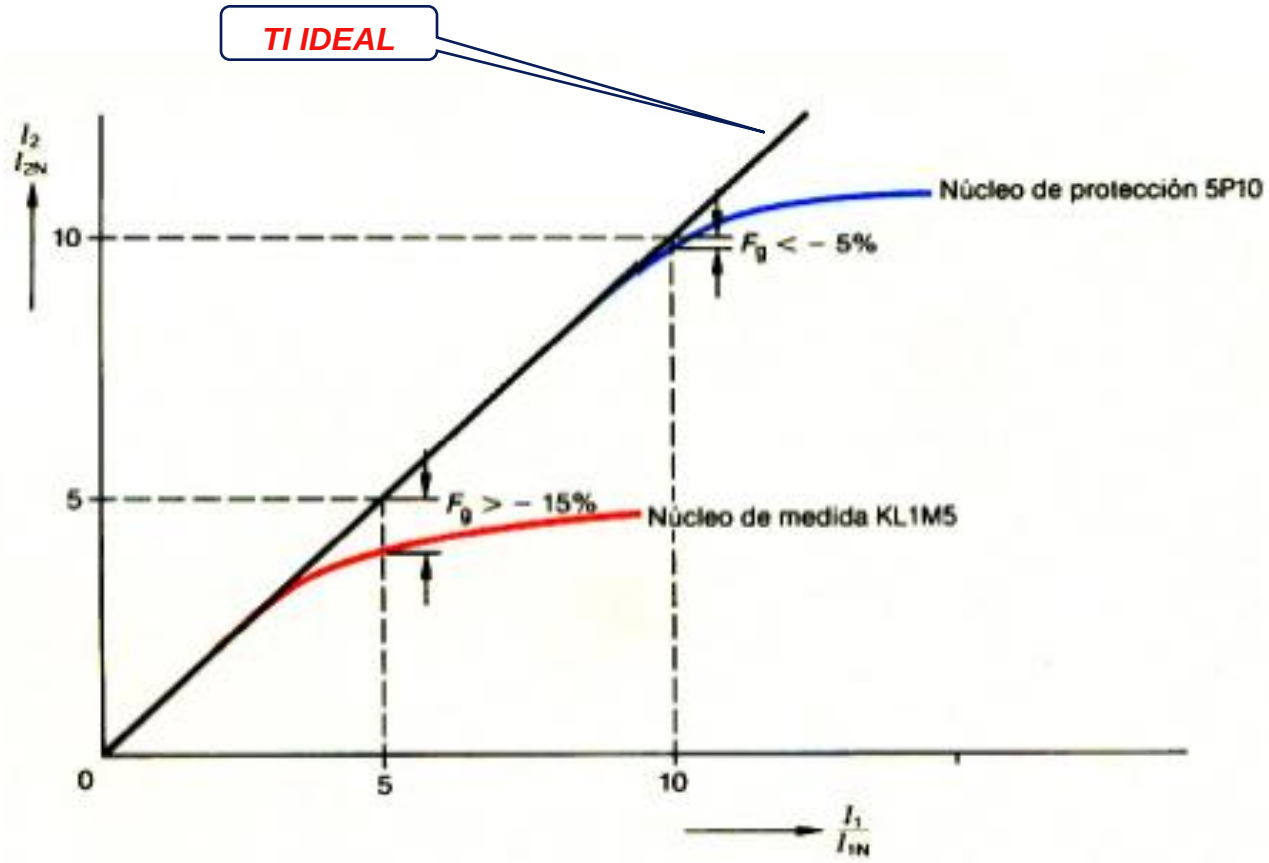
Es peligroso abrir el circuito secundario de un TC.

El flujo de inducción magnética que circula por el núcleo magnético es la suma de dos flujos de signos opuestos: uno resultante de la presencia de una corriente primaria y el otro de una corriente secundaria. Si se anula éste último abriendo el circuito secundario, aumenta mucho el flujo en el núcleo, lo que provoca un gran aumento de la tensión en bornes del secundario, pudiendo alcanzarse valores de tensión de pico o instantáneos superiores a 5 kV. Estas tensiones pueden ser mortales para las personas y provocar la destrucción del equipo.

Conclusiones prácticas

- no hay que abrir en ningún caso el circuito secundario de un transformador de corriente en servicio,
- antes de cualquier actuación sobre la carga de un TC en funcionamiento hay que hacer un cortocircuito de la menor impedancia posible en los bornes del secundario.

TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD



I_1	Intensidad en el primario	I_{1N}	Intensidad nominal en el primario
I_2	Intensidad en el secundario	I_{2N}	Intensidad nominal en el secundario

Figura 1.6/1
Comportamiento frente a sobreintensidades de los transformadores de intensidad para la carga nominal

Chapa de características de un TC

- En los TC para **medida** debe figurar también el **factor de seguridad, Fs (para evitar cargar los aparatos de medida)**, a continuación de los datos de la potencia y la clase de exactitud (por ejemplo, 15 VA clase 0,5 y $3 \leq Fs \leq 5$).

- En los TC para **protección** debe figurar el **factor límite de exactitud** asignado, a continuación de la potencia y la clase de exactitud (por ejemplo, 30 VA clase **5P 10**).

- **Ejemplos de un TC de medida**
  - 400/5 – 5 A **1S,** 15 VA, clase 0,5 **2S**, 30 VA, clase 0,2 13,2 / 38 / 95 Kv
  - $3 \leq Fs \leq 5$

- **Ejemplos de un TC de protección**
  - 400/5 A 30 VA clase 5P 10 13,2 / 38 / 95 kV

NORMALMENTE LOS FABRICANTES NO DAN LOS SIGUIENTES DATOS INTERESANTES AL MOMENTO DE CONDICIONES DIFÍCILES PARA EL SISTEMA:

1) ***1,2 $I_{NOMIAL\ PRIMARIA}$ EN FORMA PERMANENTE (ESTABLECIDO POR NORMA)***

2) ***1,3 $I_{NOMINAL\ PRIMARIA}$ DURANTE 8 HORAS***

3) ***1,5 $_{INOMINAL\ PRIMARIA}$ DURANTE 45 MINUTOS***

REQUERIMIENTOS DE LOS TI

Los requerimientos del transformador de intensidad se basan en un valor máximo previsto de la intensidad de falta de 50 veces la intensidad nominal del relé (In), y en un ajuste instantáneo del relé de 25 veces la intensidad nominal (In). Los requerimientos del transformador de intensidad están diseñados para permitir el funcionamiento de todos los elementos de protección.

Cuando los criterios, para una aplicación específica, sobrepasan los criterios antes detallados, o si la resistencia real del conductor sobrepasa el valor límite señalado, puede ser necesario aumentar los requerimientos del TI de acuerdo a las fórmulas de las secciones siguientes.

Valor nominal	Salida nominal	Clase de precisión	Factor de límite de precisión	Resistencia límite del conductor
1 A	2,5 VA	10P	20	1,3 ohmio
5 A	7,5 VA	10P	20	0,11 ohmio

Protección de sobreintensidad de fase y de tierra de tiempo definido/tiempo inverso

Elementos temporizados de sobreintensidad de fase:

$$V_K \geq I_{cp}/2 * (R_{CT} + R_L + R_{rp})$$

Elementos temporizados de sobreintensidad de falta a tierra:

$$V_K \geq I_{cn}/2 * (R_{CT} + 2R_L + R_{rp} + R_m)$$

Protección instantánea de sobreintensidad de fase y de tierra

Requerimientos del TI para elementos instantáneos de sobreintensidad de fase:

$$V_K \geq I_{sp}/2 * (R_{CT} + R_L + R_{rp})$$

Requerimientos del TI para elementos instantáneos de sobreintensidad de falta a tierra:

$$V_K \geq I_{sn}/2 * (R_{CT} + 2R_L + R_{rp} + R_m)$$

Protección de falta a tierra sensitiva (FTS) de tiempo definido/tiempo inverso

Protección temporizada de FTS:

$$V_K \geq I_{cn}/2 * (R_{CT} + 2R_L + R_{rp} + R_m)$$

Protección de FTS - alimentada de un TI tipo núcleo:

CONDUCTOR ÚNICO

Se necesitan transformadores de intensidad tipo núcleo de clase de precisión de medición, y éstos deben tener una tensión secundaria límite que satisfaga las formulas siguientes:

Elemento temporizado:

$$V_K \geq I_{cn}/2 * (R_{CT} + 2R_L + R_{rp} + R_m)$$

Elemento instantáneo:

$$V_K \geq I_{fn}/2 * (R_{CT} + 2R_L + R_{rp} + R_m)$$

Las abreviaturas utilizadas en las fórmulas anteriores se explican a continuación:

Donde:

- VK = Tensión de codo del TI requerida (voltios),
- Ifn = Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta a tierra (amperios),
- Ifp = Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta de fase (amperios),
- Icn = Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta a tierra ó 31 veces el ajuste I> (el que sea menor) (amperios),
- Icp = Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta de fase ó 31 veces el ajuste I> (el que sea menor) (amperios),
- Isn = Ajuste de los estados 2 y 3 de la falta a tierra (amperios),
- Isp = Ajuste de los estados 2 y 3 (amperios),
- RCT = Resistencia del devanado secundario del transformador de intensidad (ohmios),
- RL = Resistencia de un solo hilo desde el relé al transformador de intensidad (ohmios),
- Rrp = Impedancia de la entrada de intensidad de fase del relé a 30In (ohmios),
- Rrn = Impedancia de la entrada de intensidad del neutro del relé a 30In (ohmios).

Note que, además, se debe asegurar que el error de fase del transformador de intensidad tipo núcleo que se utilice sea inferior a 90 minutos a 10 % de la intensidad nominal e inferior a 150 minutos a 1% de la intensidad nominal.

Las abreviaturas utilizadas en las fórmulas anteriores se explican a continuación:

Donde:

VK	=	Tensión de codo del TI requerida (voltios),
Ifn	=	Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta a tierra (amperios),
Ifp	=	Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta de fase (amperios),
Icn	=	Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta a tierra ó 31 veces el ajuste I> (el que sea menor) (amperios),
Icp	=	Valor máximo secundario previsto de la intensidad de falta de fase ó 31 veces el ajuste I> (el que sea menor) (amperios),
Isn	=	Ajuste de los estados 2 y 3 de la falta a tierra (amperios),
Isp	=	Ajuste de los estados 2 y 3 (amperios),
RCT	=	Resistencia del devanado secundario del transformador de intensidad (ohmios),
RL	=	Resistencia de un solo hilo desde el relé al transformador de intensidad (ohmios),
Rrp	=	Impedancia de la entrada de intensidad de fase del relé a 30In (ohmios),
Rrn	=	Impedancia de la entrada de intensidad del neutro del relé a 30In (ohmios).

Protección de falta restringida a tierra (FRT) de baja impedancia

$V_K \geq 24 * In * (R_{CT} + 2R_L)$ para X/R < 40 y If < 15In

$V_K \geq 48 * In * (R_{CT} + 2R_L)$ para X/R < 40, 15In < If < 40In
y 40 <X/R < 120, If < 15In

Donde:

V_K = Tensión de codo del TI requerida (voltios),
I_n = Intensidad nominal secundaria (amperios),
R_{CT} = Resistencia del devanado secundario del transformador de intensidad (ohmios),
R_L = Resistencia de un solo hilo desde el relé al transformador de intensidad (ohmios),
If = Nivel máximo de la intensidad de falta externa (amperios).

Protección de falta restringida a tierra de alta impedancia

El elemento de falta restringida a tierra de alta impedancia debe mantener la estabilidad en el caso de faltas externas y funcionar en menos de 40 ms en el caso de faltas internas, siempre que sean satisfechas las ecuaciones siguientes en la determinación de los requerimientos de los TI y del valor de la resistencia de estabilización asociada:

$Rs = [K * (If) * (R_{CT} + 2R_L)] / I_s$

$V_K \geq 4 * Is * Rs$

K = 1 cuando Vk/Vs es inferior o igual a 16
K = 1,2 cuando Vk/Vs es superior a 16

Donde:

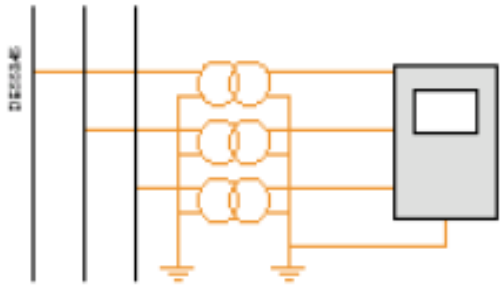
V_K = Tensión de codo del TI requerida (voltios),
Rs = Valor de la resistencia de estabilización (ohmios),
If = Nivel máximo de la intensidad de falta externa (amperios),
V_s = Tensión de codo del TI (voltios),
I_S = Ajuste de la intensidad del elemento de FRT (amperios),
R_{CT} = Resistencia del devanado secundario del transformador de intensidad (ohmios),
R_L = Resistencia de un solo hilo desde el relé al transformador de intensidad (ohmios).

Medición de tensión

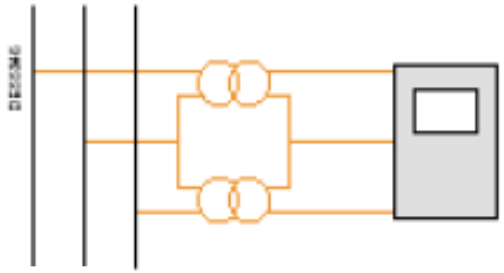
Medida de las tensiones entre fases

El transformador de tensión consta de dos bobinados, el primario y el secundario, acoplados por un circuito magnético, y se pueden realizar conexiones entre fases o entre una fase y la tierra.

Los transformadores de tensión se caracterizan por los valores siguientes (publicaciones IEC 60186, IEC 60044-2 y NFC 42-501) (1):



Transformadores de tensión (TT) conectados en estrella.

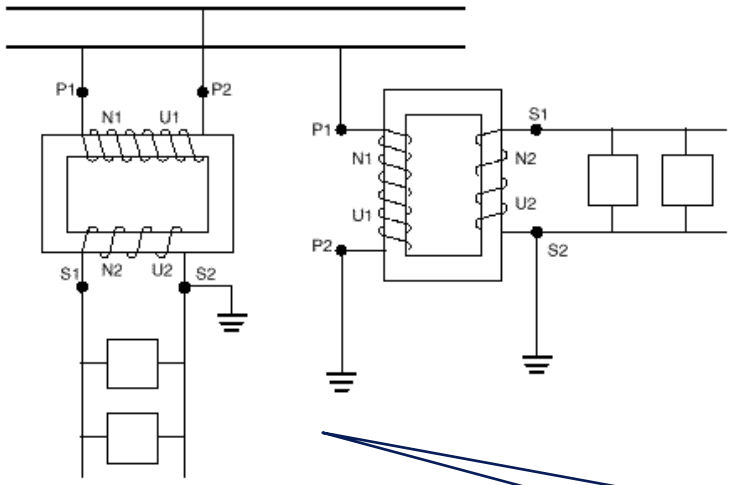


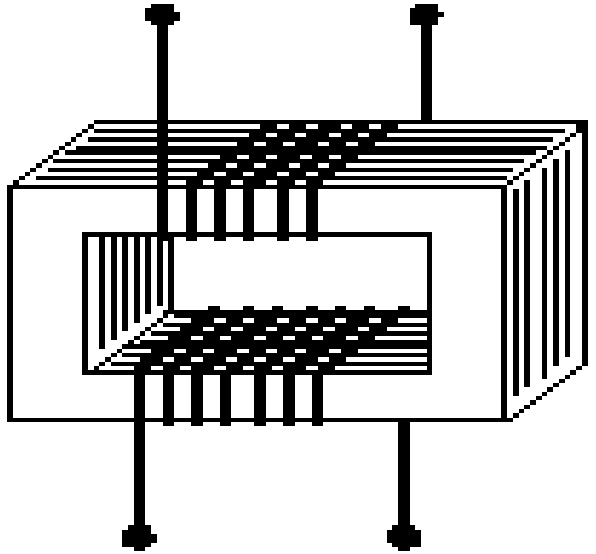
Transformadores de tensión (TT) conectados en V.

- Frecuencia industrial, en general 50 o 60 Hz.
- Tensión primaria más alta en el sistema eléctrico.
- Tensión secundaria nominal 100, 100/ 3, 110, 110/ 3 voltios según el tipo de conexión.
- Factor de tensión nominal utilizado para definir las características de calentamiento.
- Potencia aparente, en VA, que el transformador de tensión puede proporcionar al secundario, sin provocar errores por superar su clase de precisión, cuando está conectado a la tensión primaria nominal y a la carga nominal. Hay que tener en cuenta que un TT no debe estar nunca en cortocircuito en el secundario, porque la potencia proporcionada aumenta y el transformador puede estropearse debido al calentamiento resultante, clase de precisión que define los límites de error garantizados para la relación de tensión y el desplazamiento de fase en las condiciones de potencia y tensión especificadas.

Tipos y modelos constructivos de transformadores

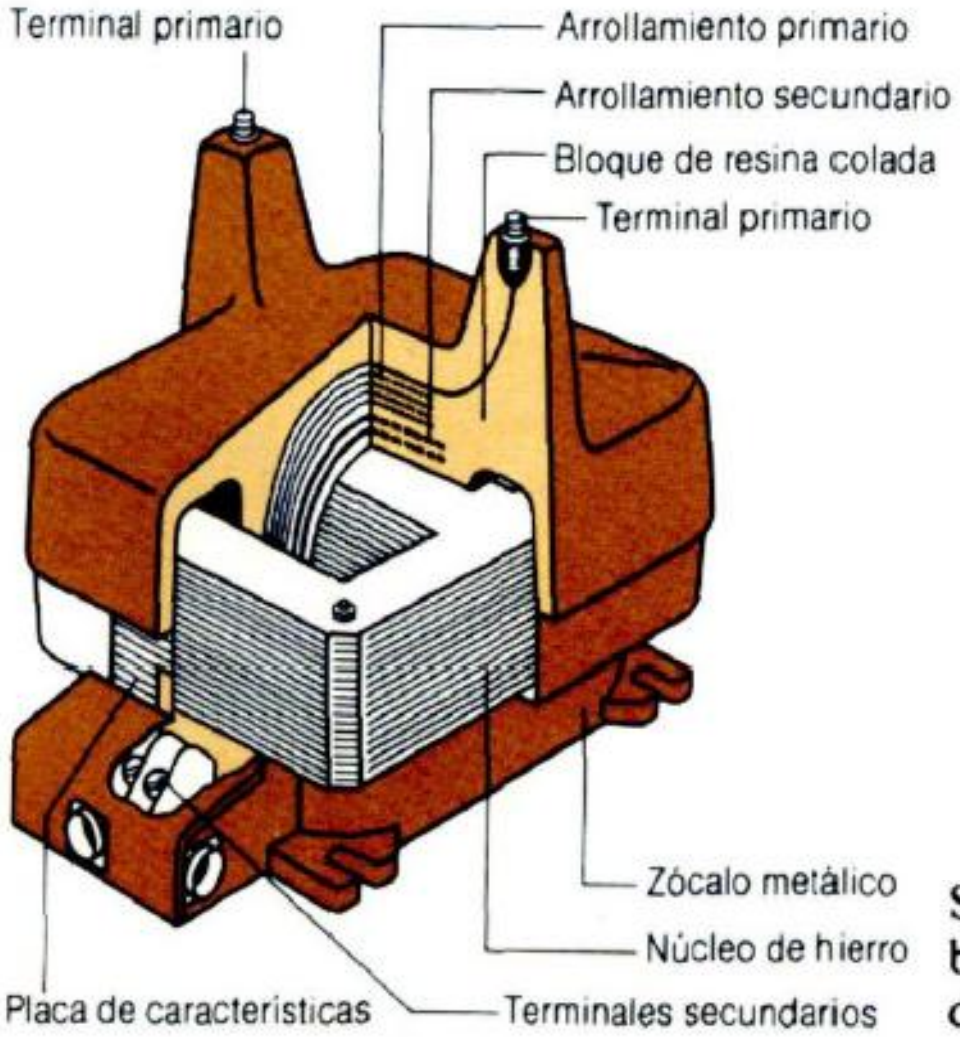
- Con núcleo magnético y arrollamientos primarios y secundarios
- En general son monofásicos





AISLACIÓN

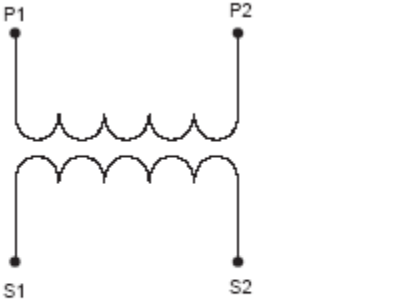
TRANSFORMADORES DE TENSION



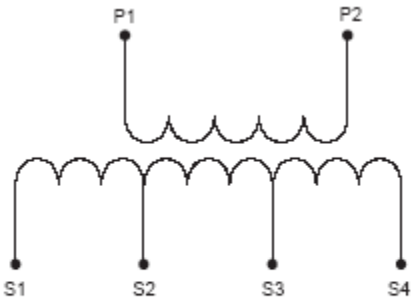
Sección de un transformador de tensión bipolar aislado para tensiones de servicio de más de 1 kV

Las marcas de los bornes identifican

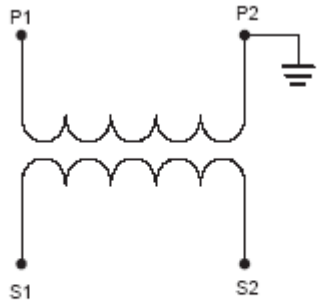
- Los arrollamientos primario y secundario.
- Las secciones de cada arrollamiento, cuando estén divididos en secciones.
- Los bornes de cada arrollamiento, cuando estén divididos en secciones.
- Las polaridades relativas de los arrollamientos y de las secciones de los arrollamientos.
- Las tomas intermedias, si existen.



Transformador monofásico con bornes primarios totalmente aislados y un solo arrolamiento secundario.



Transformador monofásico con un arrollamiento secundario de tomas múltiples.



Transformador monofásico con un borne primario de bajo aislamiento y un solo arrollamiento secundario.

Son posibles algunos montajes de medida:

- Montaje en estrella de transformador 3 (fig. 40) (requiere 1 terminal de alta tensión aislado por transformador).

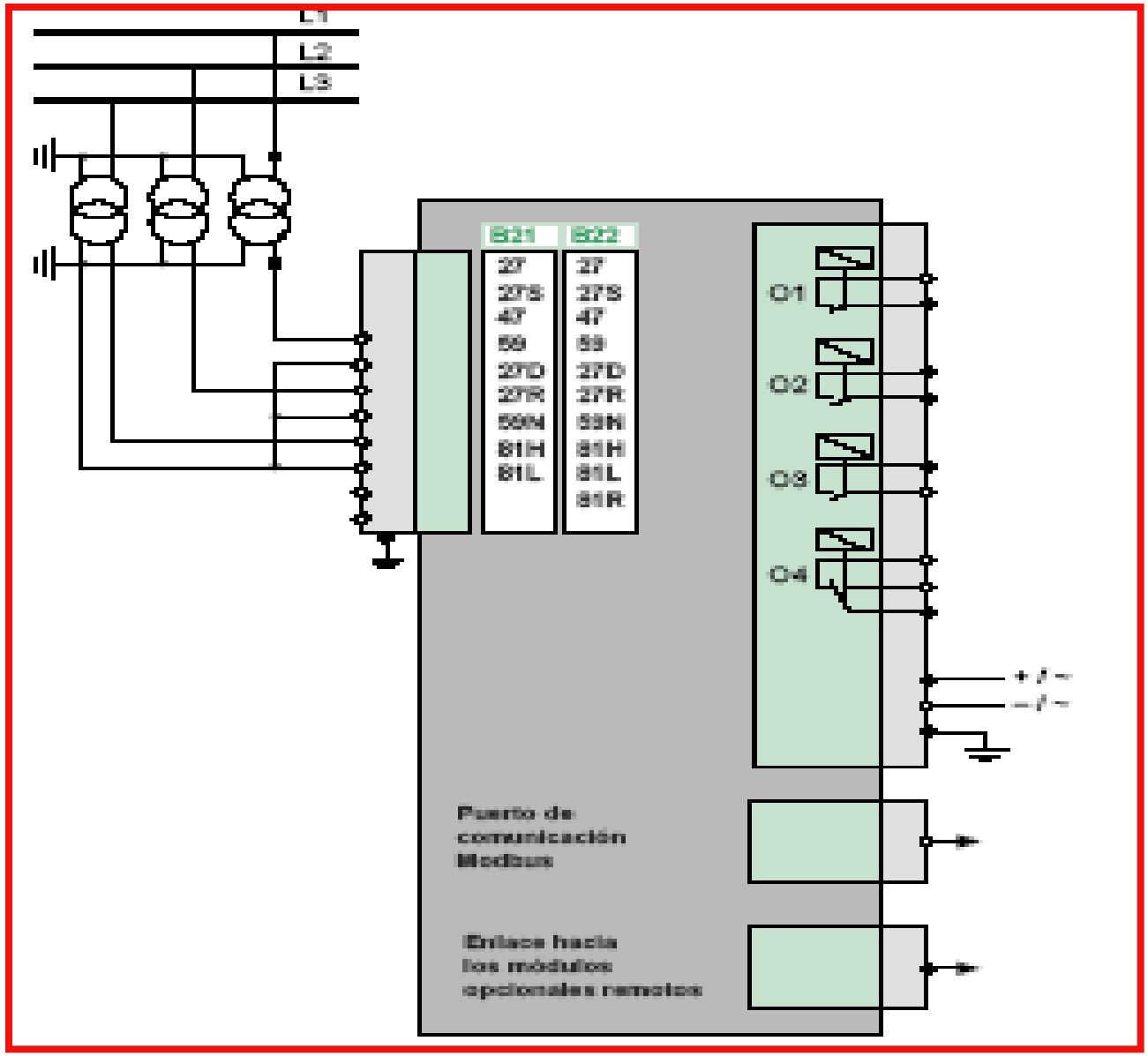
Relación de transformación: $\frac{Un/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3}}$ por ejemplo.

- Montaje en "V" de transformador 2 (fig. 41) (requiere 2 terminales de alta tensión aislados por transformador).

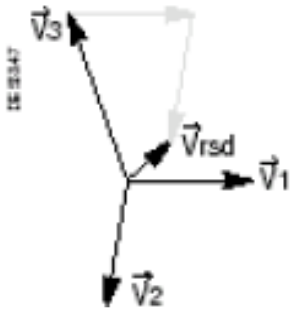
Relación de transformación: $Un/100$ por ejemplo.

En sistemas de neutros aislados, todos los TT de fase a neutro suficientemente cargados para evitar el riesgo de resonancia ferromagnética.

(1) Se deben tener en cuenta igualmente los elementos relacionados con el tipo de montaje, características de la instalación (por ejemplo, temperatura), etc.


L1
L2
L3
B21
B22
27
27S
47
59
27D
27R
59N
81H
81L
81R
O1
O2
O3
O4
+ / ~
– / ~
Puerto de comunicación Modbus
Enlace hacia los módulos opcionales remotos

Medida de tensión residual



Definición de tensión residual.

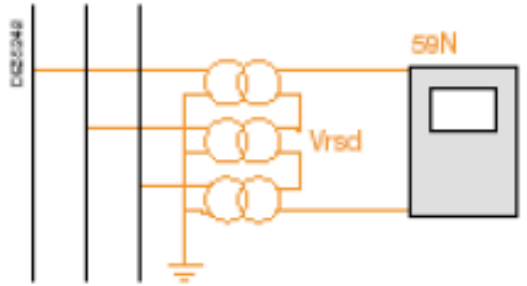
La tensión residual que caracteriza la tensión del punto neutro con respecto a la tierra es igual a la suma vectorial de las tensiones trifásicas a tierra.
La tensión residual es igual a tres veces la tensión nula V0.

$$\overrightarrow{Vrsd} = 3 \bullet \overrightarrow{V0} = \overrightarrow{V1} + \overrightarrow{V2} + \overrightarrow{V3}$$ (fig. 42)

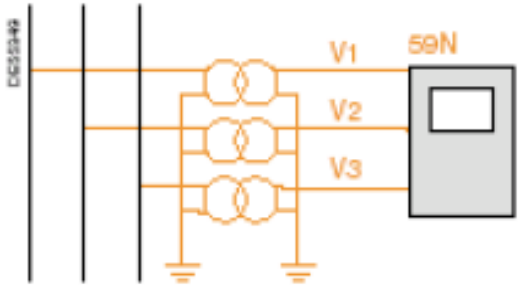
La ocurrencia de esta tensión indica la existencia de un fallo a tierra.

Se puede medir o calcular:

- La medida mediante tres transformadores de tensiones cuyos primarios están conectados en estrella y los secundarios, en una disposición en triángulo abierto, proporcionan la tensión residual
- El cálculo por el relé, mediante tres transformadores de tensión cuyos primarios y secundarios están conectados en estrella



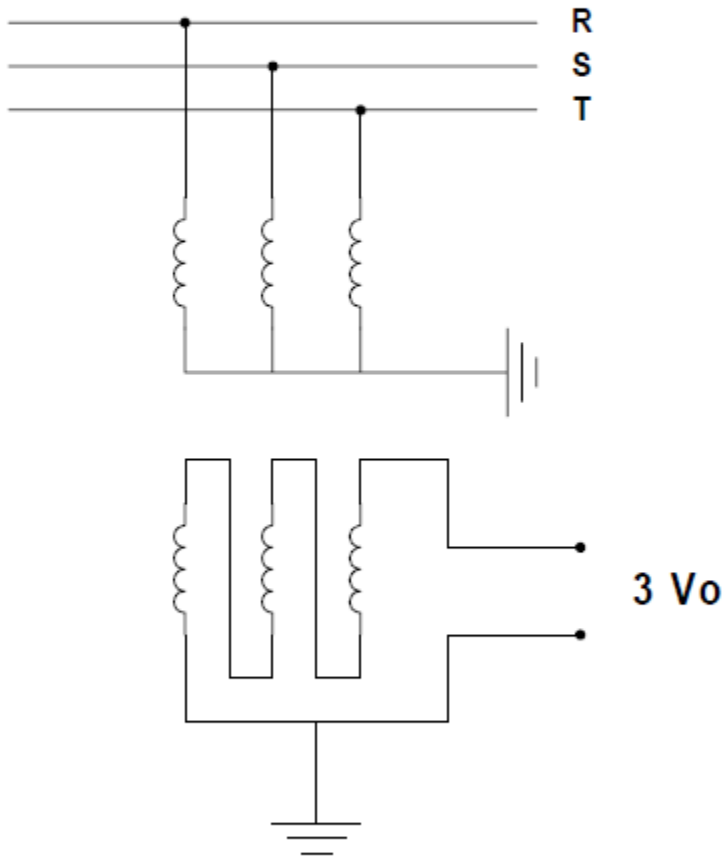
Medida directa de tensión residual.



Cálculo de tensión residual.

Tensiones Homopolares

Para poder efectuar la detección de las tensiones homopolares simplemente hay que reproducir la ecuación matemática en un circuito eléctrico, tal como se muestra a continuación:



$$Vo = (V_R + V_S + V_T) / 3$$

Errores de intensidad, de tensión y de fase

- **Error de intensidad en %, en los transformadores de corriente.**

- **Error de tensión en %, en los transformadores de tensión.**

- **Error de fase en %, en los transformadores de tensión y corriente.**

Es el ángulo entre los vectores primario y secundario que puede afectar a: un contador de energía, sincronización de alternadores, los relés direccionales de energía, etc

- para los TC:

$$\text{Error de intensidad}\,(\%) = \frac{K_n I_s - I_p}{I_p} \times 100$$

- para los TT:

$$\text{Error de tensión}\,(\%) = \frac{K_n U_s - U_p}{U_p} \times 100$$

en las que:

K_n = Relación de transformación nominal o teórica,

U_P = Tensión primaria real en el TT,

I_p = Intensidad primaria real en el TC,

U_s = Tensión secundaria real en el TT correspondiente a la U_P,

I_s = Intensidad secundaria real en el TC correspondiente a la I_P.

Características nominales y valores normalizados en TT

- **Tensión primaria nominal**
- **Tensión secundaria nominal:**
  - 100 V y 110 V para tensiones entre fases.
  - 100 / √3 y 110 / √3 V para tensiones fase tierra.
- **Relación de transformación nominal**
- **Frecuencia nominal**
  - 50 Hz.
  - 60 Hz.

Características nominales y valores normalizados en TT

- **Factor de tensión nominal**
  - deben poder soportar permanentemente una tensión aplicada a su primario de hasta 1,2 veces la tensión nominal y sin sobrepasar el calentamiento admisible, ni los límites de error correspondientes a su clase de precisión.
  - **1,2 Un permanentemente.**
  - **1,5 Un durante 30 segundos.**

- **Nivel de aislamiento nominal**

- **Potencia de precisión**
  - 1,2 10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500 VA.
  - Con un factor de potencia de 0,8 inductivo.

- **Clase de precisión (Índice de clase)**
  - 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1,0 - 3,0.

Chapa de características de un TT

- El nombre del fabricante o una indicación que permita identificarlo fácilmente.
- El número de serie y la designación del tipo.
- La relación de transformación: (13200 / 110 V o bien 13,2 / 0,110 kV).
- La frecuencia asignada (Ejemplo: 50 Hz).
- La potencia de exactitud.
- La clase de exactitud.
- La tensión más elevada para el material (Ejemplo: 13,2 kV).
- El nivel de aislamiento asignado (Ejemplo: 38 / 95 kV).
- El factor de tensión nominal y duración nominal correspondiente.

Chapa de características de un TT

- **Ejemplos de un TT de medida**
  - 13,2 / 0,110 kV 50 VA clase 1 13,2 / 38 / 95 kV
- **Ejemplos de un TT de protección**
  - 13,2 / 0,110 kV 100 VA clase **3P** 13,2 / 38 / 95 kV

Clase de precisión para transformador de tensión de medición

Clase de exactitud	*Error de tensión en % (±)*	*Error de fase ±*	
		minutos	*centirradianes*
0,1	0,1	5	0,15
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0		

Clase de precisión para transformador de tensión de protección

Clase de exactitud	*Error de tensión en % (±)*	*Error de fase ±*	
		minutos	*centirradianes*
3P	3,0	120	3,5
6P	6,0	240	7,0

Error 3% igual Medición