

Equipos asociados a la protección

1. Transformadores de protección
2. Relés
3. Interruptores
4. Reconectadores



Transformadores de Protección

1. Transformadores de potencial
2. Transformadores de corriente



Transformadores de Protección

Objetivos:

- Separar eléctricamente el circuito principal y el circuito de protección y medición.
- Reducir a valores normalizados la tensión y corriente
- Reproducir los efectos transitorios y de régimen permanente en el circuito secundario.



Transformadores de Protección

Los transformadores permiten:

- Aislar eléctricamente a los instrumentos de protección y medición de los equipos de alta tensión o circuito primario.
- Proporcionar la imagen de la magnitud en alta tensión a los equipos de protección.
- Dar seguridad al personal y equipos e instrumentos.
- Permitir la normalización en relés e instrumentos de medición.

Clasificación

Transformadores de tensión(TT)

- Transformadores de Tensión Capacitivos(TTC). ($> 132\text{kV}$)
- Transformadores de Tensión Inductivos(TTI). ($\leq 132\text{kV}$)

Transformadores de Corriente(TC).



TTI

Transformadores de Tensión

- Normalmente en sistemas con tensiones nominales superiores a 600V la medición de tensión se hacen a través de transformadores de tensión

El tipo de transformadores de tensión pueden ser:

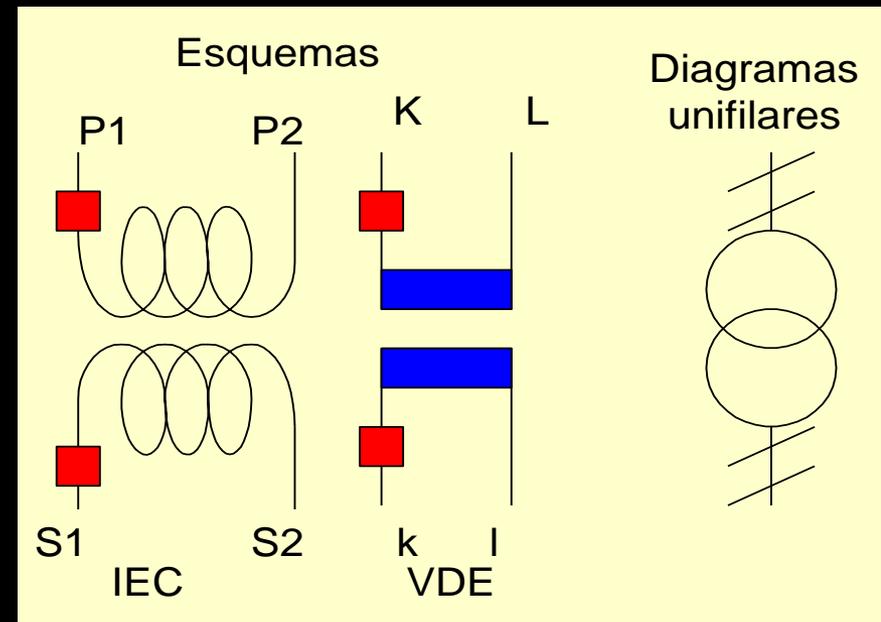
- Transformadores de tensión Capacitivos (TTC)
- Transformadores de tensión inductivos (TTI)



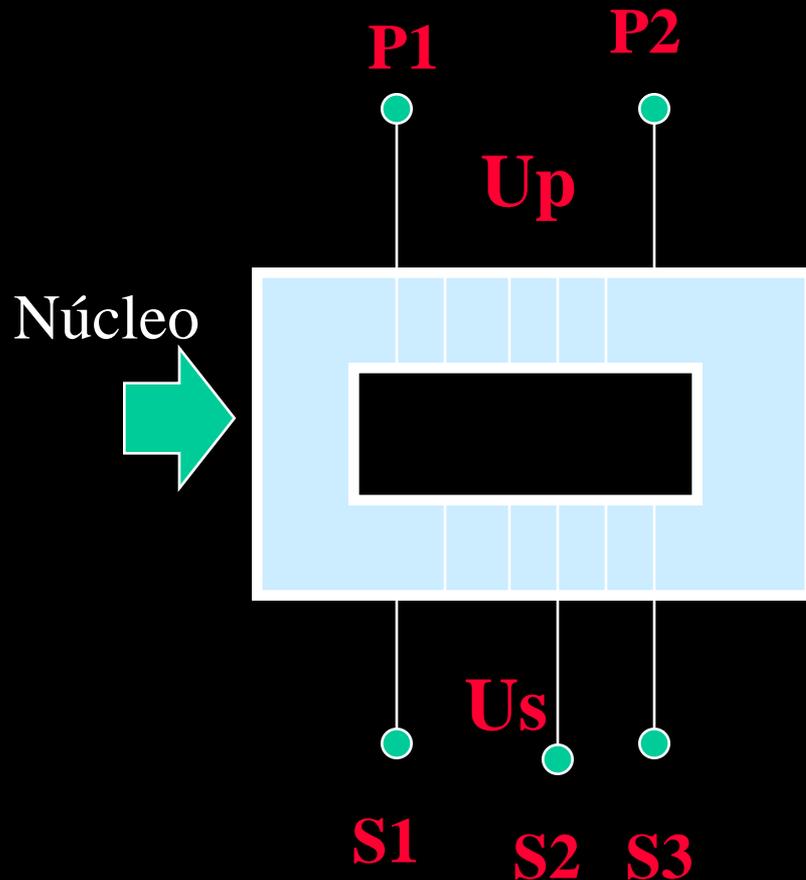
Transformadores de Tensión

Los transformadores de potencial:

- Se basa en la ley de inducción de faraday y lenz
- La tensión secundaria es prácticamente proporcional a la tensión primaria.
- Se diseñan para que trabaje en el codo de saturación y presenten un desfase entre el primario y secundario de cero grados.



Principio constructivo



Errores de tensión

$$E\% = \{(KU_s - U_p) / U_p\} \times 100$$

Relación de transformación

$$U_p / U_s = N_p / N_s = K$$

Tensión inducida

$$U_s = 2,22 N_s \times B \times S \times 10^{-6} \text{ V}$$

P1 y P2 Bornes del arrollamiento primario

S1 , S2 y S3 Bornes del arrollamiento secundario

Clase de precisión

Para una tensión entre 80% y 120% de U_n , con una carga comprendida entre 25% y 100%

Clase 0,1 Laboratorio

Clase 0,2 Patrones portátiles, relés digitales

Clase 0,5 Relés , aparatos de medida

Clase 1,0 Aparatos de cuadro, electromagnéticos

Clase 2,0 Para uso en general

Limites de error de relación y del desfase

Según las Normas UNE

Clase	Error de relación(%)	Desfase (min)
0,1	+ - 0,1	+ - 5
0,2	+ - 0,2	+ - 10
0,5	+ - 0,5	+ - 20
1,0	+ - 1,0	+ - 40
3,0	+ - 3,0	No especificado

Tensiones primarias normalizadas (IEC y UNE)

Tensión nominal de aislamiento (KV)	Tensión nominal primario (V)
0,6	110-220-440
3,6	2200-3300
...	...
72,5	55000-66000
123	110000

Para transformadores monofásicos conexión fase tierra a las tensiones normalizadas debe dividirse entre 1.73

Tensiones primarias normalizadas

Según IEC-86

100,110 y 200 V

Según ANSI :(USA y CANADA)

120 V, para $U_m \leq 34,5$ kV

115 V, para $U_m > 34,5$ kV

230 V, circuitos largos.

POTENCIA o CAPACIDAD NOMINAL

Según IEC: 10-15-25-30-50-75-100-150-200-300-400-500 VA

Según ANSI: 12,5(W)-25(X)-35(M)-75(Y)-200(Z)-400(ZZ) VA

Clase de precisión

Clase de precisión para medición:

Según IEC: 0,1-0,2-0,5-1,0-3,0

Según ANSI: 0,3-0,6-1,2

Clase de precisión para protección:

Según IEC: 3P-6P



Clasificación según ANSI

Grupo 1 Transformadores conexión entre fases

**Grupo 2 Transformadores conexión entre fases
o entre fases y tierra**

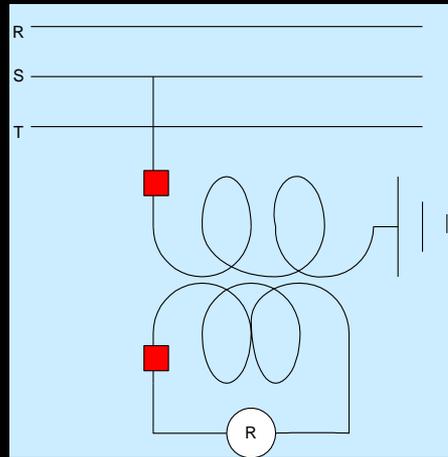
**Grupo 3 Transformadores conexión solo entre
fases y tierra**

Relación de transformación según IEC

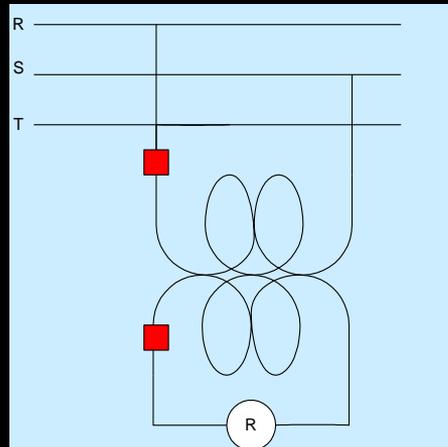
10,15,25,30,50,75,100,150,200,300 y 400

Transformador de Tensión Inductivo

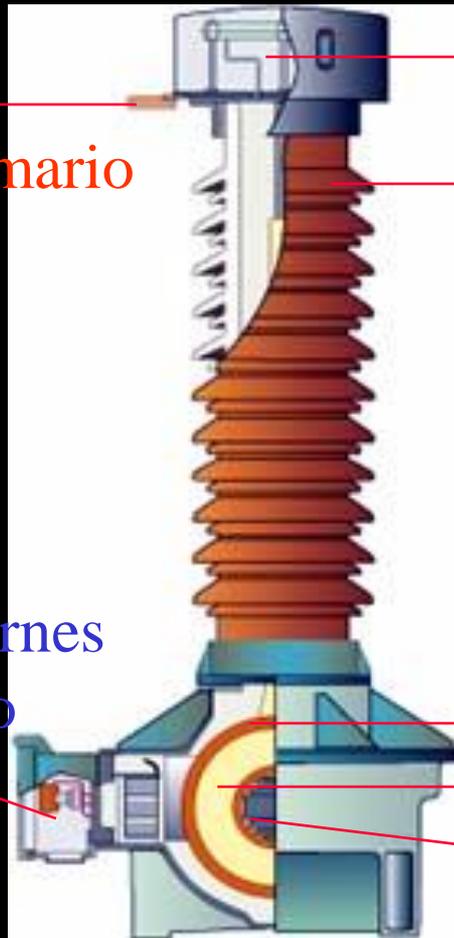
•TTI fase a tierra para tensiones mayores a 30kV



•TTI fase a fase para tensiones menores a 30kV



Transformador de Tensión Inductivo monofásico puesto a tierra



borne primario

depósito de expansión de aceite

aislador de porcelana

caja de bornes secundario

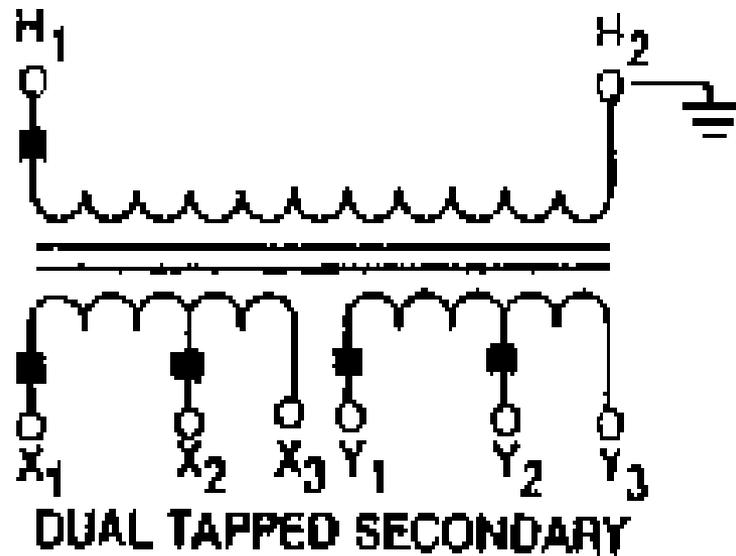
arrollamiento primario

arrollamiento secundario

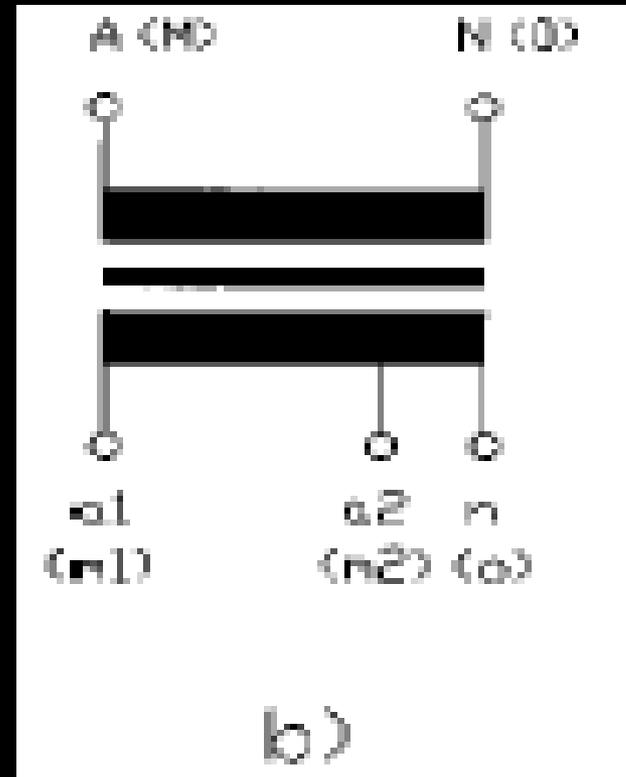
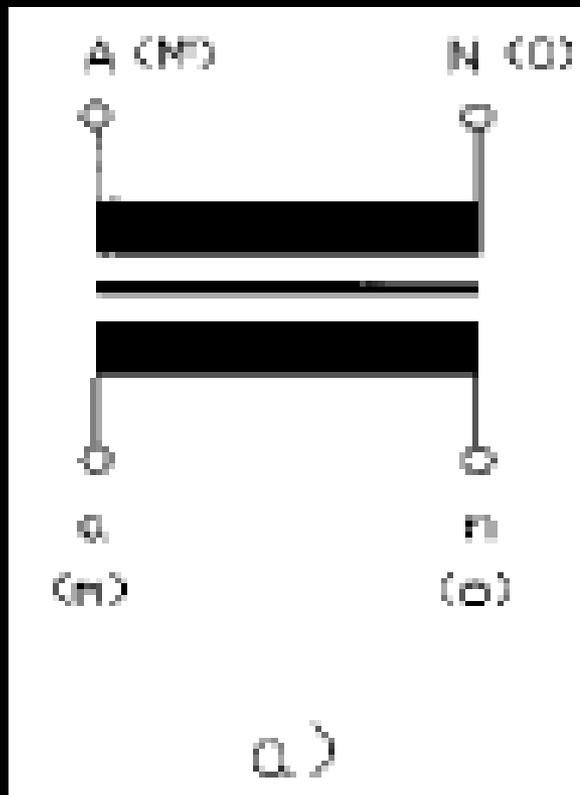
núcleo de chapa magnética

Esquema de conexión TTI

- H1,H2 lado de alta tensión.
- X,Y lado de baja tensión.
- Se acostumbra varios secundario para protección, medición y otros circuitos

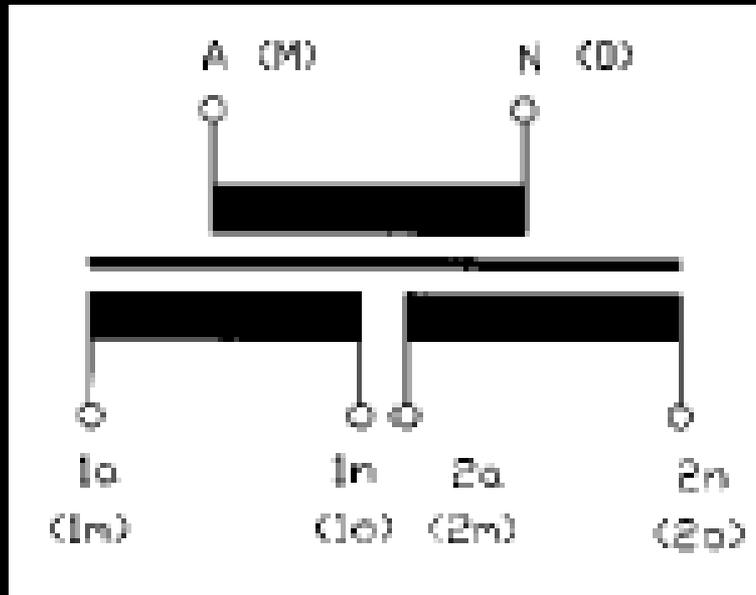


Esquema de conexión TTI

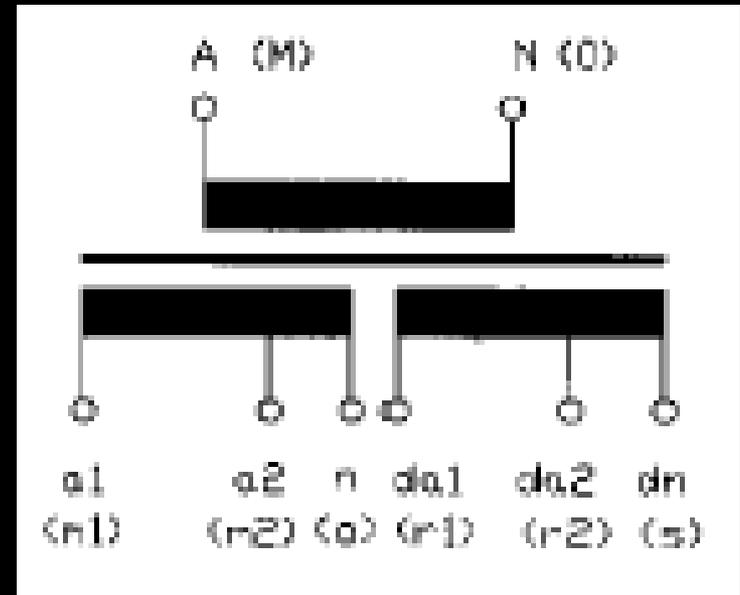


- a) Transformador de aislamiento simple polo
- b) Transformador de aislamiento simple polo con taps

Esquema de conexión TTI



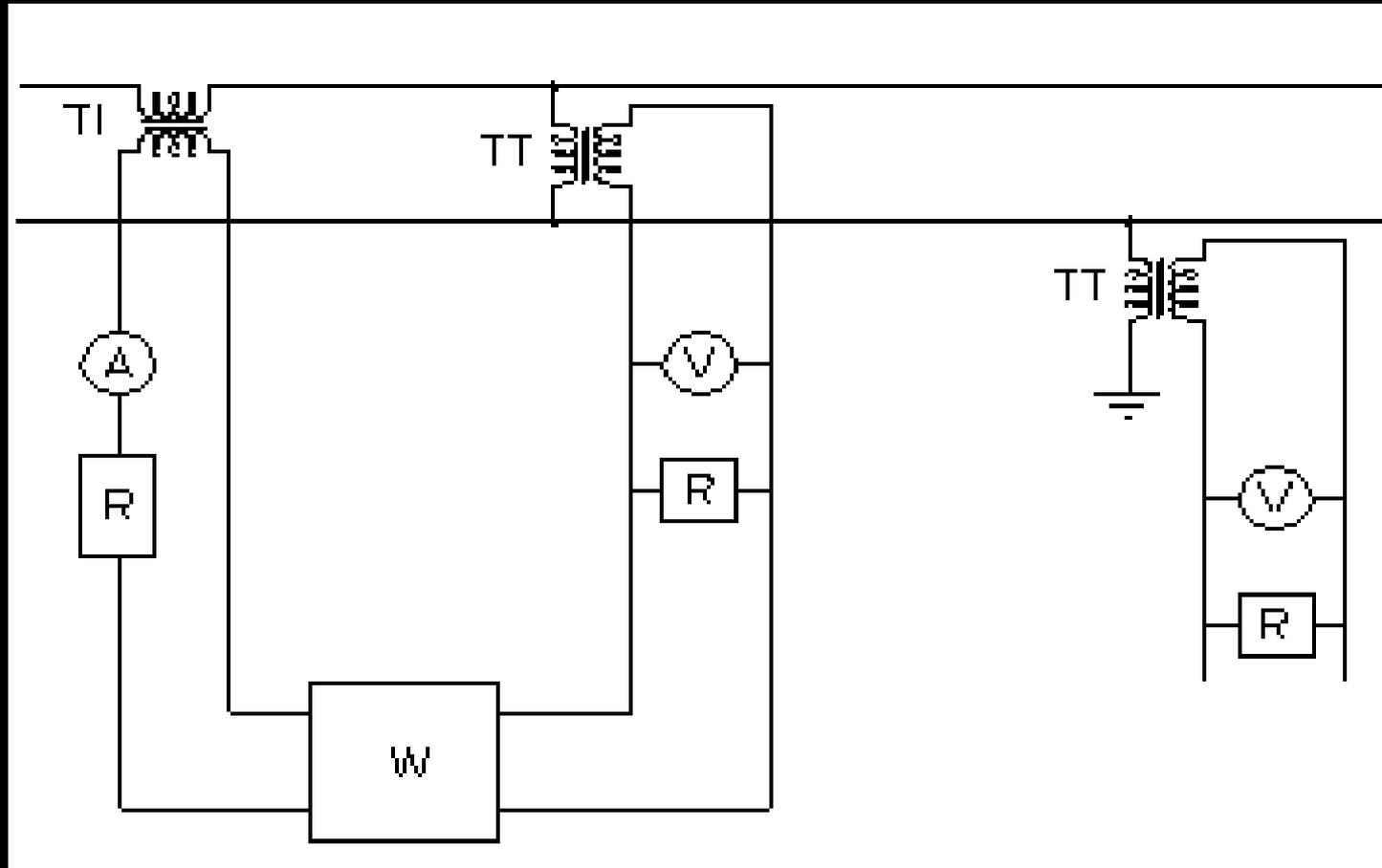
c)



d)

- c) Transformador con dos devanados secundarios
- d) Transformador con dos devanados secundarios, TAP y un devanado auxiliar que puede ser utilizado como residual.

Esquema de conexión TTI



Elección del TT

- **Tipo de instalación:** Interior o intemperie
- Nivel de aislamiento y frecuencia nominal.
- **Relación de transformación:** Esta debe ser normalizada
- **Clase de precisión:** Se elige en base a la utilización que se le da al transformador.
- **Número de secundarios:** si se desea varios niveles de tensión en el secundario, o si se desea realizar protección y medida .
- **Detalles constructivos:** Montaje ,conexión entre fases o tierra.

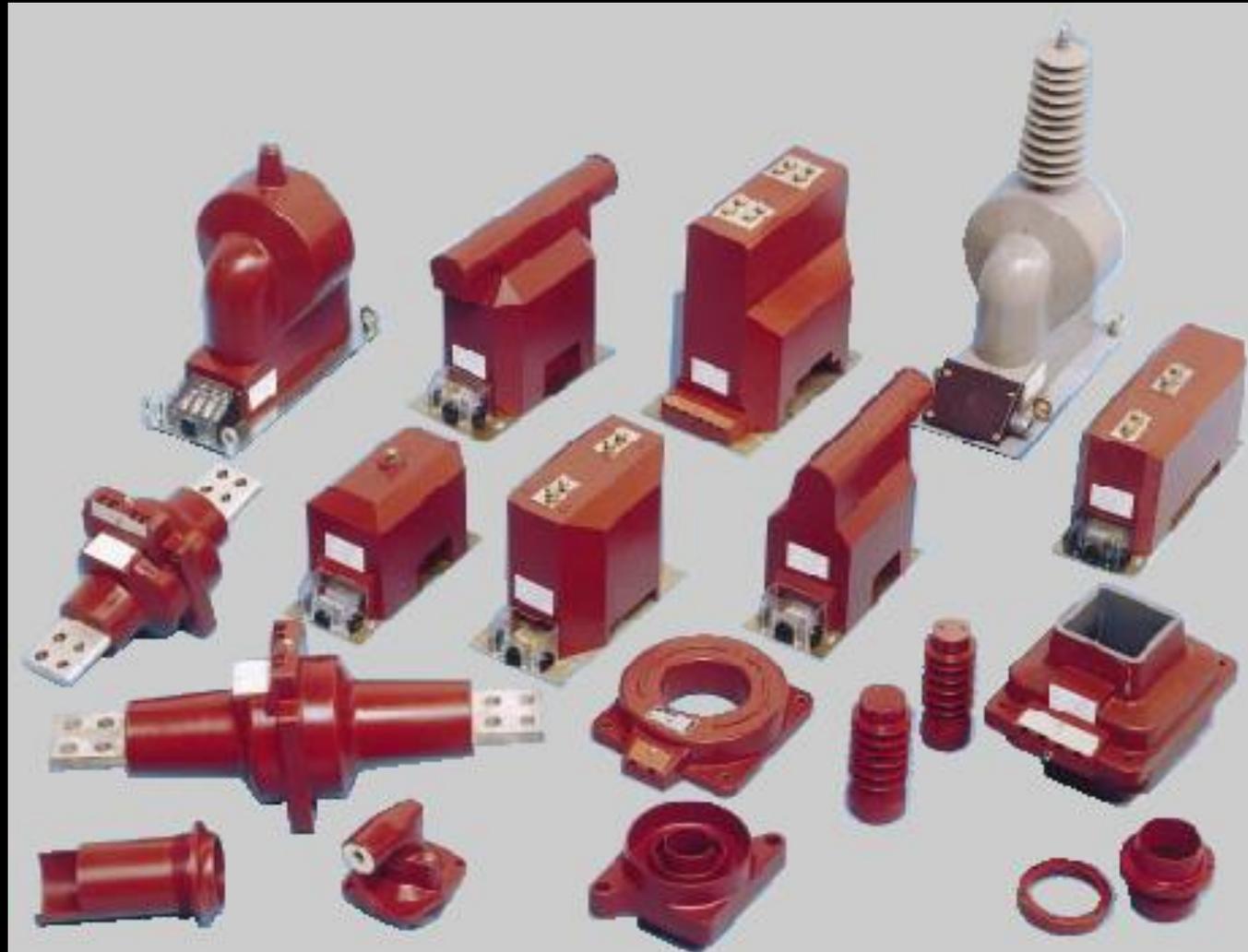


Elección del TT

Primary voltage, V	Secondary winding			Residual winding		
	voltage, V	accuracy	burden, VA	voltage, V	accuracy	burden, VA
10000/3	100/3	0,2	10,15,25			
10000/3	100/3	0,2	10,15,25	100/3	6P	50
10000/3	100/3	0,2	10,15,25	100/3	6P	100
10000/3	110/3	0,2	10,15,25			
10000/3	110/3	0,2	10,15,25	110/3	6P	50
10000/3	110/3	0,2	10,15,25	110/3	6P	100
10000/3	100/3	0,5	15,25,50			
10000/3	100/3	0,5	15,25,50	100/3	6P	50
10000/3	100/3	0,5	15,25,50	100/3	6P	100
10000/3	110/3	0,5	15,25,50			
10000/3	110/3	0,5	15,25,50	110/3	6P	50
10000/3	110/3	0,5	15,25,50	110/3	6P	100
10000/3	100/3	1	50,75,100			
10000/3	100/3	1	50,75,100	100/3	6P	50
10000/3	100/3	1	50,75,100	100/3	6P	100
10000/3	110/3	1	50,75,100			
10000/3	110/3	1	50,75,100	110/3	6P	50
10000/3	110/3	1	50,75,100	110/3	6P	100

Transformador de Corriente

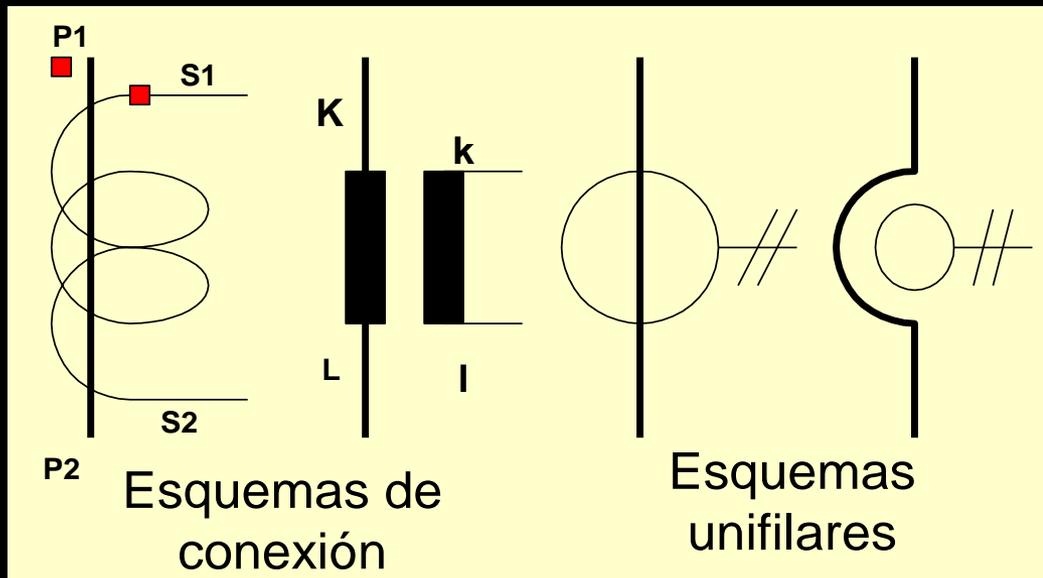
A diferencia de los TP los de corriente ya no guardan parecido constructivo con los transformadores de potencia.



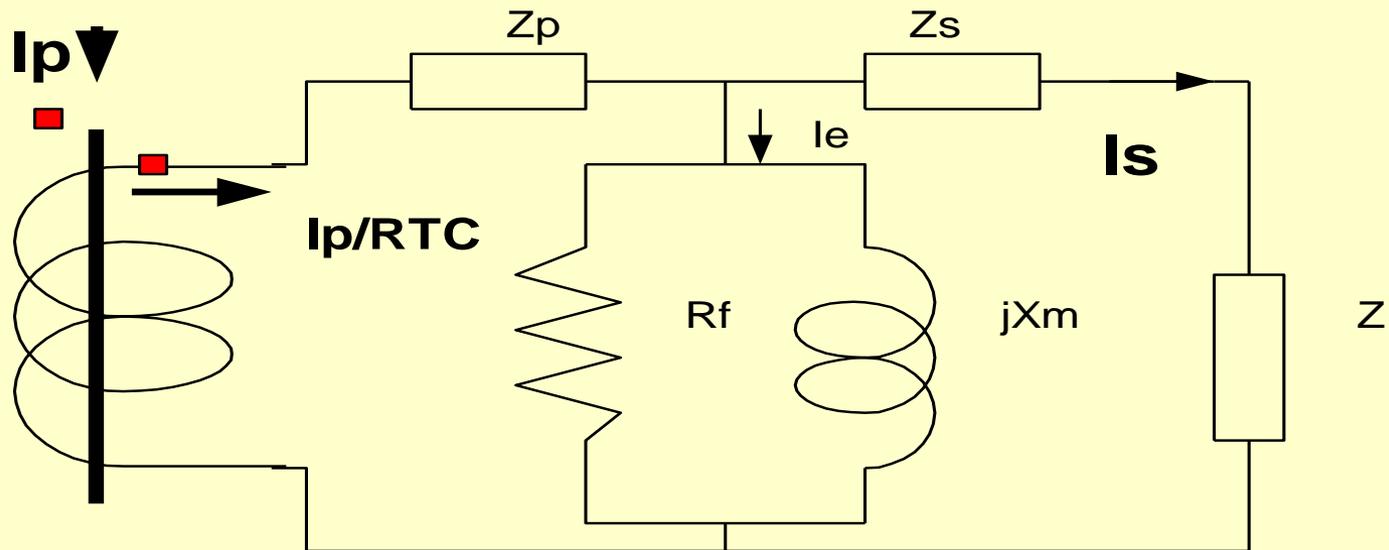
Funciones básicas de un TC

- **Reproducir el comportamiento de las señales de corriente en magnitudes reducidas independientemente de la condición de operación.**
- **Proporcionar aislamiento galvánico entre el sistema eléctrico y los equipos conectados al secundario**
- **Realizar funciones de protección y/o medición.**

Símbolos y esquemas



Circuito equivalente



X_m :reactancia equivalente de magnetización del nucleo.
 R_f :Resistencia equivalentede perdidas del nucleo(parasitas y histerisis del nucleo

Error de medición de Intensidad e%

$$I_p/RTC = I_e + I_s \quad I_s = I_p/RTC - I_e \quad e\% = [(RTC I_s - I_p)/ I_p] \times 100$$

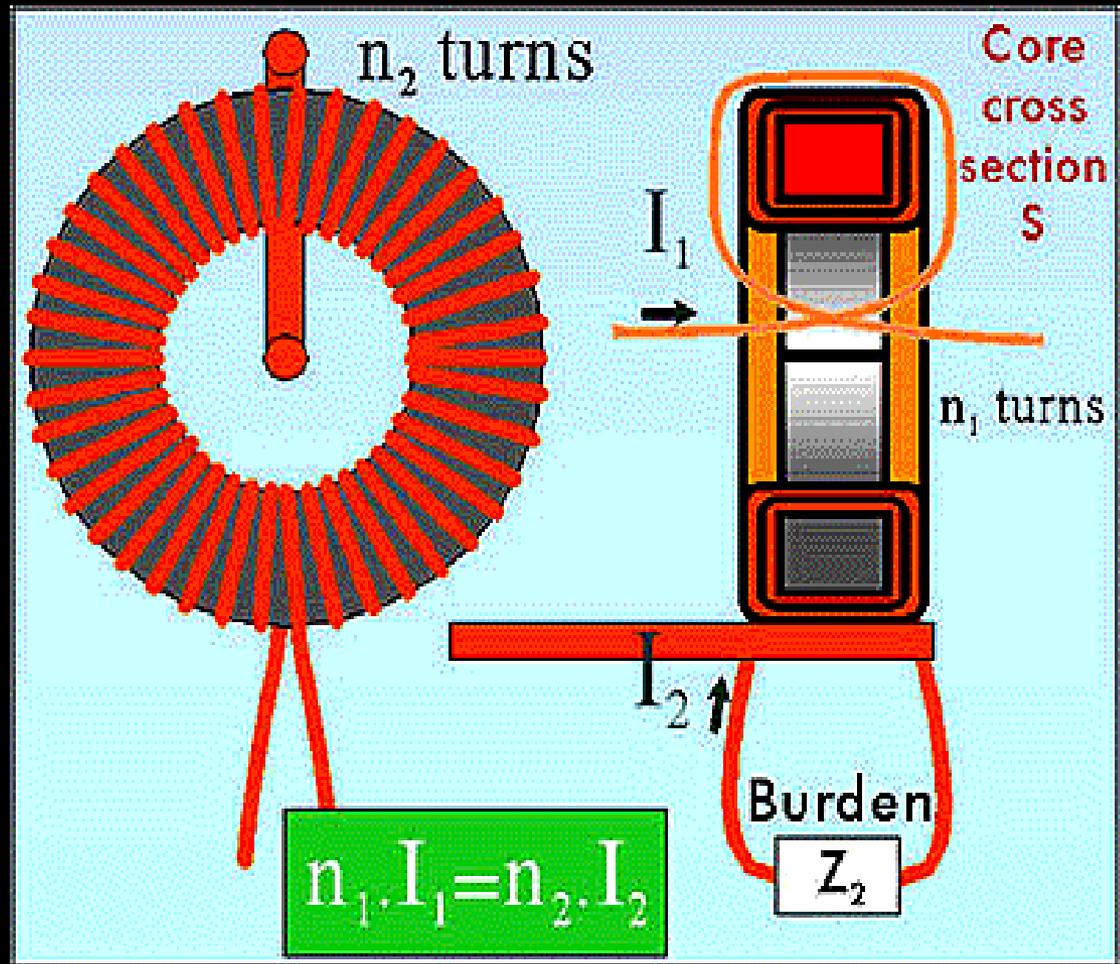
Régimen de cortocircuito: $I_e \Rightarrow 0$

Régimen de circuito abierto: $I_e \Rightarrow I_s$

Características

El TC se diseña para que en condiciones normales de operación la corriente del primario y secundario son prácticamente proporcionales y desfasada un ángulo próximo a cero

$$I_s = I_p / RTC$$



Detalles constructivos de transformador de corriente



Los núcleos para los AOK son montados en una cápsula especial de aluminio.

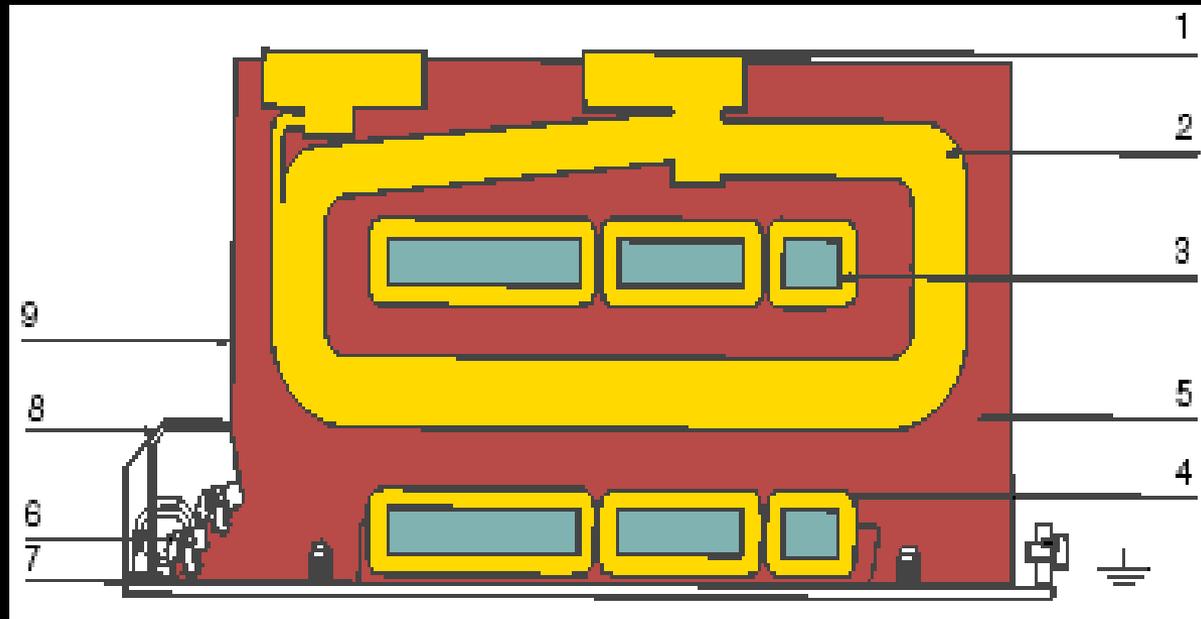


Los AOK, transformadores de corriente con el núcleo en la parte superior son dimensionados para muy altas tensiones.



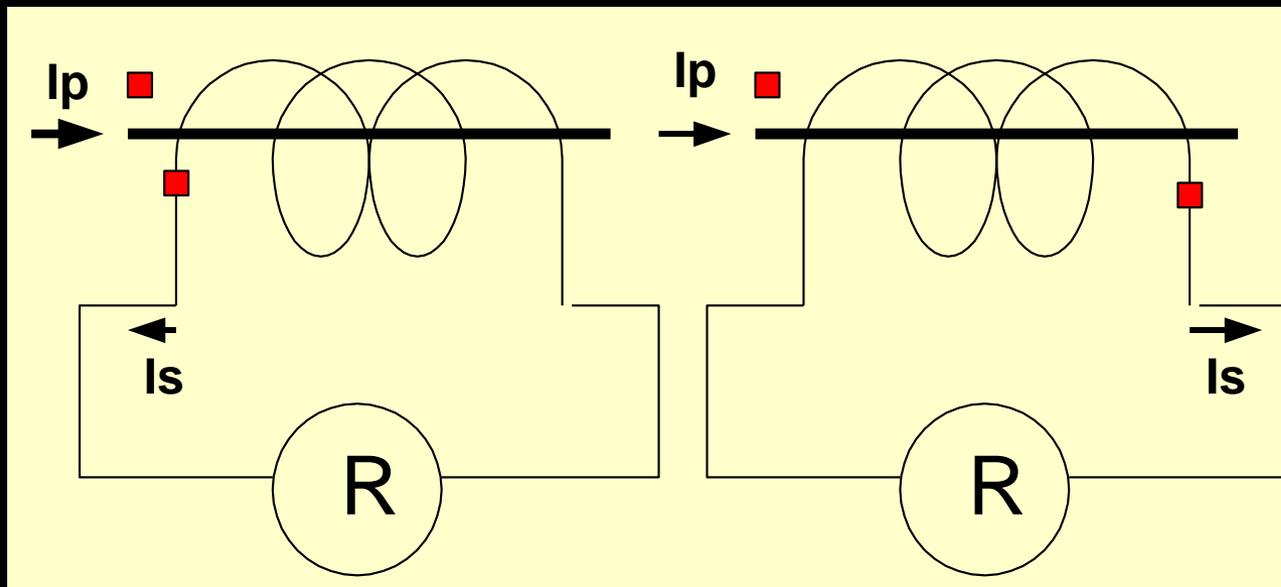
El aislamiento del conductor primario, "horquilla de pelo" para los IMB.

Detalles del transformador de corriente



1. Terminal de MT
2. Devanado primario
3. Circuito magnético
4. Devanado secundario
5. Rrelleno epoxi
6. Terminales secundarios

Polaridades en Transformadores



Si I_p entra por la marca e I_s sale por la marca las corrientes I_p e I_s están en fase.

Relación de transformación (RTC)

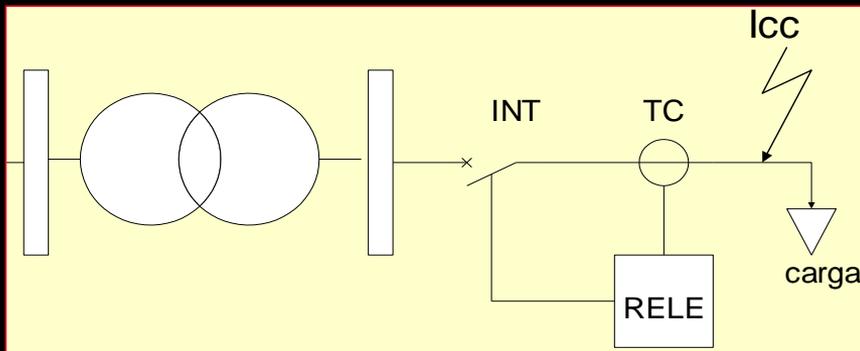
$$\text{Si } F_{mp} - F_{ms} = R\phi$$

$$N_p I_p - N_s I_s = 0 \quad (\text{núcleo ideal})$$

$$I_s = I_p \times N_p / N_s$$

$$I_s = I_p / \text{RTC}$$

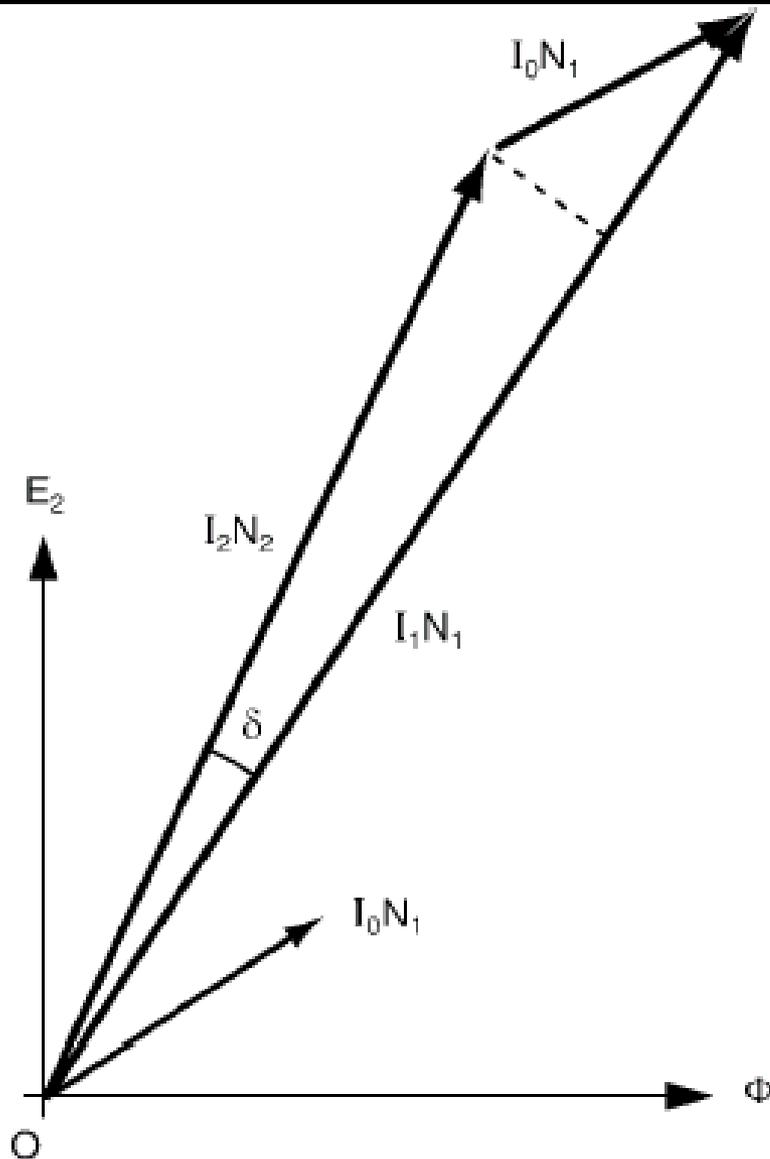
$$\text{RTC} = N_s / N_p = I_p / I_s$$



$$\text{Si ; RTC} = 200/5, I_{cc} = 10 \text{ kA}$$

$$\text{la } I_{rele} = 10000/40 = 250 \text{ A}$$

Diagrama fasorial



δ : error de ángulo

Error de amplitud

$$\mathcal{E}(\%) = \frac{K \cdot I_2 - I_1}{I_1} \times 100$$

$$N_1 \cdot \bar{I}_1 - N_1 \cdot \bar{I}_0 = N_2 \cdot \bar{I}_2$$

Corrientes primarias nominales normalizadas

10-12,5-15-20-25-30-40-50-60-75-100-150-200-300-4000 y sus múltiplos que se aplican a la menor intensidad primaria nominal.

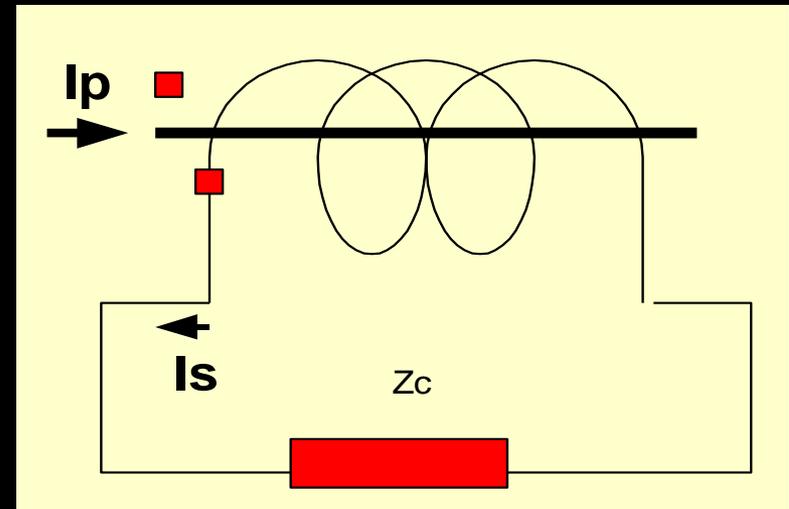
Corrientes secundarias normalizadas :5 y 1 ; cuando los TC se conectan en Triángulo los valores son divididos entre 1,73



Carga nominal, BURDEN

Potencia nominal normalizada:

2,5 – 5,0 – 10 – 15 – 30 VA



$$Z_{carga} = \rho_{CU} \frac{L}{S} + \sum Z_{reles}$$

$$S_{burden} = I_{n2}^2 (\sum Z_{n2})$$

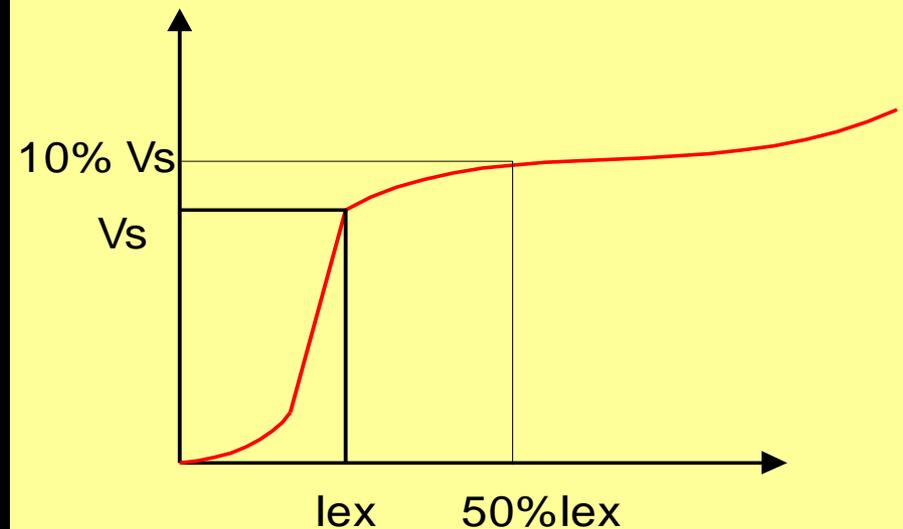
$$S_{burden} = \sum P + j \sum Q$$



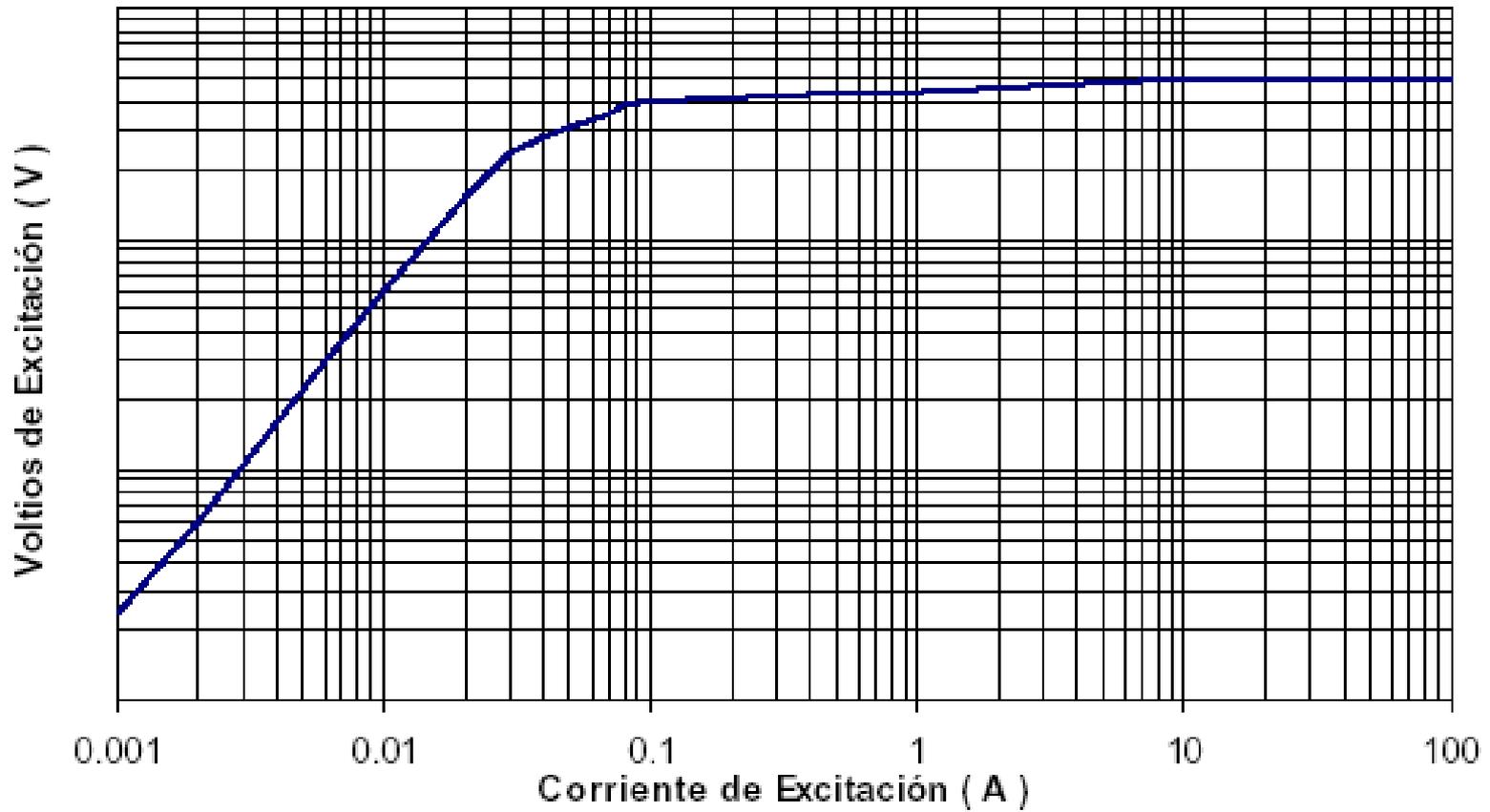
Clase de precisión

La saturación del núcleo influye en la precisión del TC , ya que está diseñado para trabajar permanentemente en el codo de saturación en el cortocircuito

LA SATURACIÓN DEL NUCLEO DEL TC INFLUYE EN LA PRECISIÓN

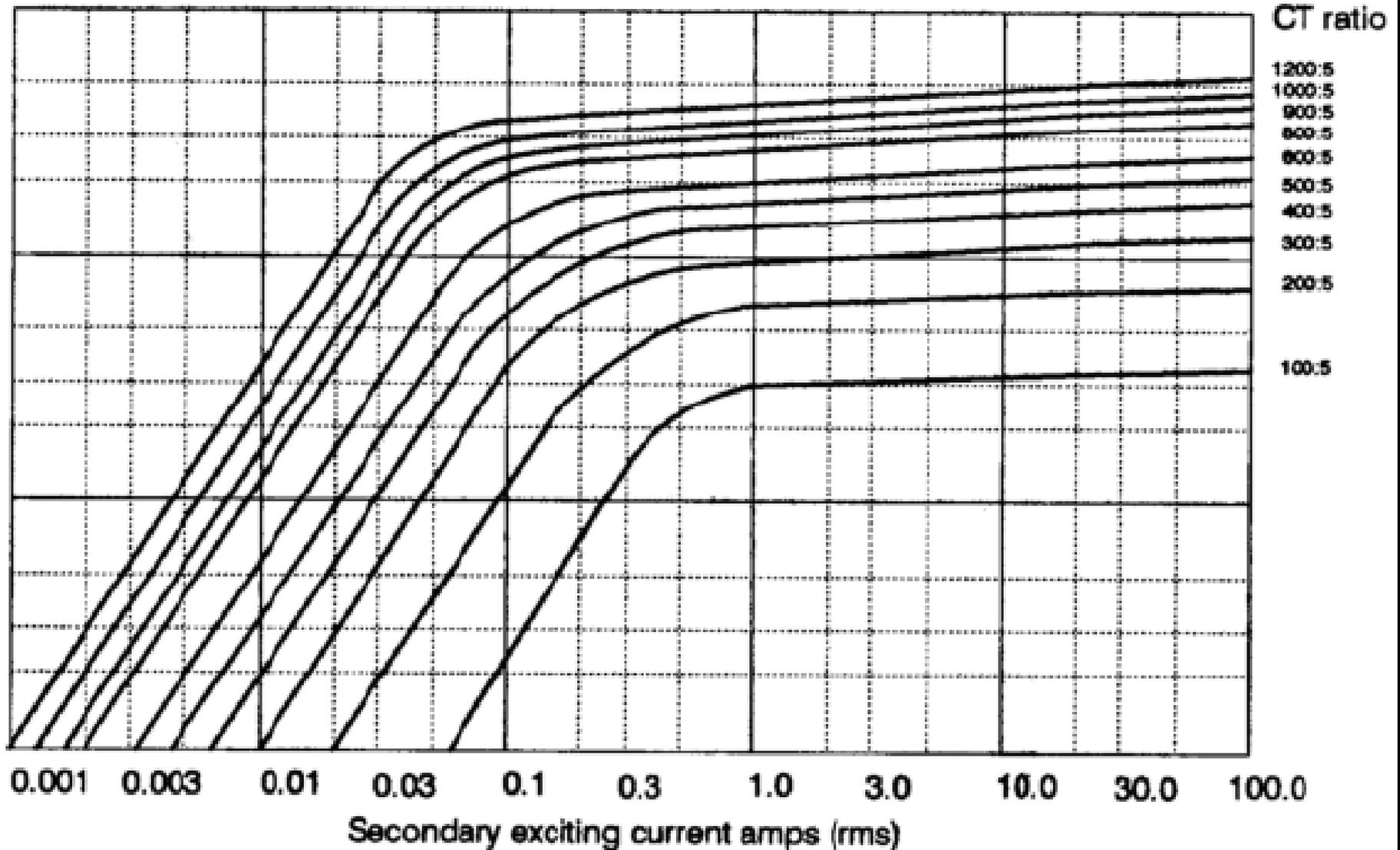


Curva de Excitación

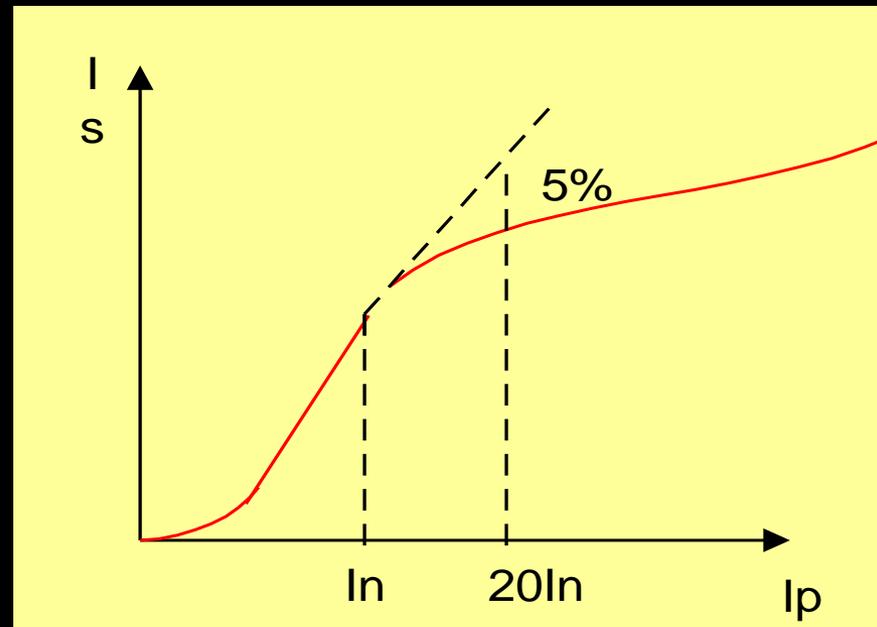
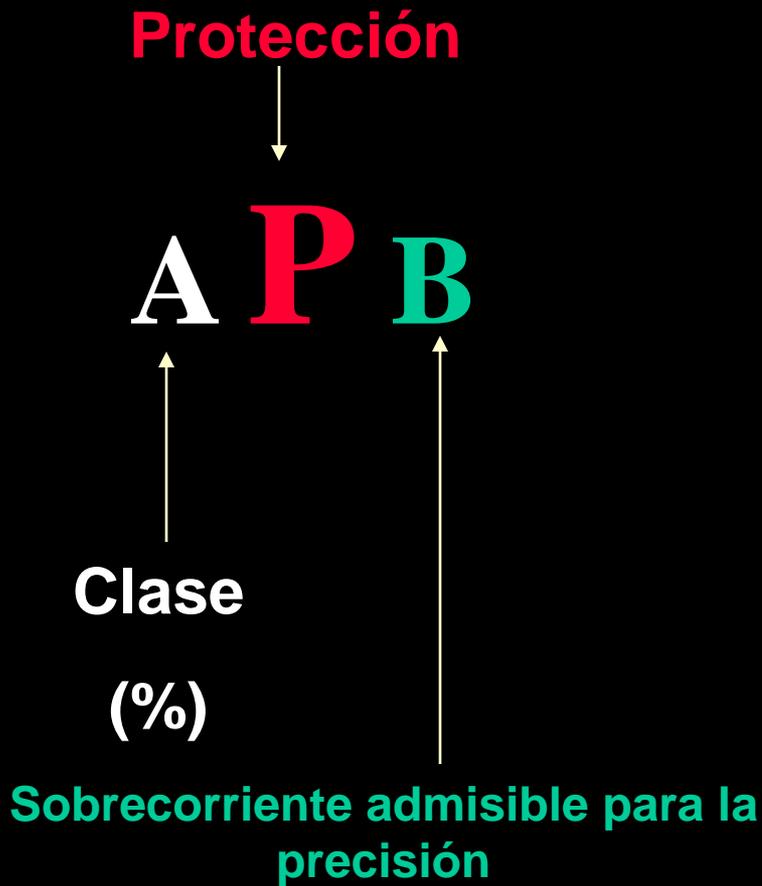


Curva de excitación transformador de corriente 2000:5 A

Curvas de excitación del TC



Clase de precisión



Ej.. 5P20 significa 5% de error a $20I_n$

Clase de precisión

Clase de precisión para medición:

0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3 - 5

Clase de precisión para protección:

5P – 10P - 15P – 20P – 30P

Error: Para protección:

$$\varepsilon = \frac{100}{I_P} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_s - i_p)^2 dt}$$

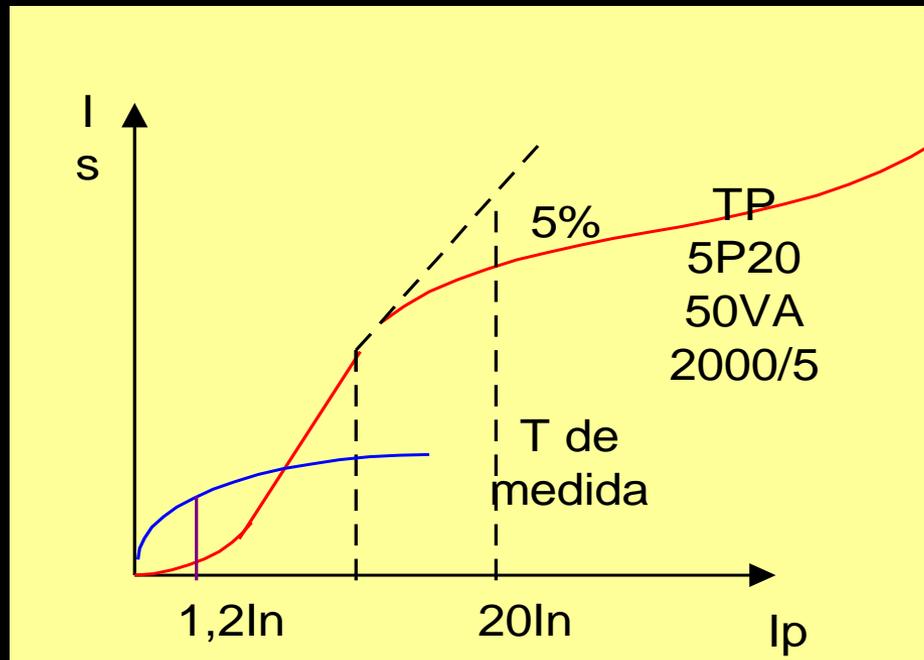
Donde:

I_p = Corriente del primario, i_s = valor instantáneo del secundario

I_p = valor instantáneo del secundario, T = duración del ciclo.



Diferencia entre T medida y T protección



La diferencia esta en la magnitud de saturación y depende de su error

Comportamiento ante los cortocircuitos

Corriente de calentamiento: Deben soportar su intensidad de calentamiento nominal sin que la temperatura de los arrollamientos sobrepase el valor admisible, según la clase de aislamiento.

I limite de calentamiento en p.u. de I_n

UNE/VDE	ANSI	BS/IEC
----------------	-------------	---------------

1,2		
------------	--	--

	1	
--	----------	--

		1
--	--	----------

	1,3	
--	------------	--

	1,5	
--	------------	--

	2	
--	----------	--

Comportamiento ante los cortocircuitos

Al circular la I_{cc} crea problemas térmicos y dinámicos en el transformador:

Corriente térmica(Limite térmico): Es la máxima corriente primaria valor eficaz que puede soportar el TC durante un segundo sin provocar daños debido al calentamiento con el secundario en cortocircuito.

Corriente dinámica: Es el valor pico de la corriente primaria, que soporta el TC sin sufrir daño físico debido al esfuerzo electromagnético , estando el secundario en cortocircuito.

Comportamiento ante los cortocircuitos

$$I_{th} = S_{cc}/(1,73 U_n)$$

$$I_{din} = 2,5 I_{th}$$

(UNE/IEC)

$$I_{din} = 2,83 I_{th} \text{ (ANSI)}$$

Los transformadores de corriente trabajan permanentemente con el secundario en cortocircuito, caso contrario se destruyen.



Transformadores de Medida Óptico Digital



DOIT

- 1. Ventajas Técnicas**
- 2. Ventajas económicas**
- 3. Seguridad mejorada**
- 4. Posibilidad de integración con otros equipos.**

Descripción técnica



- **Rango de aplicaciones**

1. **Tensión del sistema 20-765 kV**
2. **Corriente nominal 50-5000 A**
3. **Rango de temperatura $-50 +50$**
4. **Longitud de cable óptico max 800m**

- **Performance**

1. **Exactitud de medición 0,5%**
2. **Exactitud de protección**

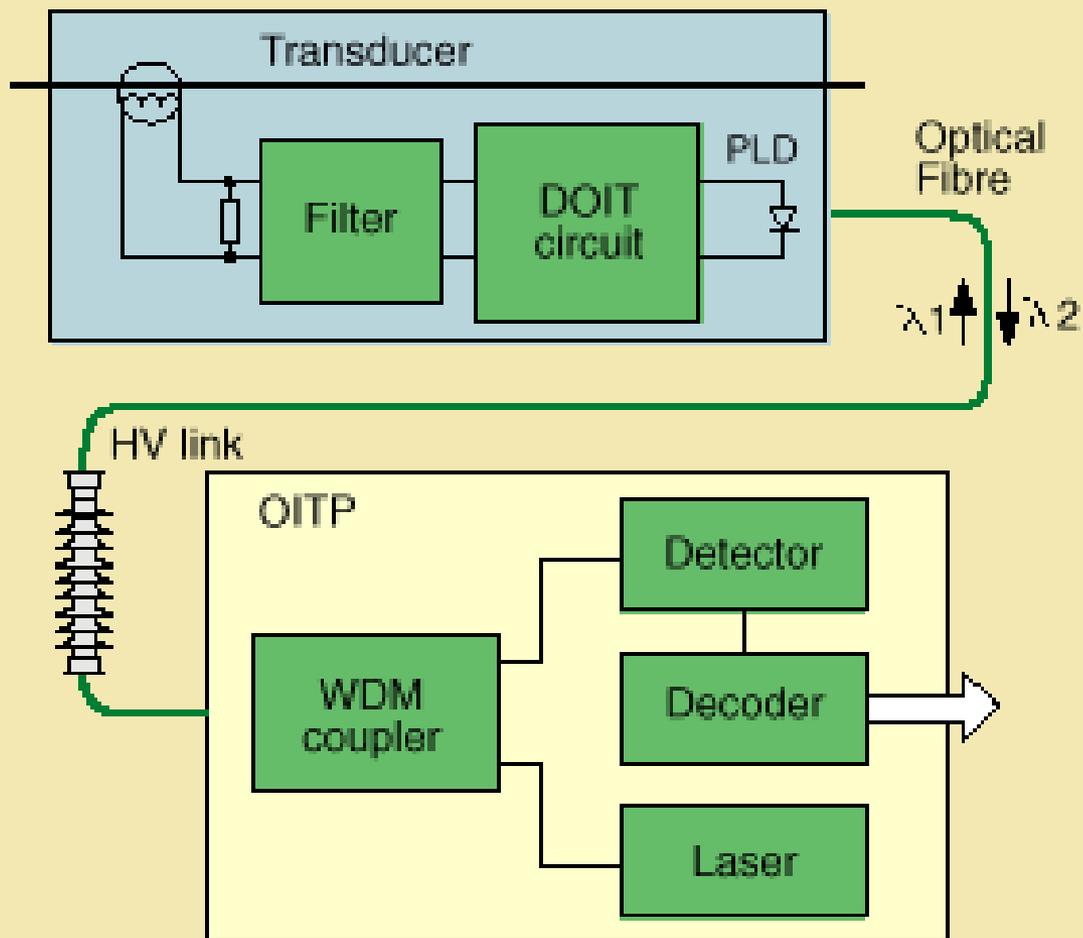
DOCT

DOVT

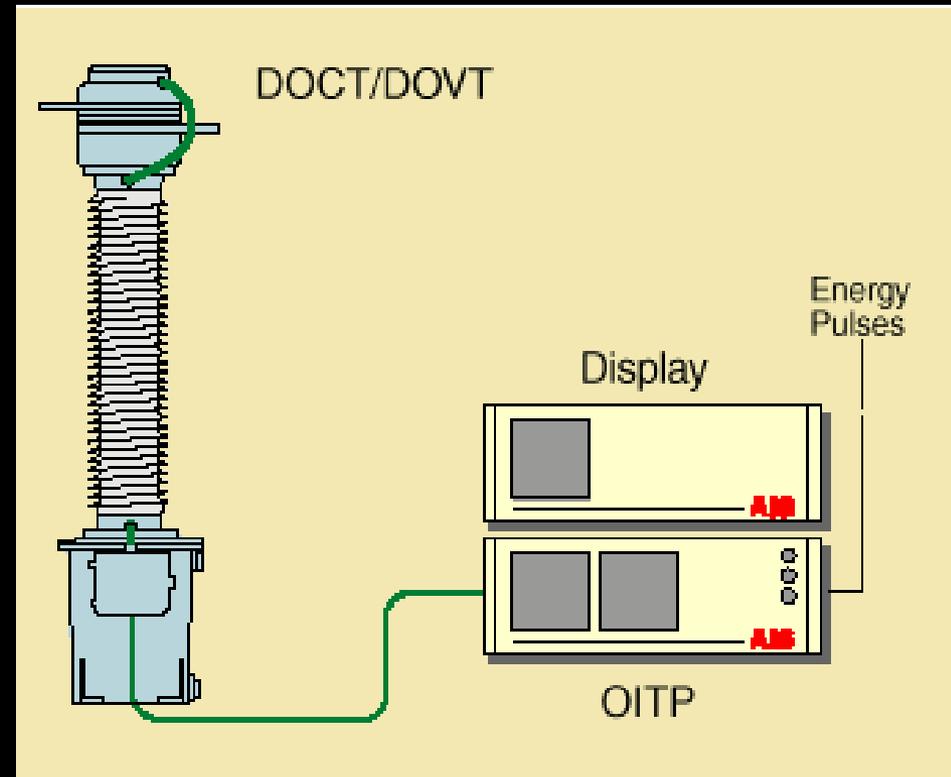
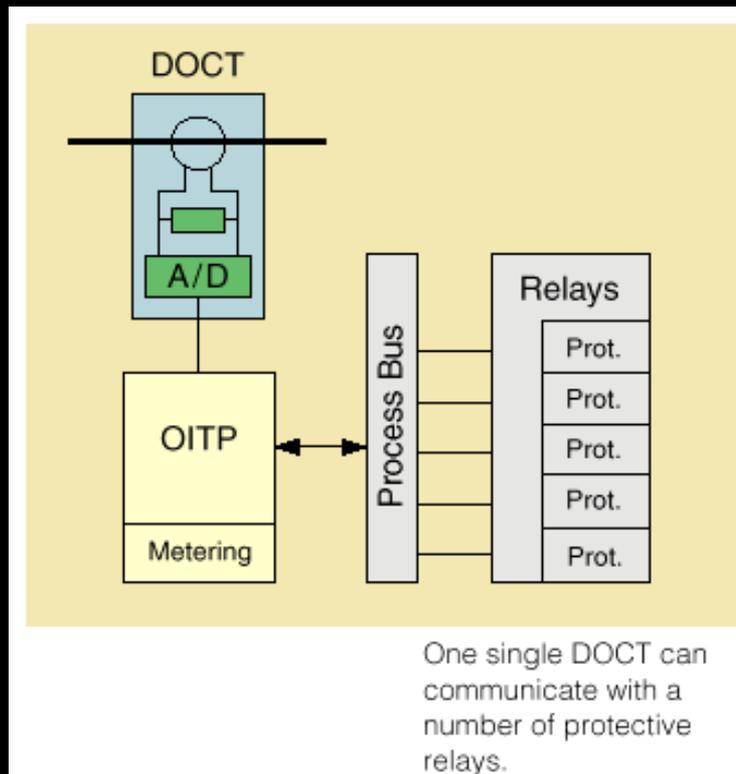
5P

3P

Transformador de corriente ópticos digitales



Transformador de corriente óptico digital



A DOIT Metering System consists of digital optical transducers and an OITP with display

RESUMEN



- **Ventajas técnicas**

1. **Conversión A/D en la fuente**
2. **Bajo peso y reducido volumen**
3. **Inmune a ruidos electromagnéticos**
4. **Longitud de cable óptico max 800m**

- **Ventajas económicas**

1. **Compacta y fácil instalación**
2. **Bajo costo de transporte**
3. **Comunicación fibra óptica**

- **Seguridad**

1. **Alta resistencia mecánica**
2. **Mayor seguridad en el caso de fallas**
3. **Auto supervisión**

- **Posibilidad de integración**

Transformador de corriente ópticos

Range of Applications

System voltage:	72-765 kV
Rated current:	50-4000 A
Amb. temperature range:	-50 – +40 °C
Optical cable length:	max 800 m

Accuracy

	DOCT	DOVT
Protection accuracy	5P*	3P**
Metering accuracy***	Total system accuracy 0.5 %	

* Short-time current $I_{th} = 63 \text{ kA/1 s}$

** Voltage factor $V_f = 1.9/8 \text{ h}$

*** A DOIT Metering System with total system accuracy of 0.5 % corresponds to a conventional metering system with transformer accuracy of class 0.2.