



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



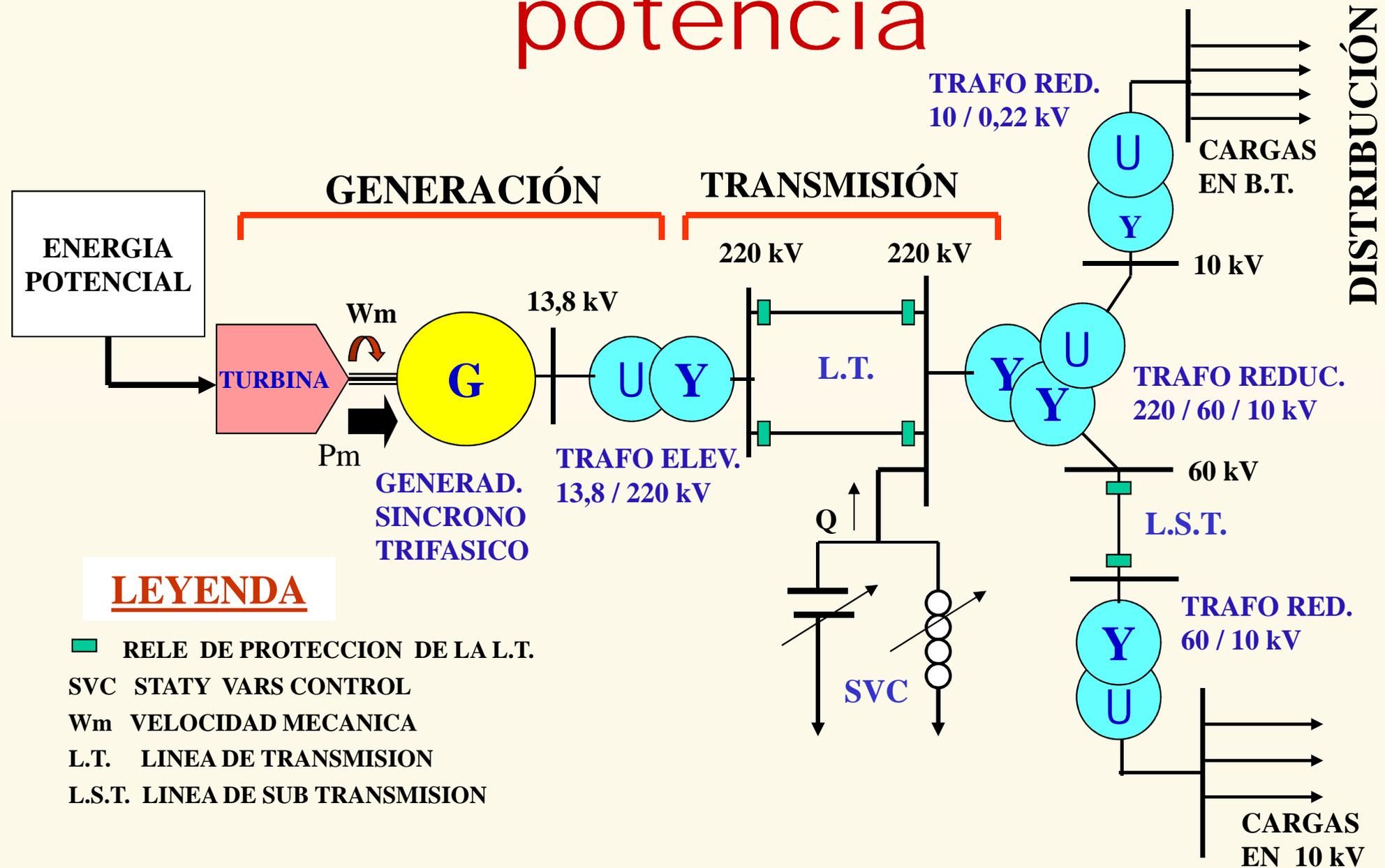
MATERIAL DE ENSEÑANZA

094C Protección de Sistemas de Potencia

ASPECTOS GENERALES

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

Elementos de un sistema de potencia



Control del sistema de potencia

Control en Condiciones Normales de Operación:



Control de Frecuencia.

- $P_G > P_C$, entonces la “f” se incrementa.
- $P_G < P_C$, entonces la “f” disminuye.

Control de Tensión.

- Verificar los niveles de caída de tensión $\pm 5\% V_N$.

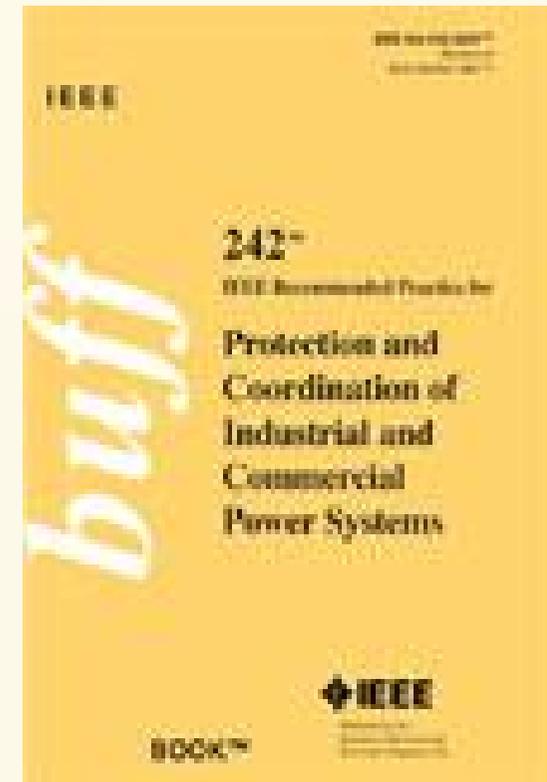
Operación Económica.

- Coordinación de los niveles de generación a mínimo costo.

Control del sistema de potencia

Control Durante los Disturbios:

- Protección de los elementos del sistema.
- Protección del sistema.
- Recierre (Re-enganche) automático.
- Transferencia automática a alimentaciones alternativas.
- Sincronización automática.



Características de los sistemas de potencia modernos

- ❑ Los sistemas de potencia operan cerca de los límites de seguridad.
 - Grandes unidades de generación.
 - Largas líneas de transmisión.
 - Redundancia reducida.
- ❑ Son comunes los productores de energía independientes.

IEEE Press & CRC Press Published



Institute of Electrical and
Electronics Engineers, Inc.

IEEE Book™

Electric Power Engineering

HANDBOOK

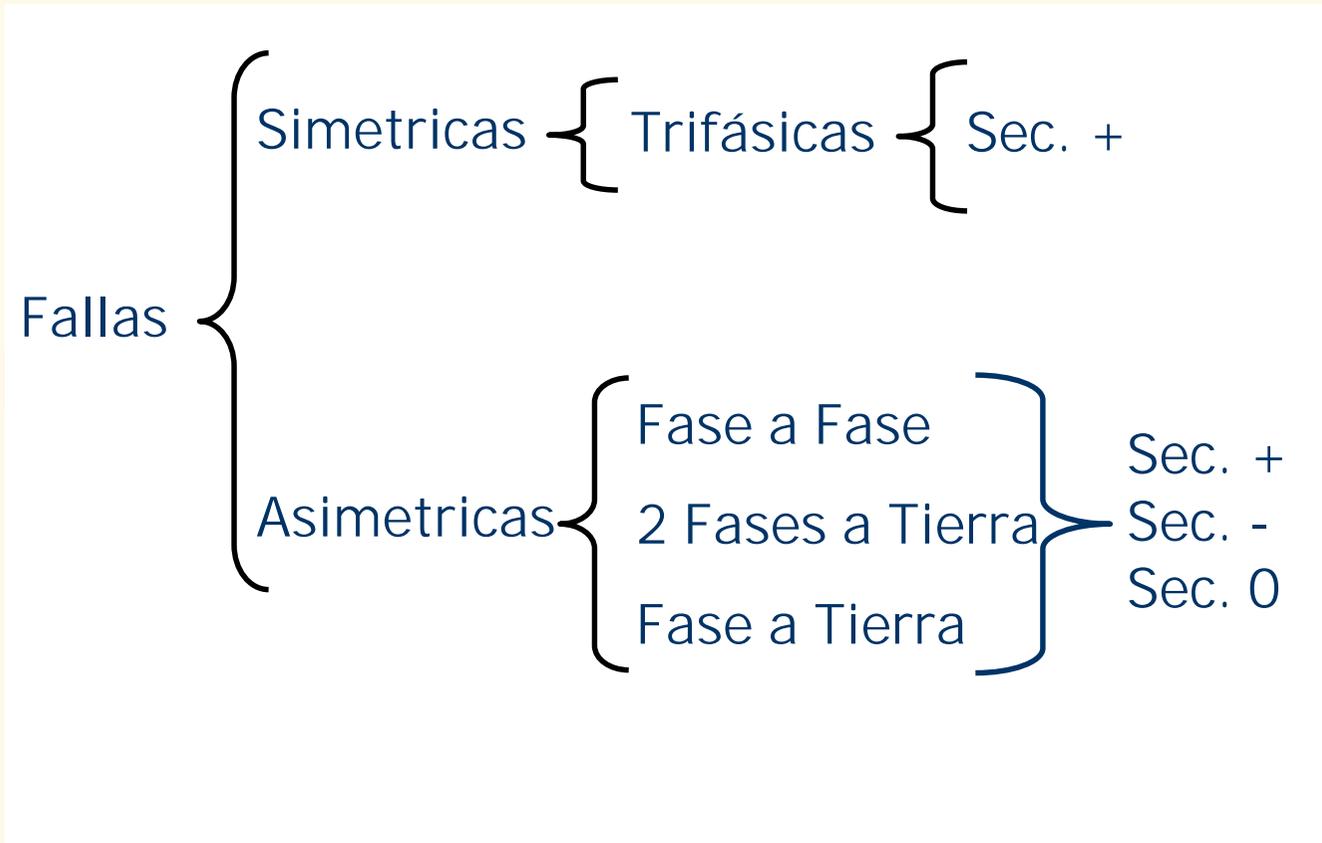
LEONARD L. GRIGSBY

Copyright by IEEE™ - 2001

Published by the
Institute of Electrical and
Electronics Engineers, Inc.

Fallas en los sistemas de potencia

- ❑ Cortocircuitos.
- ❑ Contactos a tierra.
 - Sistemas con neutro aislado.
 - Sistema con neutro puesto a tierra a través de una alta impedancia.
- ❑ Fases abiertas.



Fallas en los sistemas de potencia

Distribución típica

TIPOS

- Monofásico a tierra.
- Cortocircuito bifásico
- Cortocircuito bifásico a tierra.
- Cortocircuito trifásico
- Otros.

NATURALEZA

- Temporales 74%
- Permanentes 26%

LOCALIZACIÓN

- En el poste 23%
- En el tramo 77%

Cortocircuitos

Distribución típica

- ❑ Monofásico a tierra: 70 – 80%
- ❑ Bifásico a tierra: 10 – 17%
- ❑ Bifásico: 8 – 10%
- ❑ Trifásico: 2 – 3%



Fallas en los sistemas de potencia

Fallas temporales

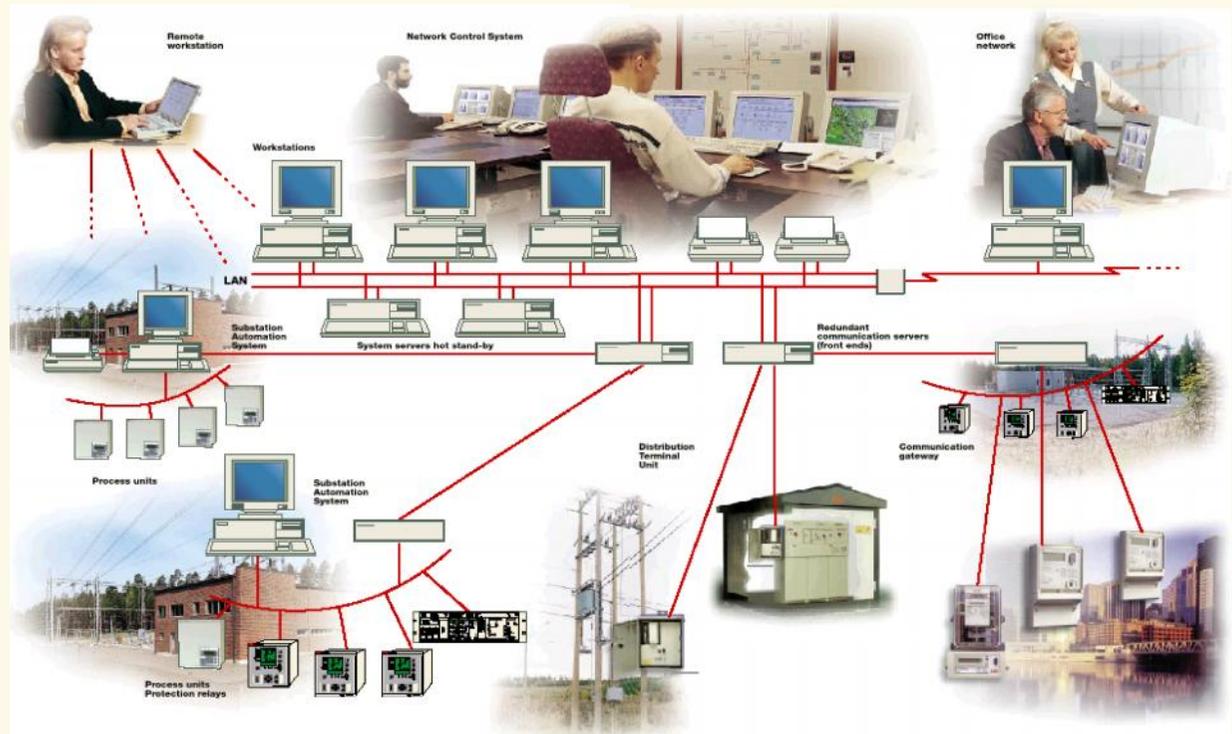
- Flameo de aisladores, debido a descargas atmosféricas.
- Caída de ramas sobre conductores
- Contacto momentáneo entre conductores.
- Arcos por contaminación.



Fallas en los sistemas de potencia

Fallas permanentes

- Caída de conductores
- Contacto entre conductores de distintas fases.
- Fallas de aislamientos en los cables y equipos de redes subterráneas.



La N.T.C.S.E. (Resumen)

Calidad de comercial



- Trato al cliente
- Medios de disposición al cliente
- Precisión de la medida de la energía

Calidad de A.P.



- Nivel de iluminación de las vías

Calidad del producto



- Tensión
- Perturbaciones
- Frecuencia

Calidad de suministro



- Frecuencia Interrupciones por Usuario
- Duración Interrupciones por Usuario

Ámbito de la N.T.C.S.E.

Aspecto	Variable	Tolerancia	Normatividad
Calidad del producto	Variación de tensión	$\pm 5\% V_n$	NTCSE
	Variaciones de frecuencia	$\pm 1 \text{ Hz}$	
	Perturbaciones	Pst 1 De acuerdo a requerimiento	
Calidad de suministro	Interrupciones	AT: 02 int – 4 hr/sem MT: 04 int – 7 hr/sem BT: 06 int – 10 hr/sem	NTCSE
Calidad de servicio comercial	Trato al cliente	De acuerdo a requerimiento	NTCSE
	Medios de atención		
	Precisión de medida de la energía		
Calidad de alumbrado público	Nivel de iluminación	10% de alumbrado deficiente	NTCSE

Objetivos de los sistemas de protección

- ❑ Conocer los **tipos de fallas y las perturbaciones** a las que están expuestos los sistemas eléctricos.
- ❑ Aprender la **importancia de las protecciones** contra sobrecargas, cortocircuitos y diferentes tipos de fallos que se pueden producir en el sistema eléctrico.
- ❑ **Dimensionar adecuadamente las protecciones** contra los diferentes tipos de fallos que requiere una instalación eléctrica.
- ❑ **Efectuar adecuadamente la selectividad y coordinación** de las protecciones para proveer eficientemente la energía eléctrica.

Las Perturbaciones

Las perturbaciones se manifiestan como alteraciones, fuera de los valores deseables, de las magnitudes características de tensión y corriente suministradas en algún punto del sistema eléctrico.

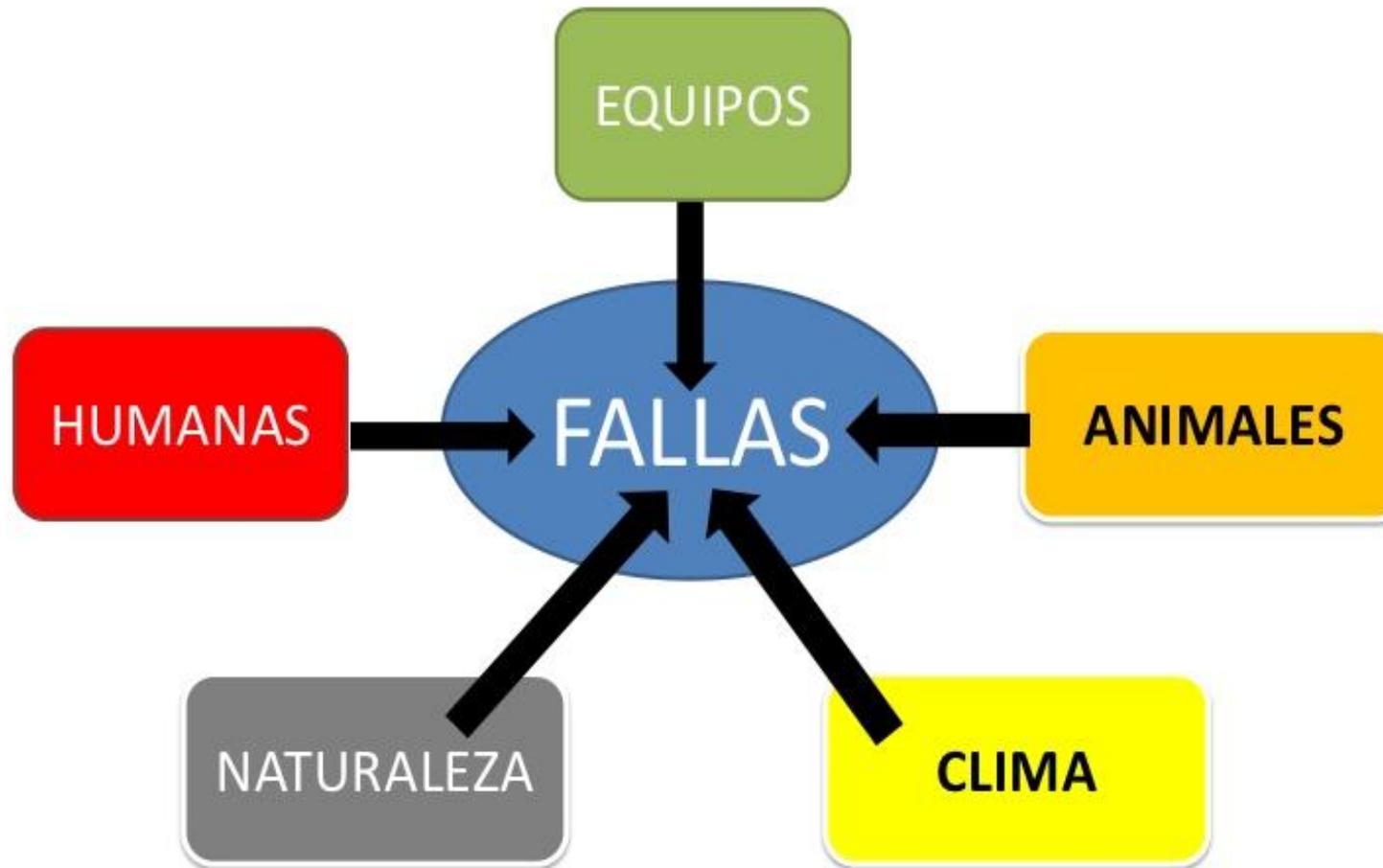


LAS FALLAS SON INEVITABLES. NINGUN SISTEMA ELECTRICO ESTA LIBRE DE LAS PERTURBACIONES

LAS PERTURBACIONES SE MANIFIESTAN POR LA VARIACION DE V , I y f ; y CONSECUENTEMENTE DE P Y Q

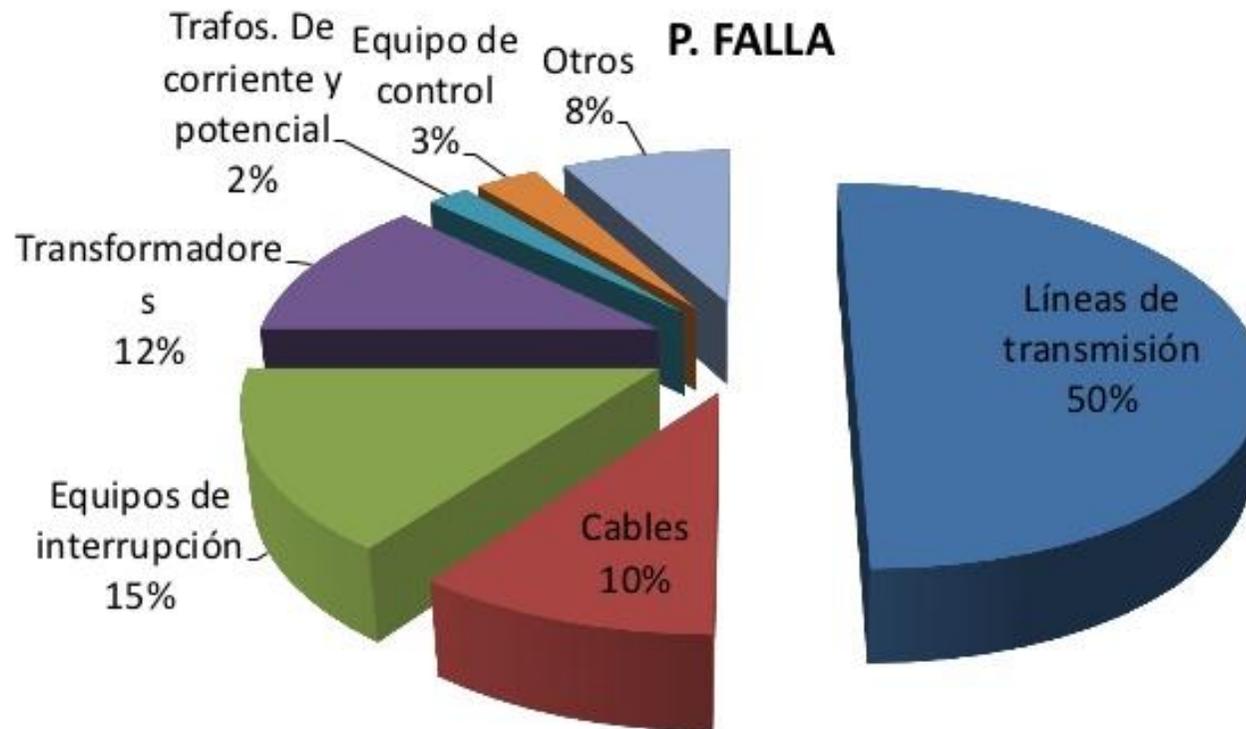
Causas de las Perturbaciones

CAUSAS DE LAS FALLAS

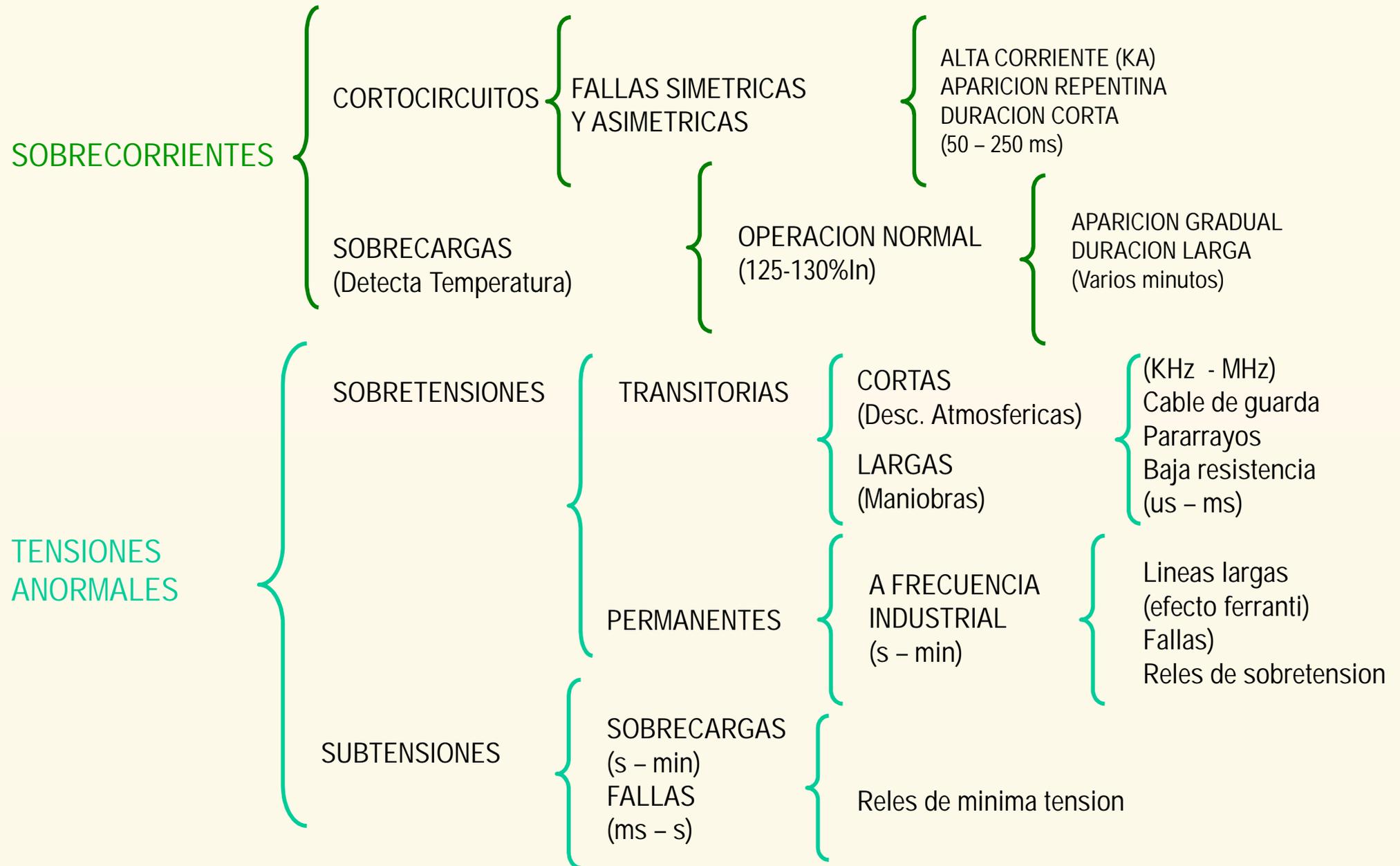


Causas de las Perturbaciones

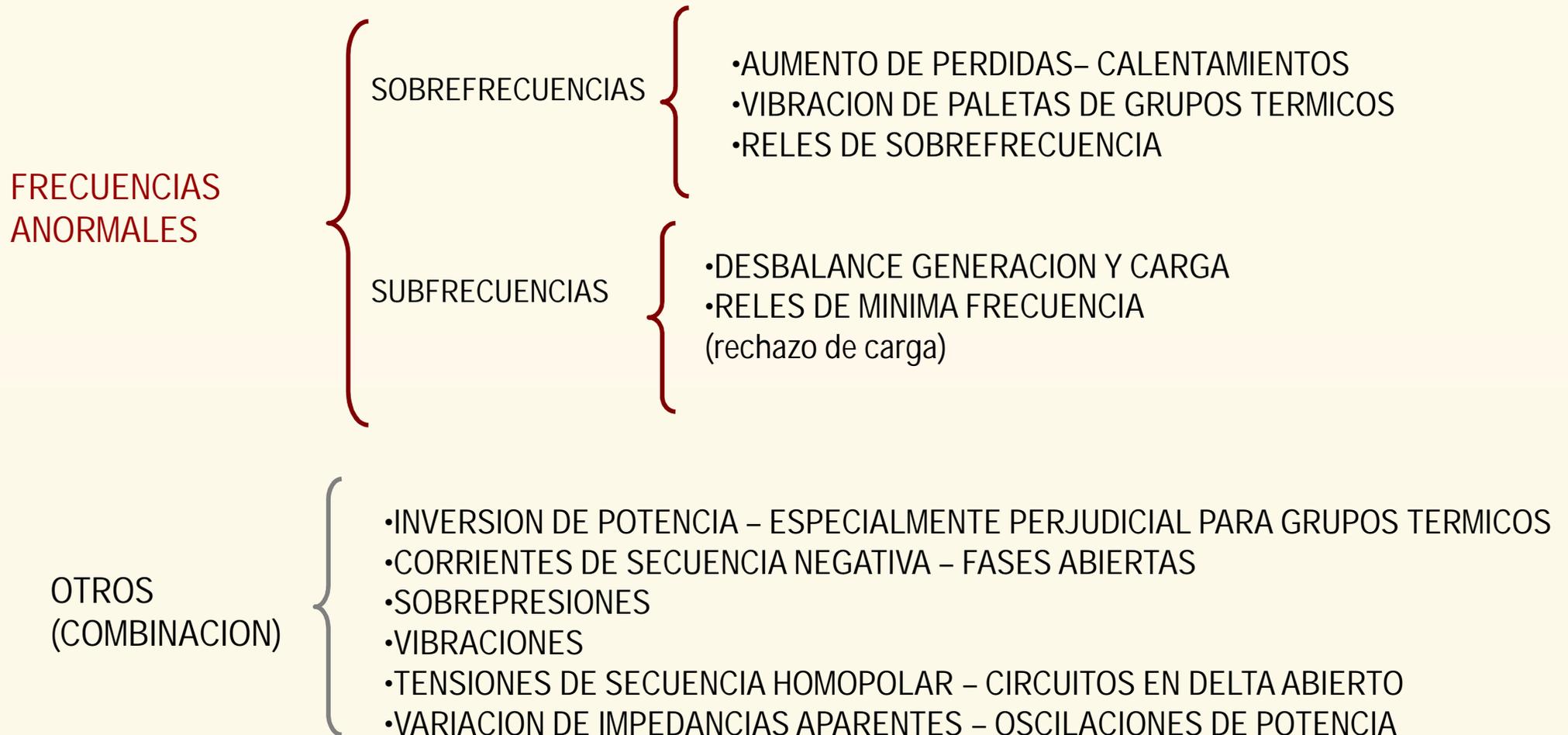
PROBABILIDAD DE FALLA EN ELEMENTOS



Manifestaciones de las Perturbaciones



Manifestaciones de las Perturbaciones

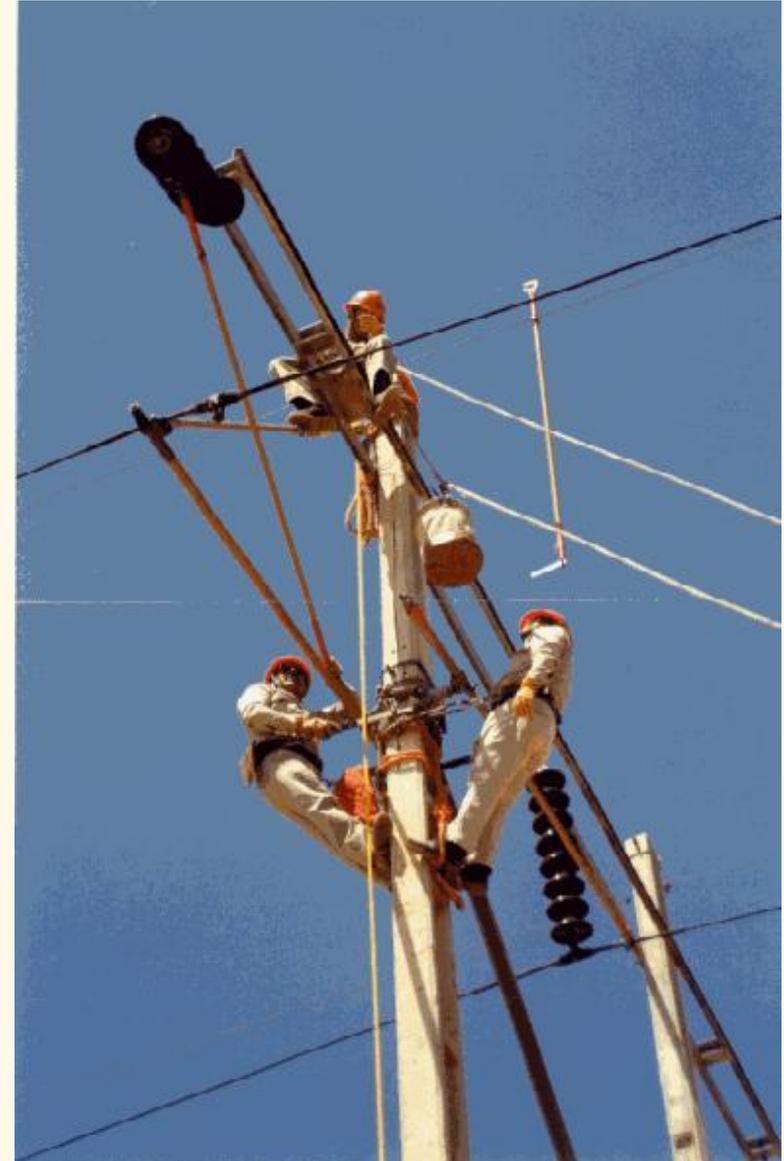


Problemática

A pesar de todas las medidas que se toman para prevenir la aparición de anomalías:

- Empezando por el diseño de las instalaciones y selección de equipos.
- Así como en el montaje, puesta en marcha, operación y mantenimiento.

**No es posible su
eliminación total.**



Efecto de una falla





Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



MATERIAL DE ENSEÑANZA

094C Protección de Sistemas de Potencia

ASPECTOS GENERALES

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

Requisitos de la protección de los sistemas de potencia

❑ Confiabilidad.

- Disponibilidad (La protección reacciona cuando se le solicita que lo haga).
- Seguridad (La protección no reacciona cuando no se le solicita que lo haga).

❑ Selectividad.

❑ Sensibilidad.

- Fallas de alta impedancia.
- Generación dispersa.



Requisitos de la protección de los sistemas de potencia

❑ Velocidad.

- Estabilidad del sistema.
- Daños al equipamiento.
- Calidad de suministro.

❑ Simplicidad.

❑ Economía.

- Costos de la protección.
- Costos del equipamiento.
- Costos de las salidas de servicio.



Requisitos de la protección de los sistemas de potencia

Zones of protection

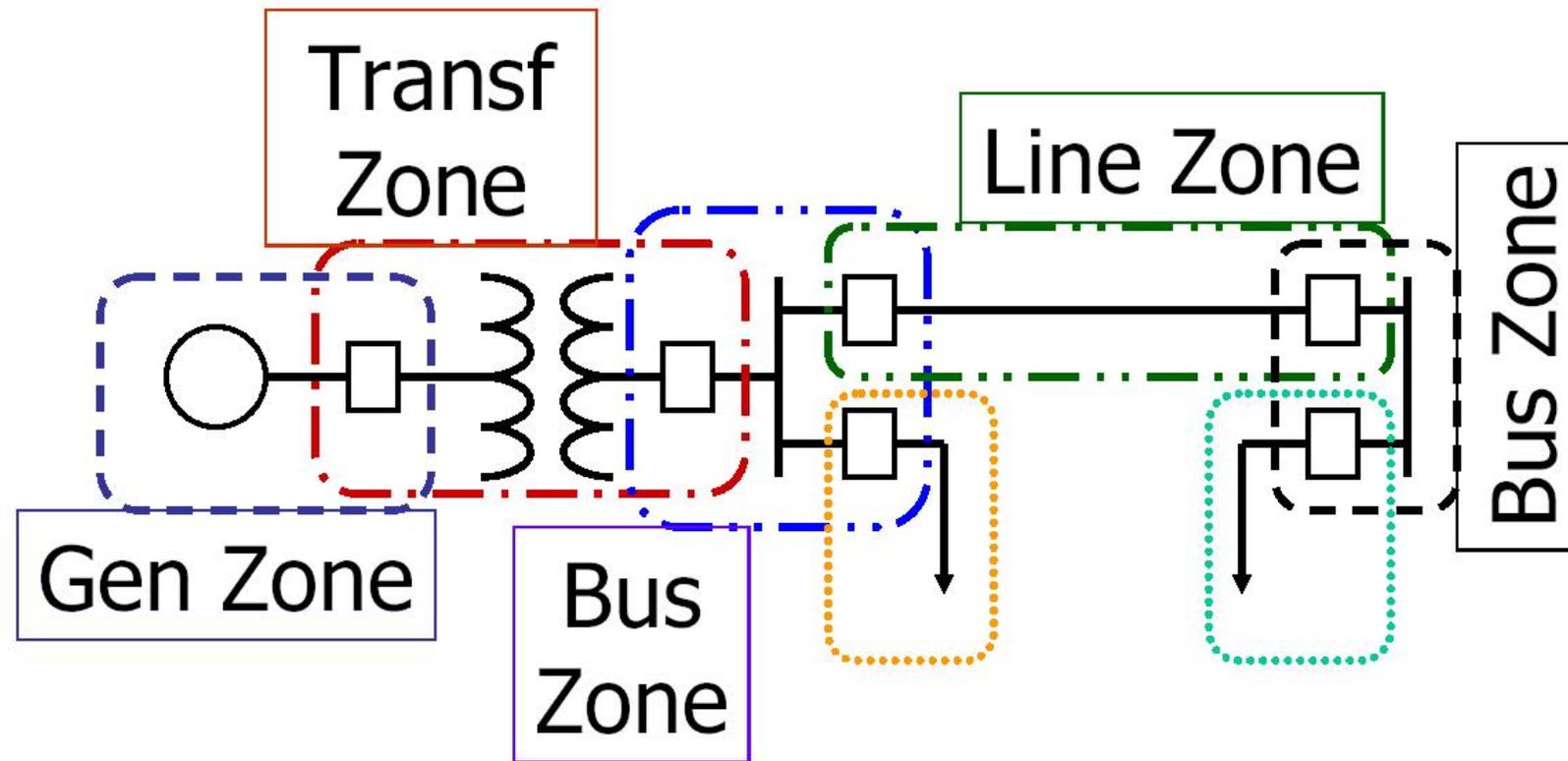
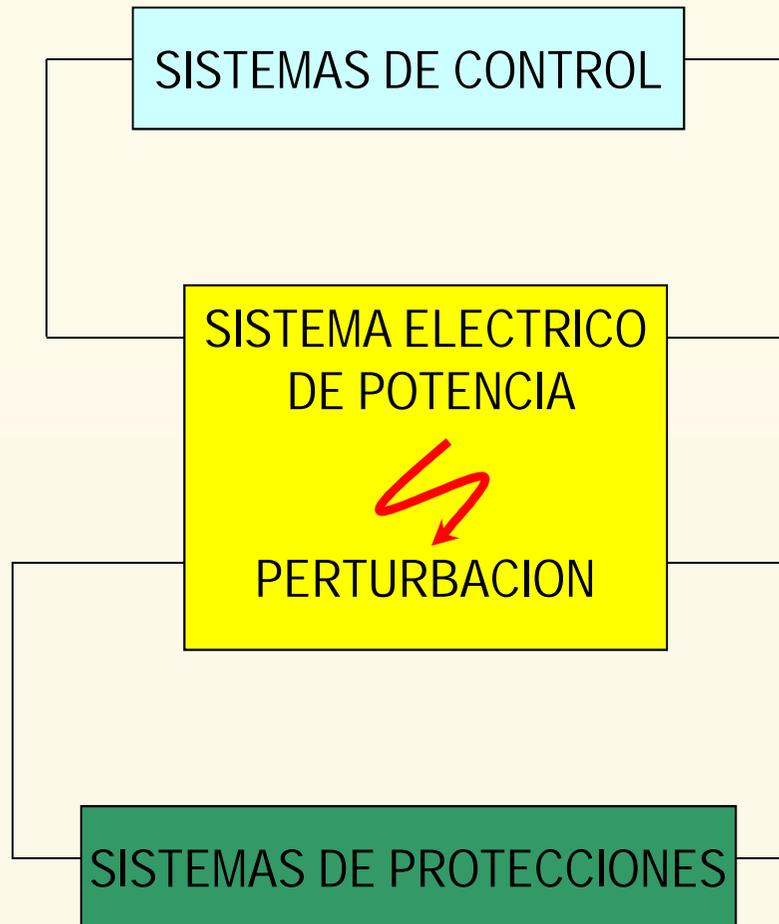


Illustration of the idea of zones of protection

Solución a la Problemática



CONTROL - FUNCIONES

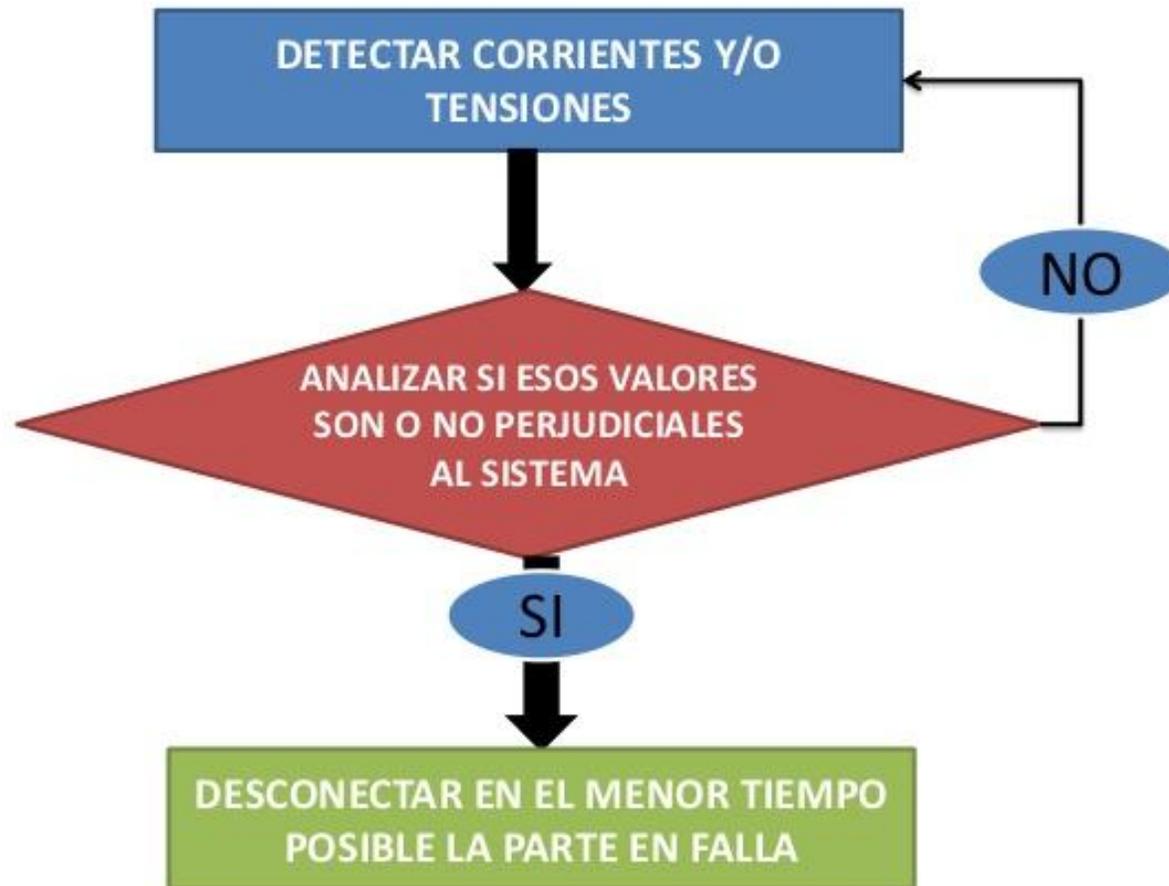
- EN TODO INSTANTE DEBE MANTENER
 $P_g = P_c + U_{Perd}$
- CONTROL DE "f" Y BALANCE DE "P"
- CONTROL DE "V" Y BALANCE DE "Q"
- CONTROL DE INTERRUPTORES
 - OPERACION MANUAL
 - AUTOMATICO
 - LOCAL
 - REMOTO

PROTECCIONES - FUNCIONES

- PREVENIR Y ATENUAR DAÑOS
- MINIMIZAR TIEMPOS DE INDISPONIBILIDAD
- MINIMIZAR EFECTOS DE PERTURBACIONES
- DAR INDICIOS DE LUGAR Y CAUSAS DE LA FALLA
- SALVAGUARDAR FISICAMENTE A LAS PERSONAS
- RESTABLECER AL SEP A LA OPERACIÓN NORMAL

Solución a la Problemática

PROTEGER EL SISTEMA



Clasificación de la operación de la protección

- ❑ Operación Correcta.
- ❑ Operación Incorrecta.
 - Disparo en Falla.
 - Disparo Falso.

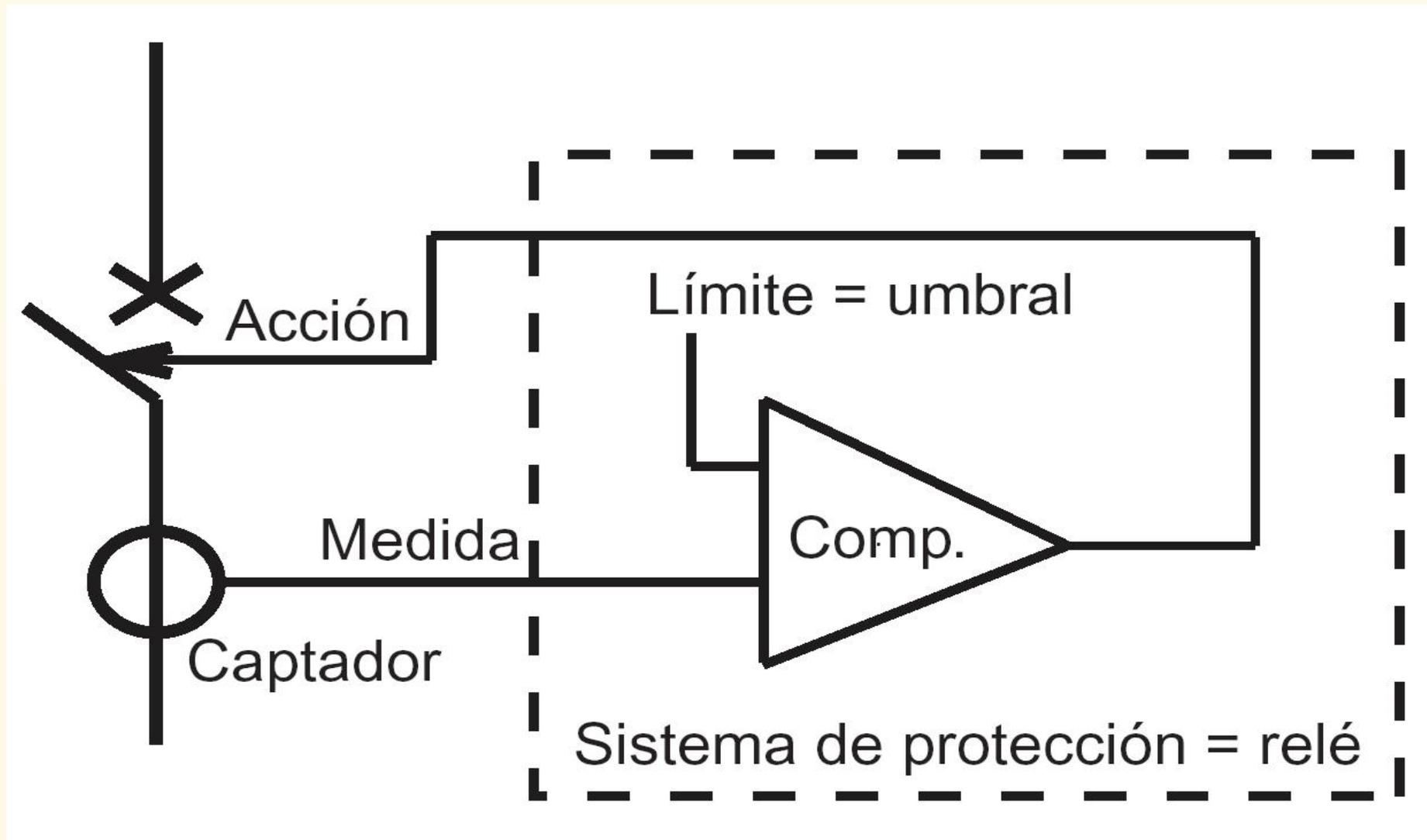


Protección

Los sistemas de suministro de energía eléctrica deben disponer de los *elementos de protección* necesarios para detectar y corregir las perturbaciones que aparezcan durante el funcionamiento.



Esquema Básico de la Protección con Relés



¿Qué Protección Aplicar?

La inversión realizada en equipamiento, contra cada tipo de falla dependerá, fundamentalmente, del riesgo que éstas entrañen, justificándose un mayor esfuerzo para aquellas que sean más peligrosas.



- El costo de la protección está relacionada con el costo de la instalación a proteger y aumenta con el costo de ésta, se estima que el costo del sistema de protección no debe ser mayor del 5% del costo total.
- Sin embargo, cuando los equipos a proteger son de suma importancia, las condiciones económicas se subordinan a la confiabilidad.



Información necesaria para el estudio de protecciones

1. Configuración del sistema eléctrico.
2. Esquemas de protecciones.
3. Estudio de cortocircuito para el sistema eléctrico.
4. Información acerca de los valores máximos de carga que se puede esperar (Planificación).
5. La localización de los transformadores de instrumento (TI) y su relación de transformación.
6. Programas de la expansión futura del sistema considerado (Planificación).
7. Grado de protección requerida (Confiability).

Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN

ANSI/IEEE

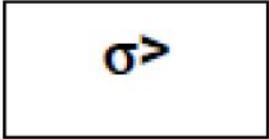
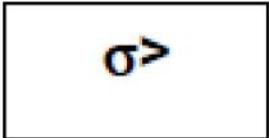
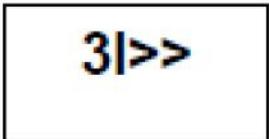
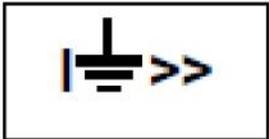
IEC

<p>Protección distancia es un relé que funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia se incrementa o decrece superando límites predeterminados.</p>	21	
<p>Relé de verificación de sincronismo es un dispositivo que opera cuando dos circuitos AC se encuentran dentro de los límites deseados de frecuencia, ángulo de fase y voltaje para permitir la conexión en paralelo de los mismos.</p>	25	
<p>Relé de bajo voltaje es un relé que funciona sobre un valor dado de baja tensión.</p>	27	
<p>Relé direccional de potencia es un dispositivo que funciona sobre un valor deseado de flujo de potencia en una dirección dada.</p>	32	

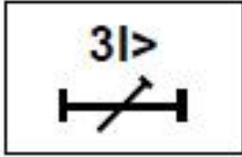
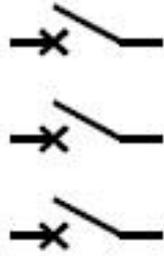
Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN	ANSI/IEEE	IEC
<p>Relé de baja potencia o baja corriente es un relé que funciona cuando el flujo de potencia o corriente decrece por debajo de un valor determinado.</p>	37	<div data-bbox="1659 331 1872 440" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">$P <$</div> <div data-bbox="1659 491 1872 600" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">$I <$</div>
<p>Relé de campo es un relé que opera ante un valor bajo anormal o por falla en el campo de la máquina, o un exceso en el valor de la reactancia de la corriente de armadura en una máquina AC indicando anomalía en el campo de excitación.</p>	40	<div data-bbox="1659 705 1872 813" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">$I_f <$</div> <div data-bbox="1659 865 1872 973" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">$Q >$</div>
<p>Relé de corriente de fase inversa o de balance de fases es un relé que funciona cuando las corrientes están en inversión de fases o desbalanceadas o contienen componentes de secuencia negativa.</p>	46	<div data-bbox="1659 1078 1872 1187" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">$I_2 >$</div>
<p>Relé de secuencia de fases es un relé que funciona sobre un valor predeterminado de voltaje polifásico en una secuencia de fases deseada.</p>	47	No Definido

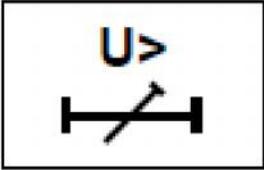
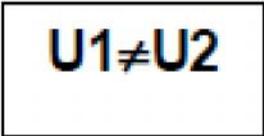
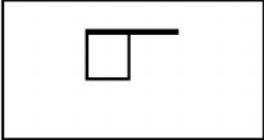
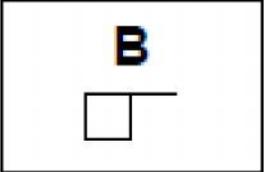
Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN	ANSI/IEEE	IEC
<p>Relé térmico de transformador o máquina es un relé que funciona cuando la temperatura de una máquina u otro dispositivo de carga o transformador de potencia o rectificador de potencia excede un valor determinado.</p>	49	
<p>Relé de sobret temperatura del aceite</p>	49D	
<p>Relé instantáneo de sobrecorriente es un relé que funciona instantáneamente ante un valor excesivo en la corriente indicando una falla en el aparato o circuito protegido.</p>	50	
<p>Relé instantáneo de sobrecorriente de tierra</p>	50N	

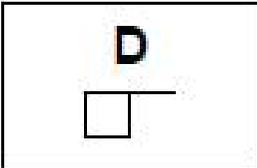
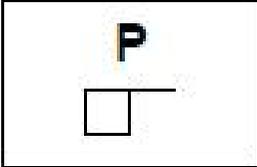
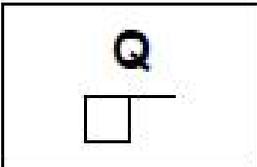
Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN	ANSI/IEEE	IEC
Relé de falla interruptor	51BF	
Relé temporizado de sobrecorriente es un relé con características de tiempo inverso y definido que funciona cuando la corriente en circuitos AC excede un valor determinado.	51	
Relé temporizado de sobrecorriente de tierra	51N	
Interruptor de corriente alterna	52	

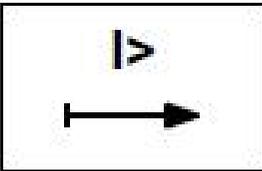
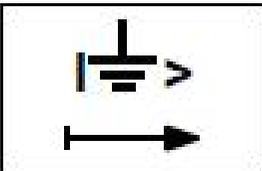
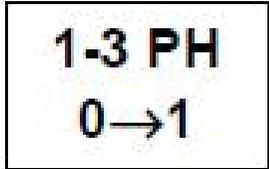
Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN	ANSI/IEEE	IEC
<p>Relé de sobretensión es un relé que opera a un tiempo determinado cuando se supera un valor de voltaje específico.</p>	59	
<p>Relé de balance de corriente o tensión es un relé que opera sobre una diferencia dada en el voltaje o corriente de entrada o salida de dos circuitos.</p>	60	
<p>Relé de presión es un suiche que opera con el aumento o descenso de la presión o rangos de variación en la misma.</p>	63	
<p>Relé Buchholz: Es un relé que detecta la presencia de gases en el aceite.</p>	63B	

Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN	ANSI/IEEE	IEC
<p>Relé de flujo de aceite: Es un relé que detecta la superación del flujo de aceite en una tubería</p>	63D	
<p>Relé de presión súbita: Es un relé que detecta el incremento súbito de la presión en un tanque.</p>	63P	
<p>Dispositivo de alivio de presión: Es un dispositivo mecánico que actúa permitiendo la salida de aceite, cuando la sobrepresión dentro del tanque supera un valor.</p>	63Q	
<p>Relé de tierra es un relé que funciona ante la falla en el aislamiento de una máquina, transformador u otro aparato a tierra, o por el flameo de una máquina DC a tierra.</p>	64	No Definido

Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN	ANSI/IEEE	IEC
Relé direccional de sobrecorriente de fases	67	
Relé direccional de sobrecorriente de tierra	67N	
Relé de desfasaje o medida de ángulo de fase es un relé que funciona en un ángulo de fase predeterminado entre dos voltajes o entre dos corrientes o entre voltaje y corriente.	78	No Definido
Relé de recierre es un relé que controla el recierre y bloqueo automático de un interruptor AC.	79	

Simbología norma ANSI/IEEE e IEC

FUNCIÓN

ANSI/IEEE

IEC

Relé de frecuencia es un relé que funciona sobre un valor determinado de frecuencia (alto/bajo) o por rangos de variación de la misma.	81	$f \approx$
Relé de bloqueo es un dispositivo de bloqueo al cierre, desenergizado manual o eléctricamente, que funciona para apagar o mantener fuera de servicio un equipo bajo la ocurrencia de condiciones anormales que ameriten una revisión.	86	0→1 BLOQUEO
Relé diferencial es un relé que funciona sobre un porcentaje o ángulo de fase o sobre una diferencia de corrientes o de alguna otra cantidad eléctrica.	87	3Id>
Relé de protección diferencial de barras	87B	3Id>
Relé de protección diferencial de transformador	87T	3Id>



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



MATERIAL DE ENSEÑANZA

094C Protección de Sistemas de Potencia

¡Muchas Gracias!

Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



MATERIAL DE ENSEÑANZA

094C Protección de Sistemas de Potencia

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

Introducción

Los Transformadores para instrumentos (TIs) están diseñados para transformar:

Voltaje:

Transformadores de voltaje (TVs) o Transformadores de potencial (TPs).

Corriente:

Transformadores de corriente (TCs).

De valores altos en los sistemas de transmisión y distribución, a valores bajos que puedan ser utilizados por aparatos de medición de bajo voltaje.

Utilidad

- Aislar los dispositivos de medida y protección de la alta tensión.
- Trabajar con corrientes o tensiones proporcionales a las que son objeto de medida.
- Evitar las perturbaciones que los campos magnéticos pueden producir sobre los instrumentos de medida.

En todos los casos la r_t es < 1 para mantener los valores bajos en las magnitudes secundarias

Los trafos de corriente tienen las corrientes secundarias normalizadas a: 5 A y 1 A y los de tensión las tensiones secundarias a 110 y 220 V

El rendimiento no es importante

Trabajan con niveles bajos de flujo (zona lineal)

Existen trafos de corriente y de tensión

$$r_t = N \frac{U_1}{U_2} = N \frac{I_2}{I_1}$$

Objetivos

1. Aislar o separar los circuitos y aparatos de medida, protección, etc, de la alta tensión.
2. Evitar las perturbaciones electromagnéticas de las altas corrientes y reducir las corrientes de cortocircuito a valores admisibles para los aparatos de medida.
3. Obtener intensidades de corriente o de tensiones proporcionales (por lo menos en una determinada zona) a las que se desea medir o vigilar y transmitir las a los aparatos apropiados.



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



MATERIAL DE ENSEÑANZA

Transformadores de Corriente (TC's)

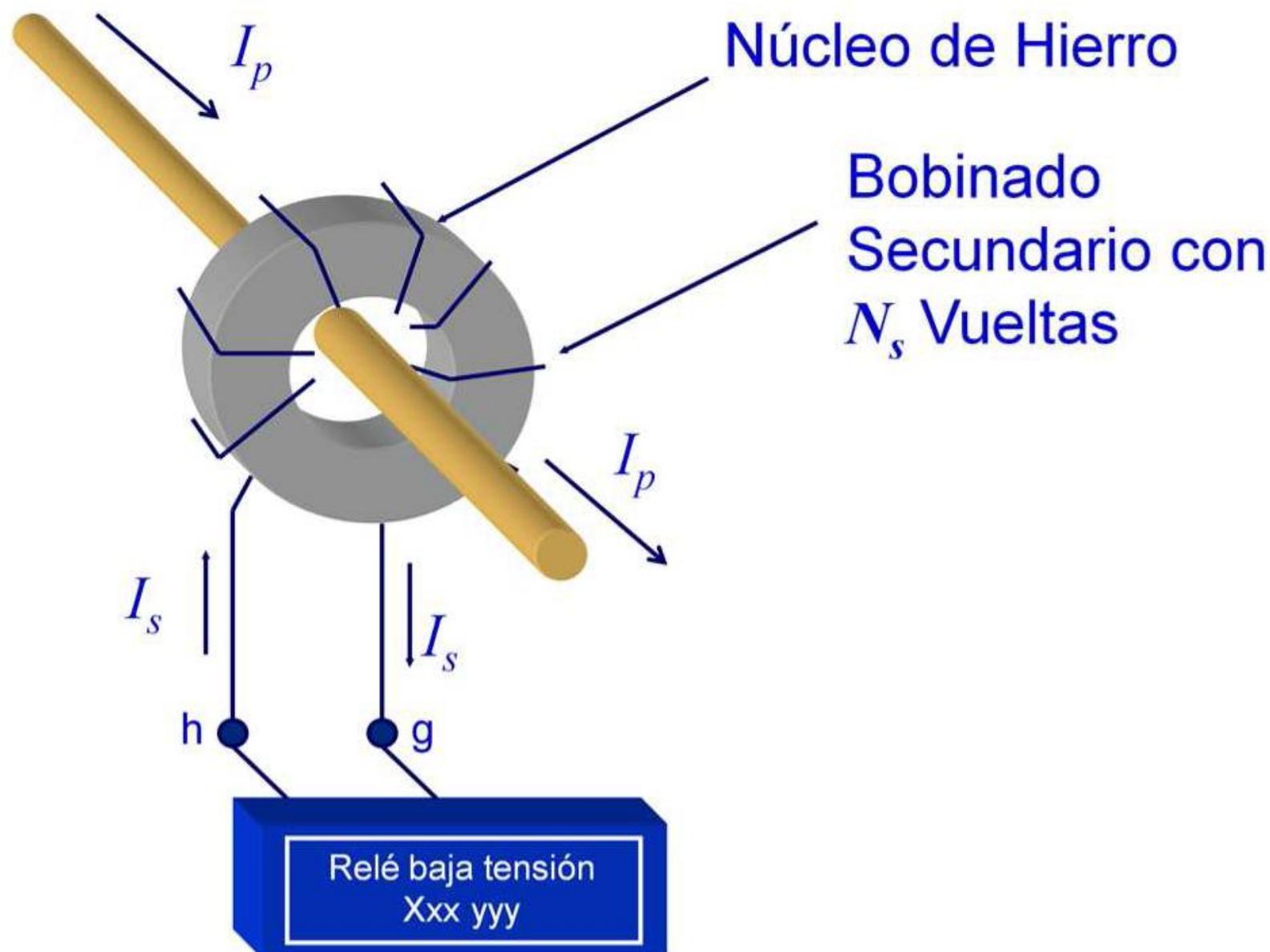
© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

Introducción

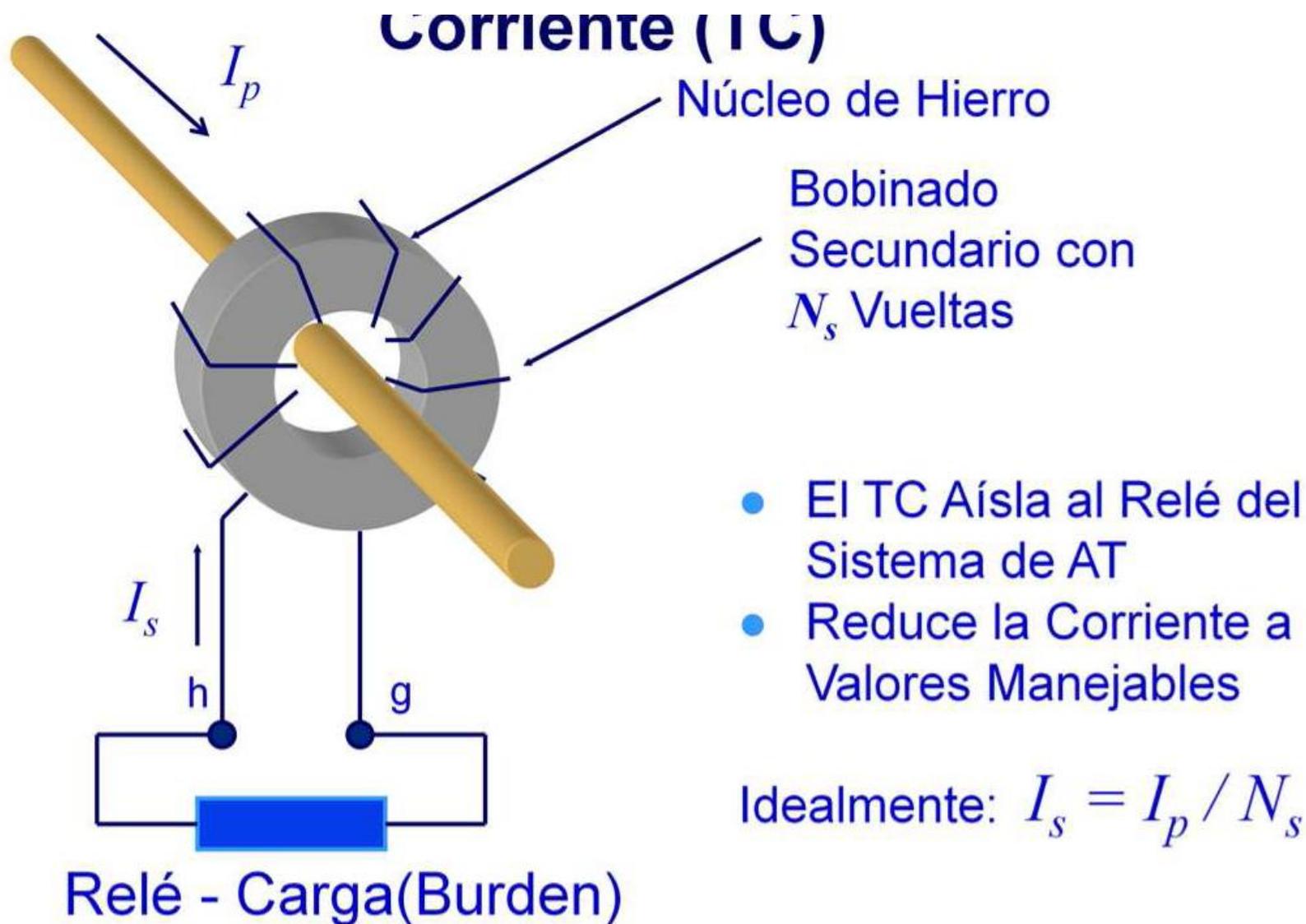
Problema: Cómo conectar el Relé



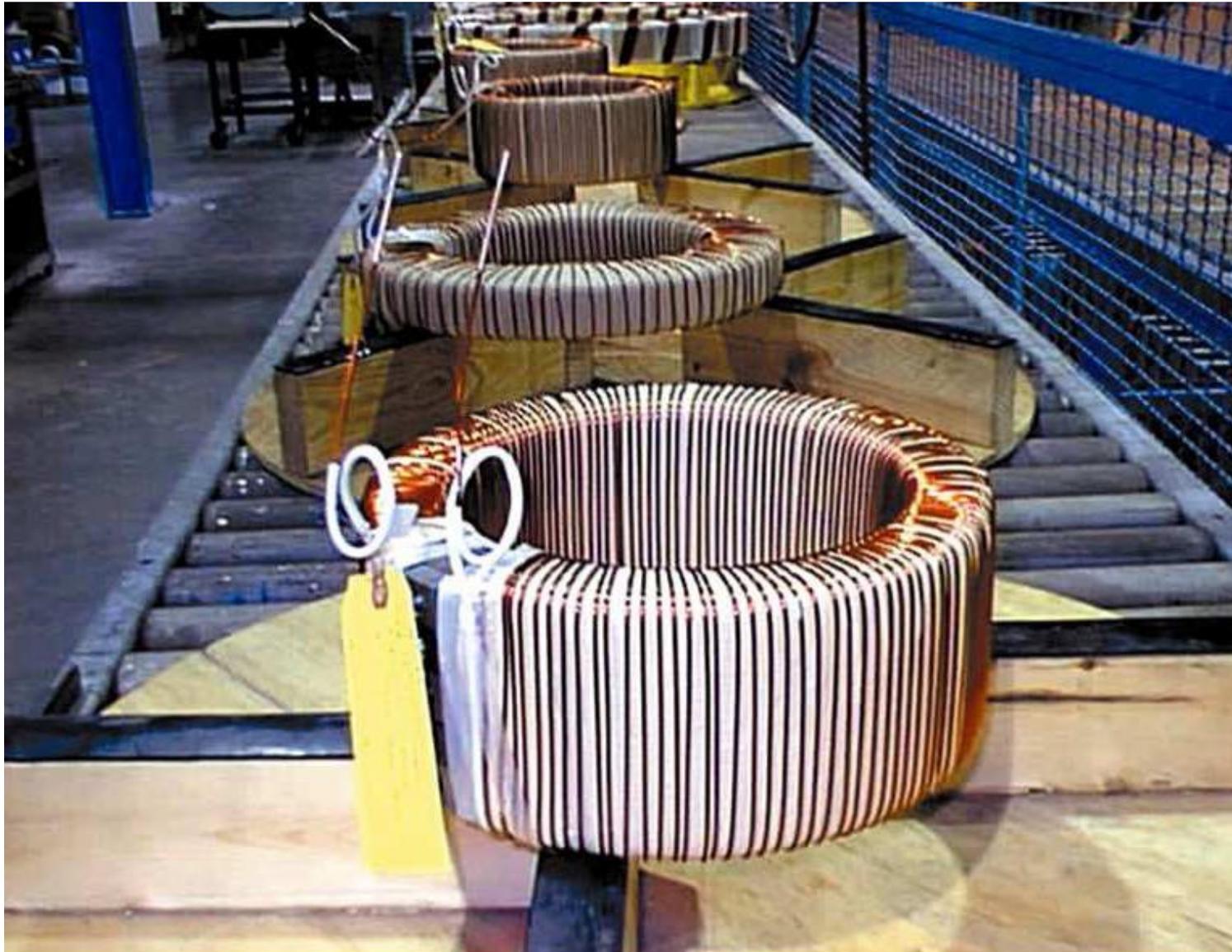
Solución: Transformador de corriente



Principio del Transformador de Corriente (TC)



Ejemplo: Núcleo y bobinado secundario

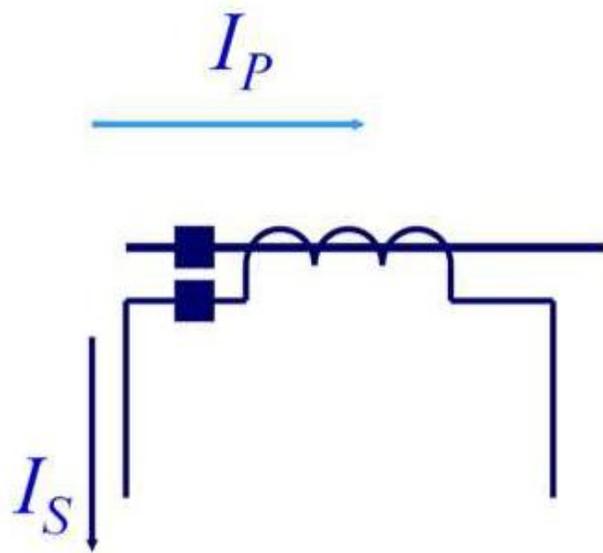


Ejemplo: TC de Alta Tensión

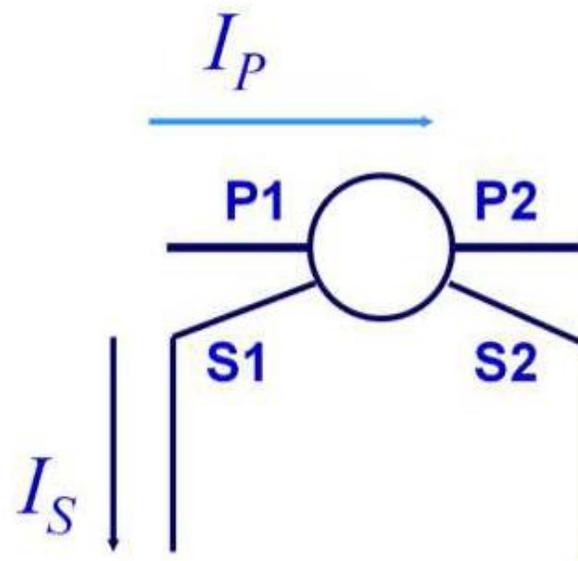


Simbolos del TC - Norma

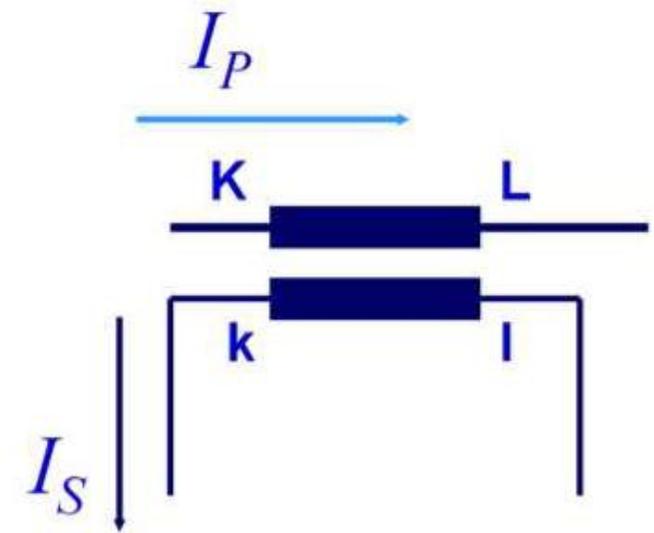
Por convención se establece que la corriente **ENTRANTE** en la marca de polaridad de un bobinado es **SALIENTE** en la marca de polaridad del otro.



ANSI



IEC



VDE

Relación del Transformador de Corriente (RTC)

$$\text{RTC} = \frac{I_P}{I_S}$$

Ejemplos:

$$\text{CTR} = 200/5 = 40$$

$$\text{CTR} = 1200/5 = 240$$

$$\text{CTR} = 400/1 = 400$$

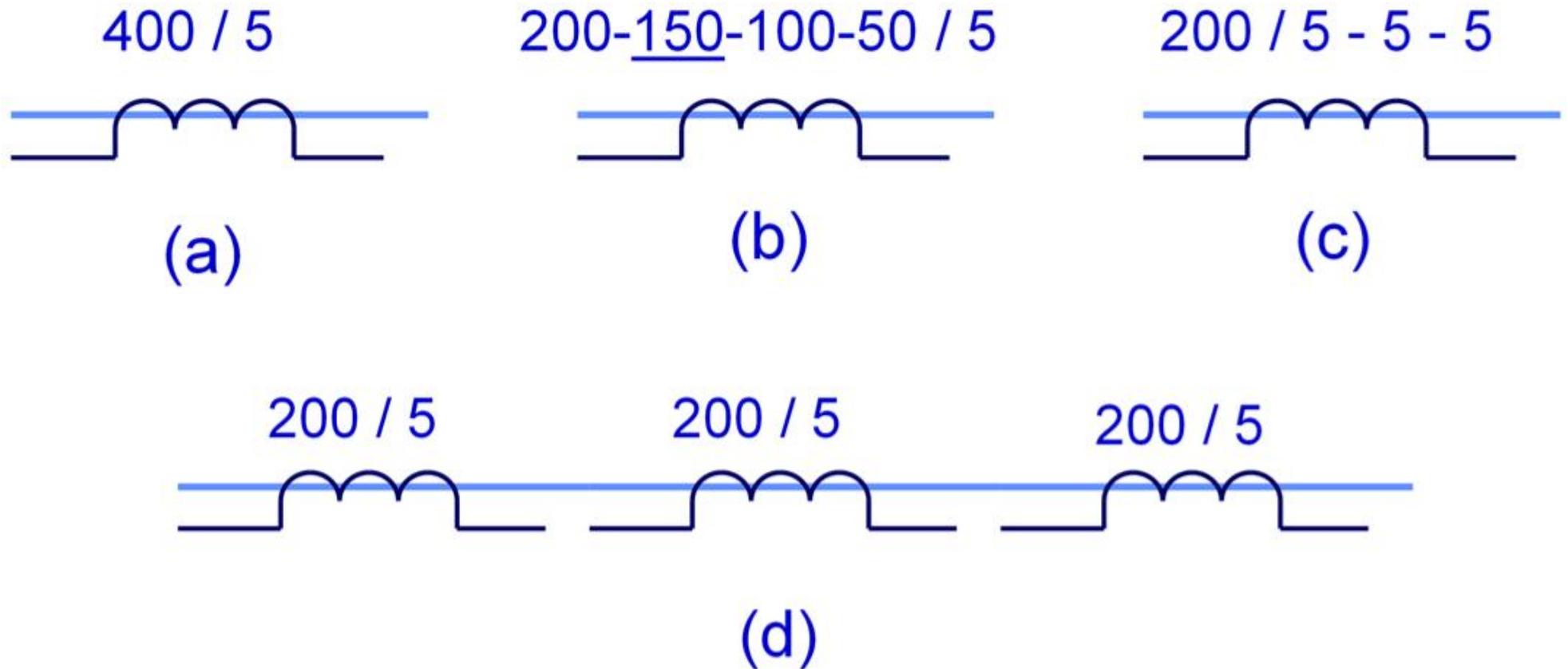
□ El denominador es la corriente secundaria nominal.

- Normalmente: 1A ó 5A.

□ El numerador no siempre es la corriente primaria nominal.

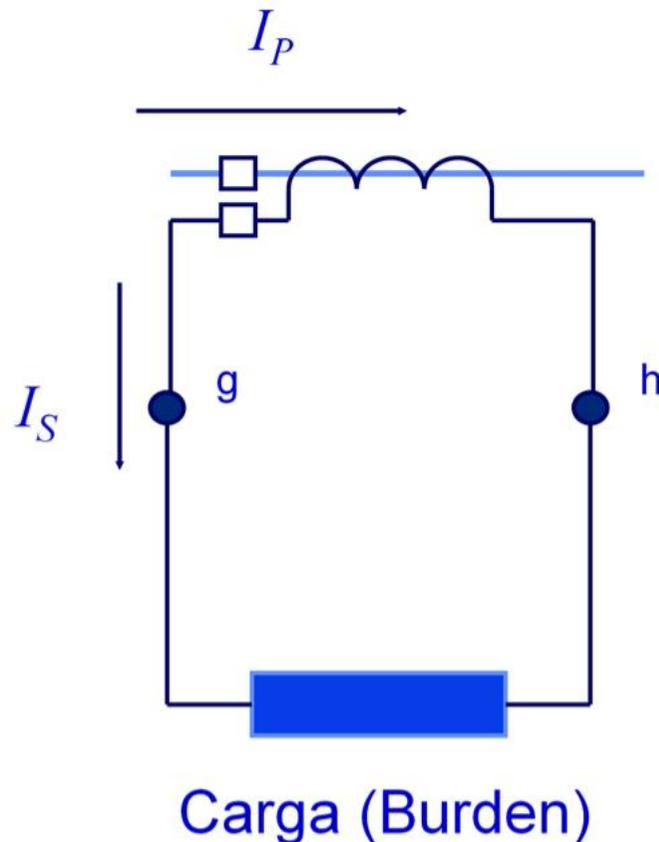
Relación del Transformador de Corriente (RTC)

Ejemplos:



Burden (carga) del Transformador de Corriente

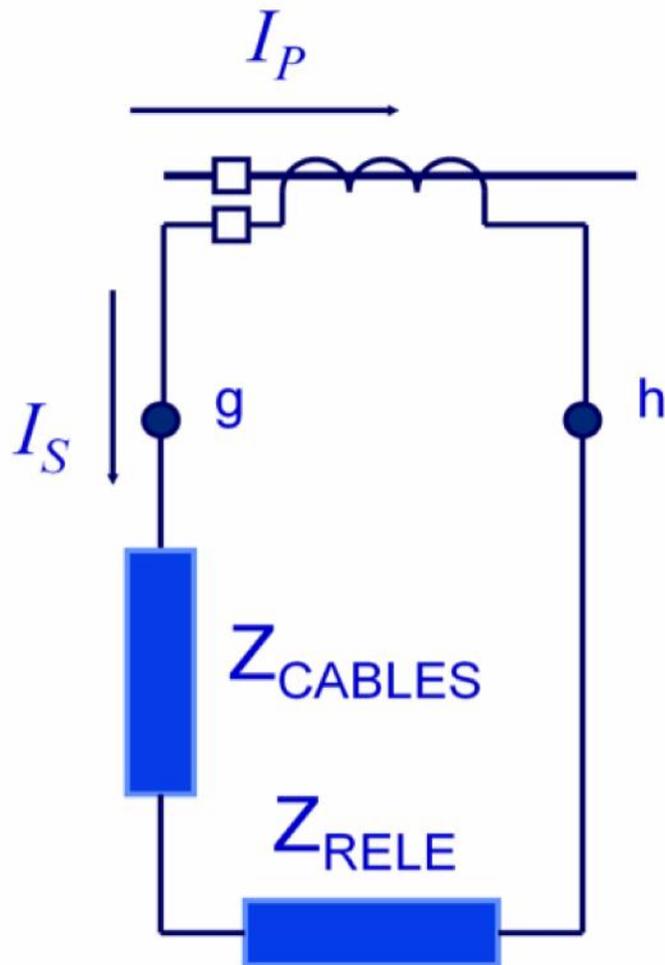
La carga (burden) es la carga total conectada al transformador. Esta puede ser expresada en OHMS ó en VA. En ambos casos es importante para conocer la corriente nominal secundaria I_N del TC.



$$S_B (\text{VA}) = I_N^2 \cdot Z_B$$

$$Z_B (\Omega) = \frac{S_B}{I_N^2}$$

La carga del TC consta de la impedancia de los cables más la impedancia del Relé



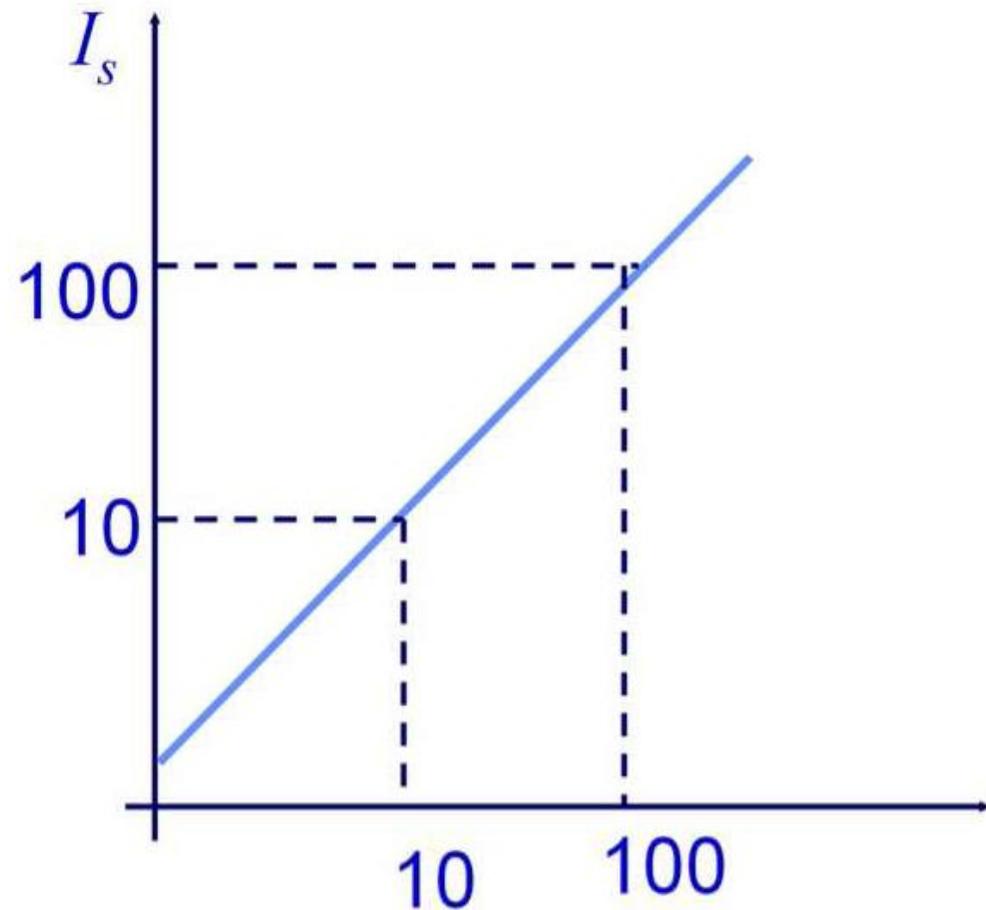
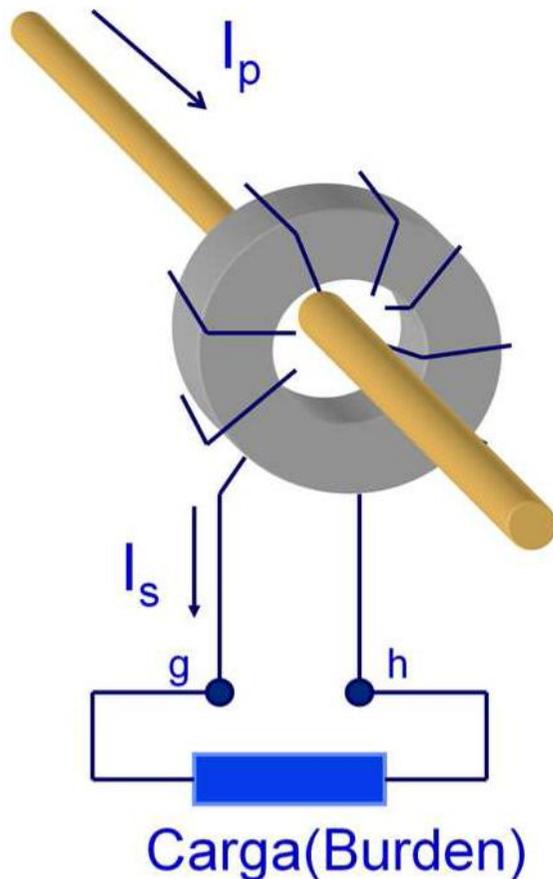
La tensión en los terminales (Bornes) del TC es:

$$\bar{V}_{gh} = \bar{I}_S \cdot \bar{Z}_{CARGA}$$

$$\bar{V}_{gh} = \bar{I}_S \cdot (\bar{Z}_{CABLES} + \bar{Z}_{RELE})$$

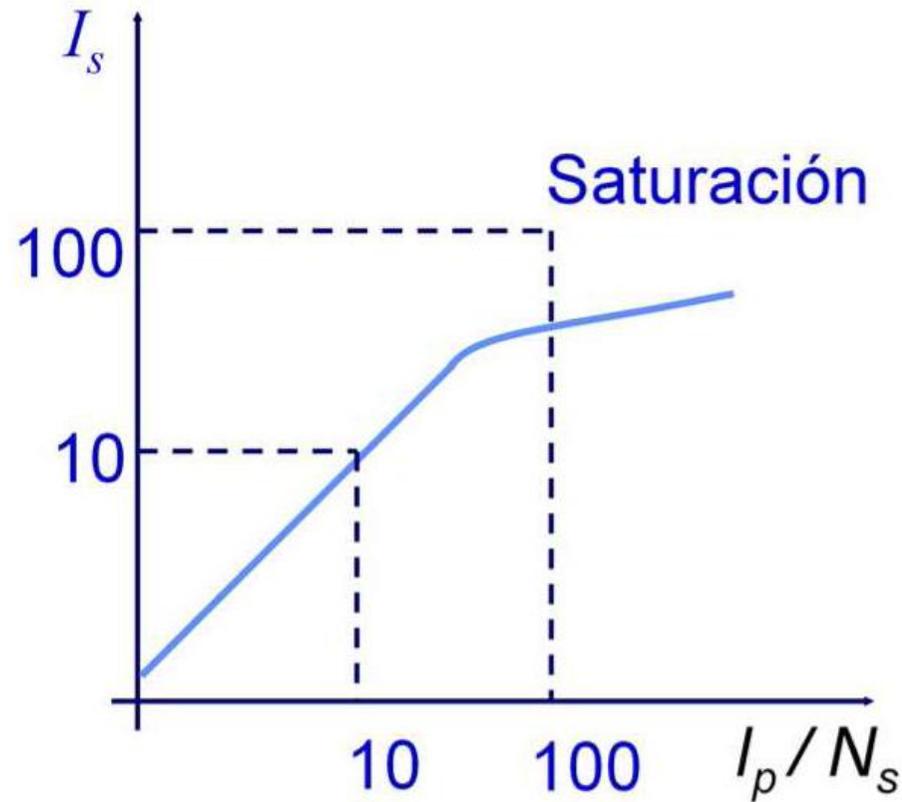
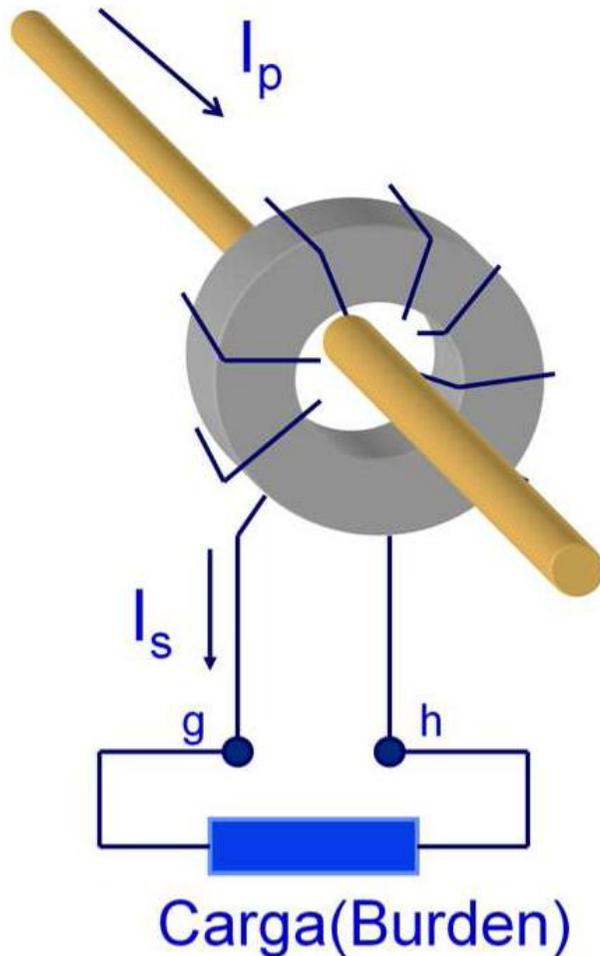
Comportamiento ideal de un TC

Para un TC ideal, la corriente en el secundario es una replica perfecta de I_c corriente primaria excepto por la escala (relación del TC). La curva I_s vs. I_p / N_s es una línea perfecta inclinada a 45 grados.



Comportamiento real de un TC

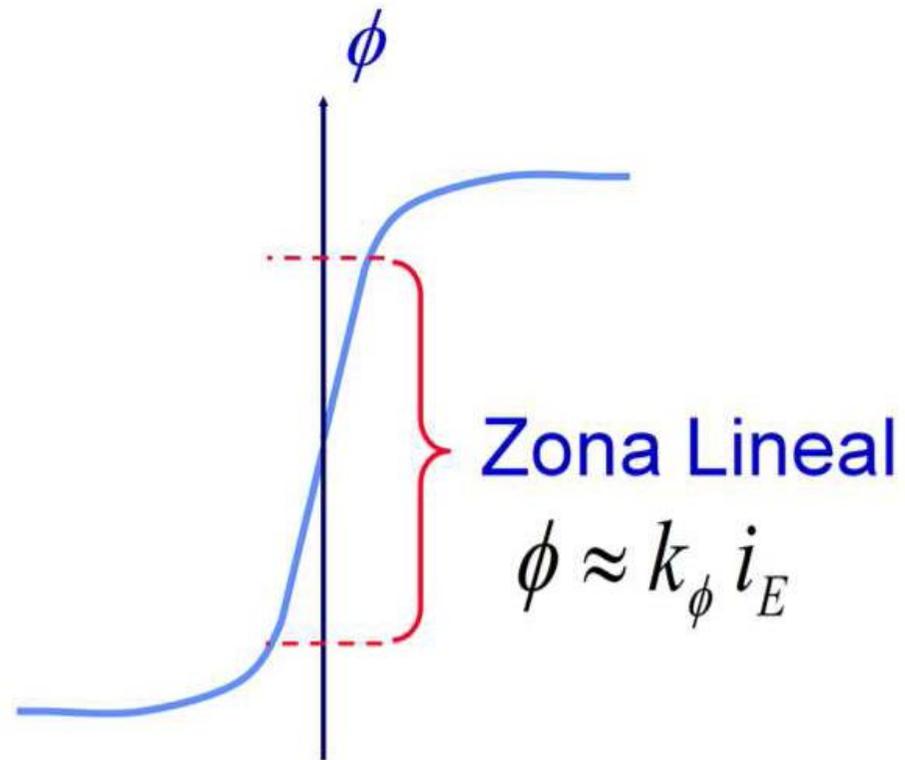
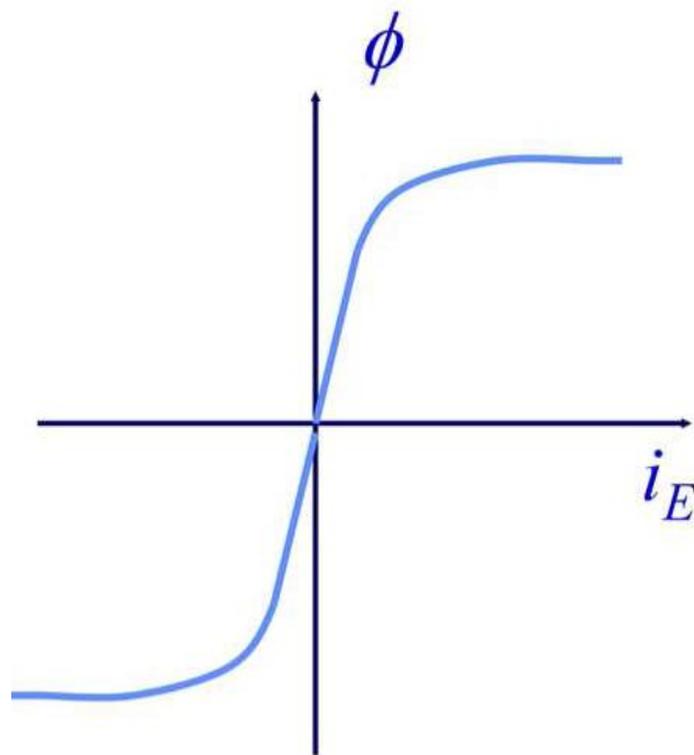
Hay una diferencia no solo en la magnitud y ángulo, sino también en la forma de la onda. La curva real I_s vs. I_p / N_s no es una línea perfecta.



$I_s \neq I_p / N_s$ Es mas evidente para elevadas corrientes primarias

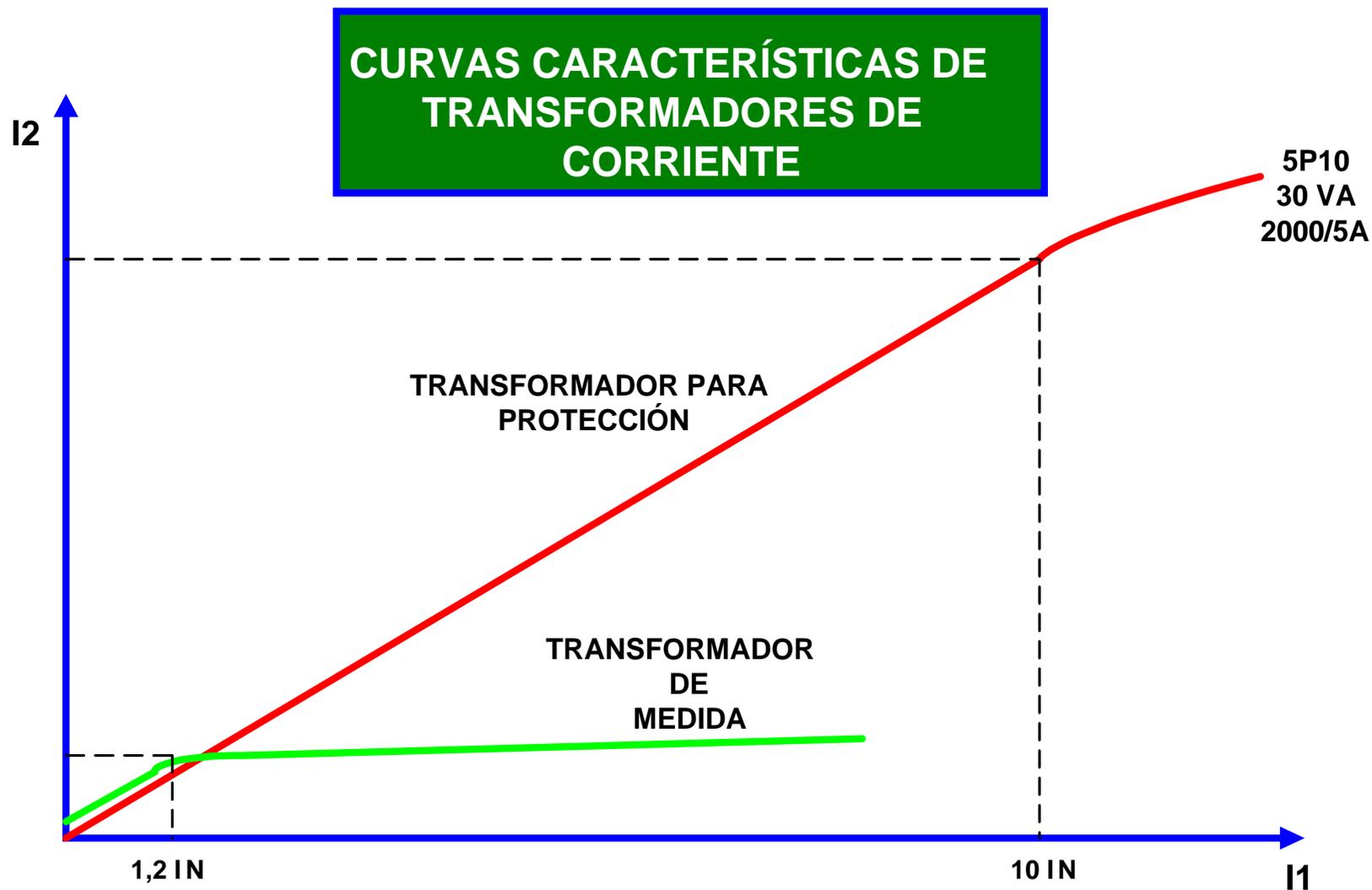
La zona "Lineal"

La curva de Flujo vs. Corriente tiene una región en la cual el flujo es prácticamente proporcional a la corriente. Esta región es llamada **ZONA LINEAL**. Fuera de esta zona el núcleo está **SATURADO**.



i_E = Es muy pequeño
dentro de la zona lineal

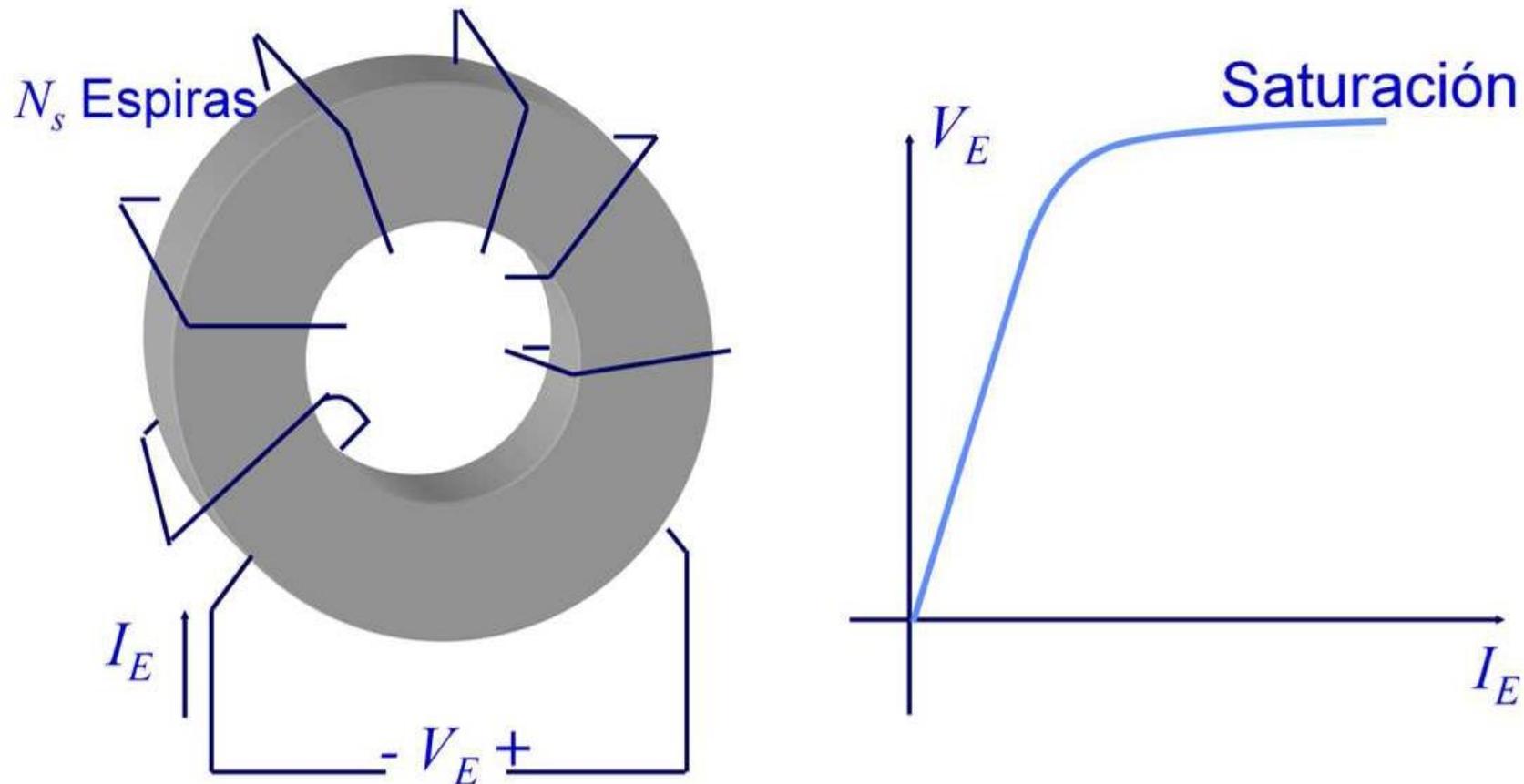
Curva Característica



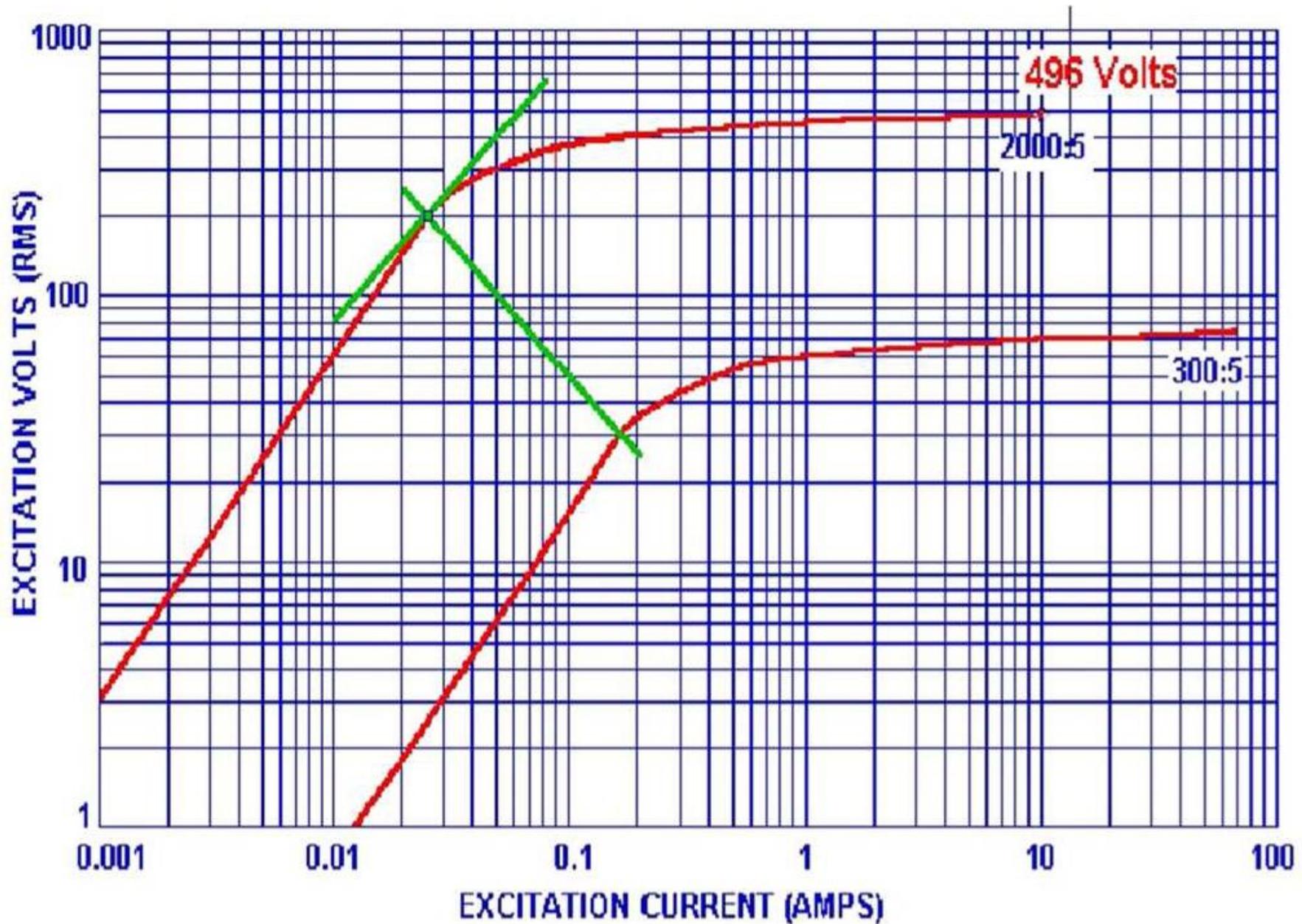
La curva de excitación del TC

Sin corriente primaria

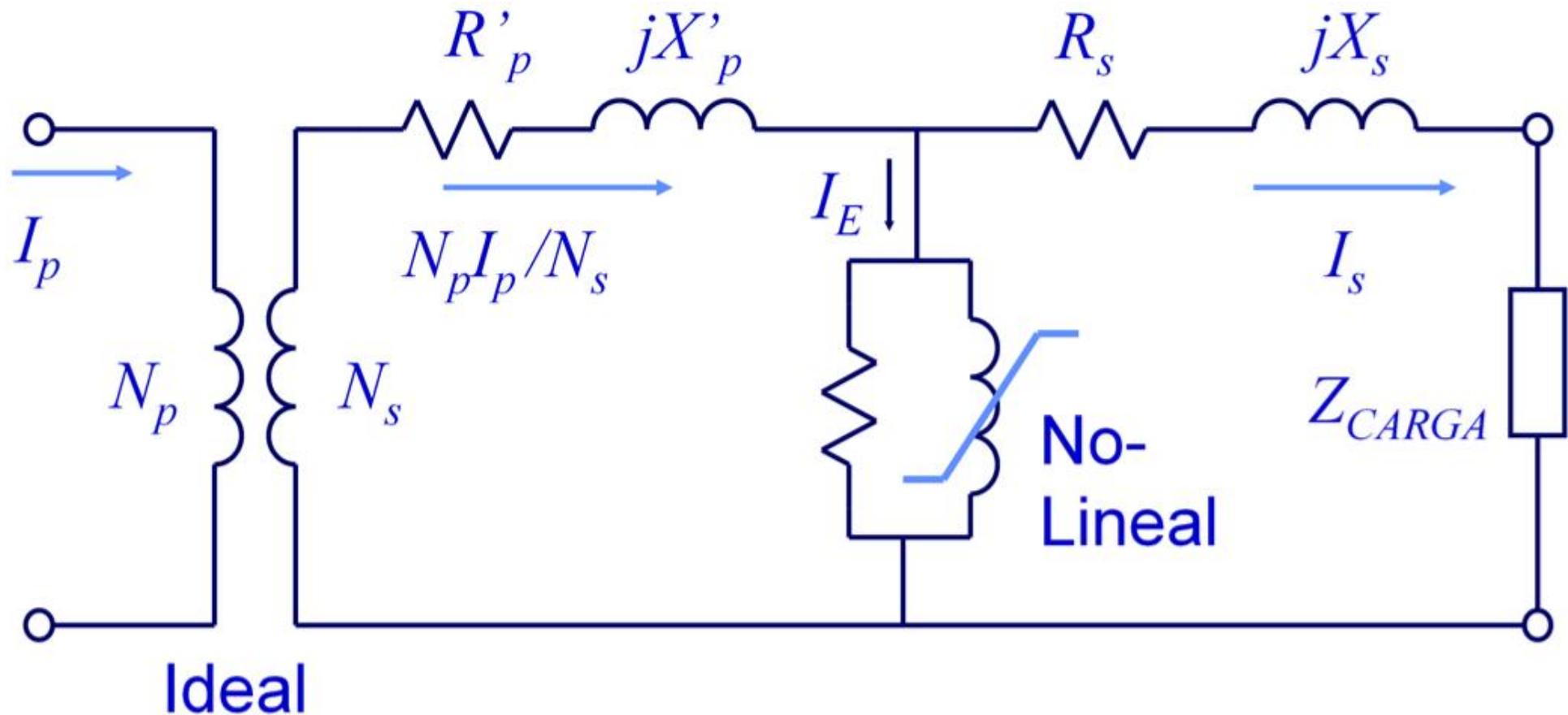
Es una curva que representa la tensión de excitación (en los terminales del secundario) vs la corriente de excitación sin carga conectada en el primario.



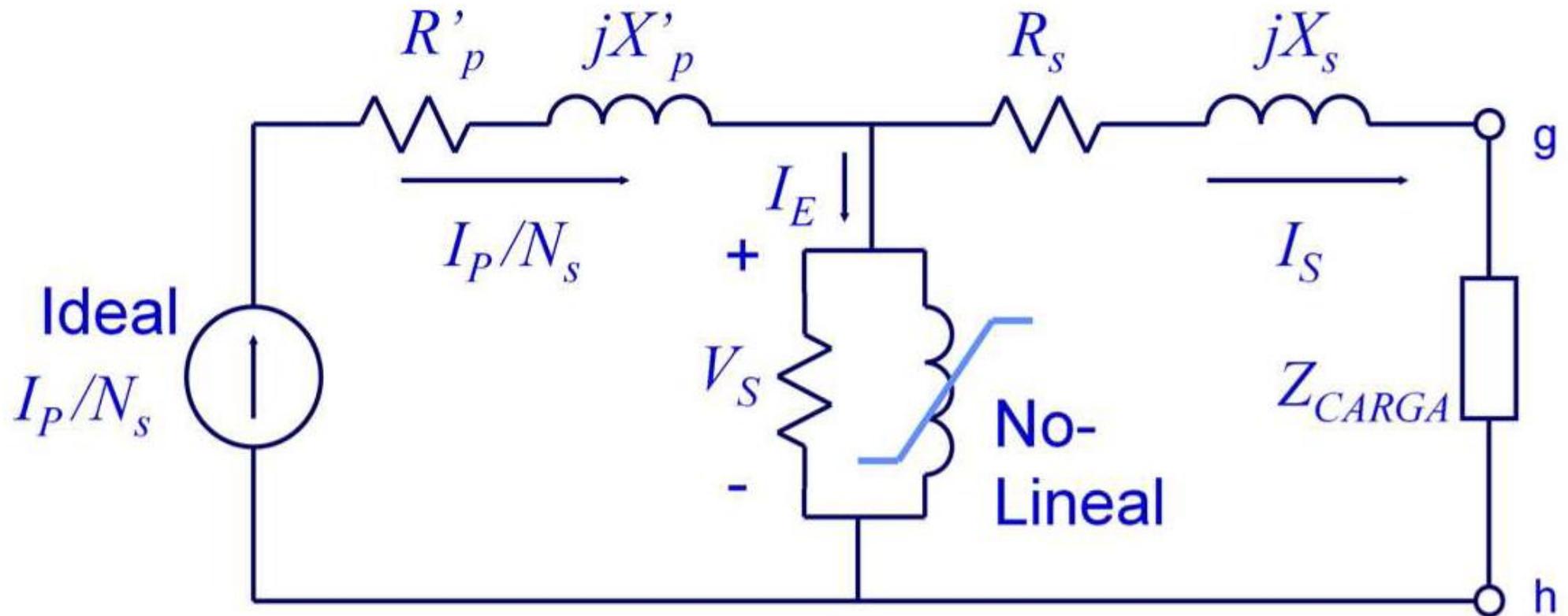
Curva de Típica de Excitación



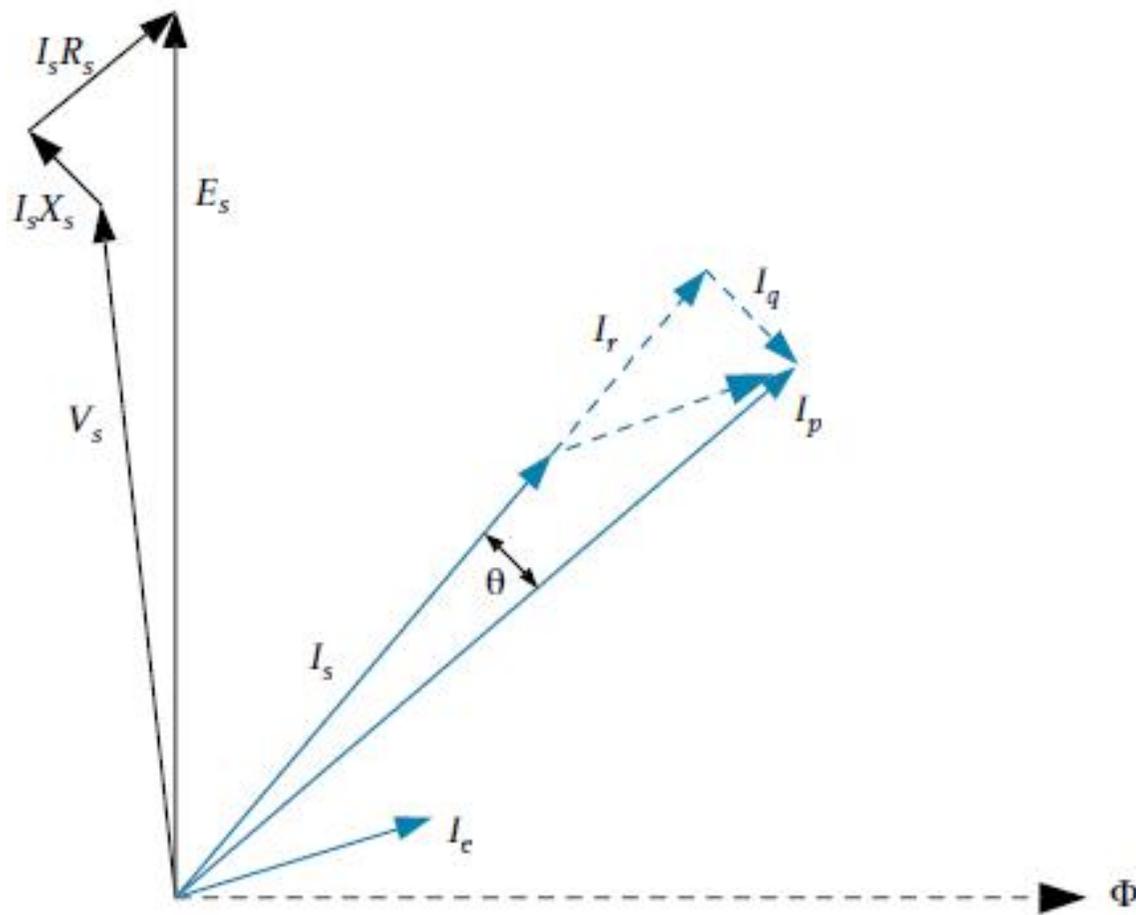
Circuito Equivalente de un Transformador referido al Secundario



Circuito Equivalente del Transformador de Corriente



$$\bar{I}_S = \frac{\bar{I}_P}{N_S} - \bar{I}_E; \quad \bar{V}_S = \bar{I}_S (R_s + jX_s) + \bar{I}_S \bar{Z}_{LOAD}$$



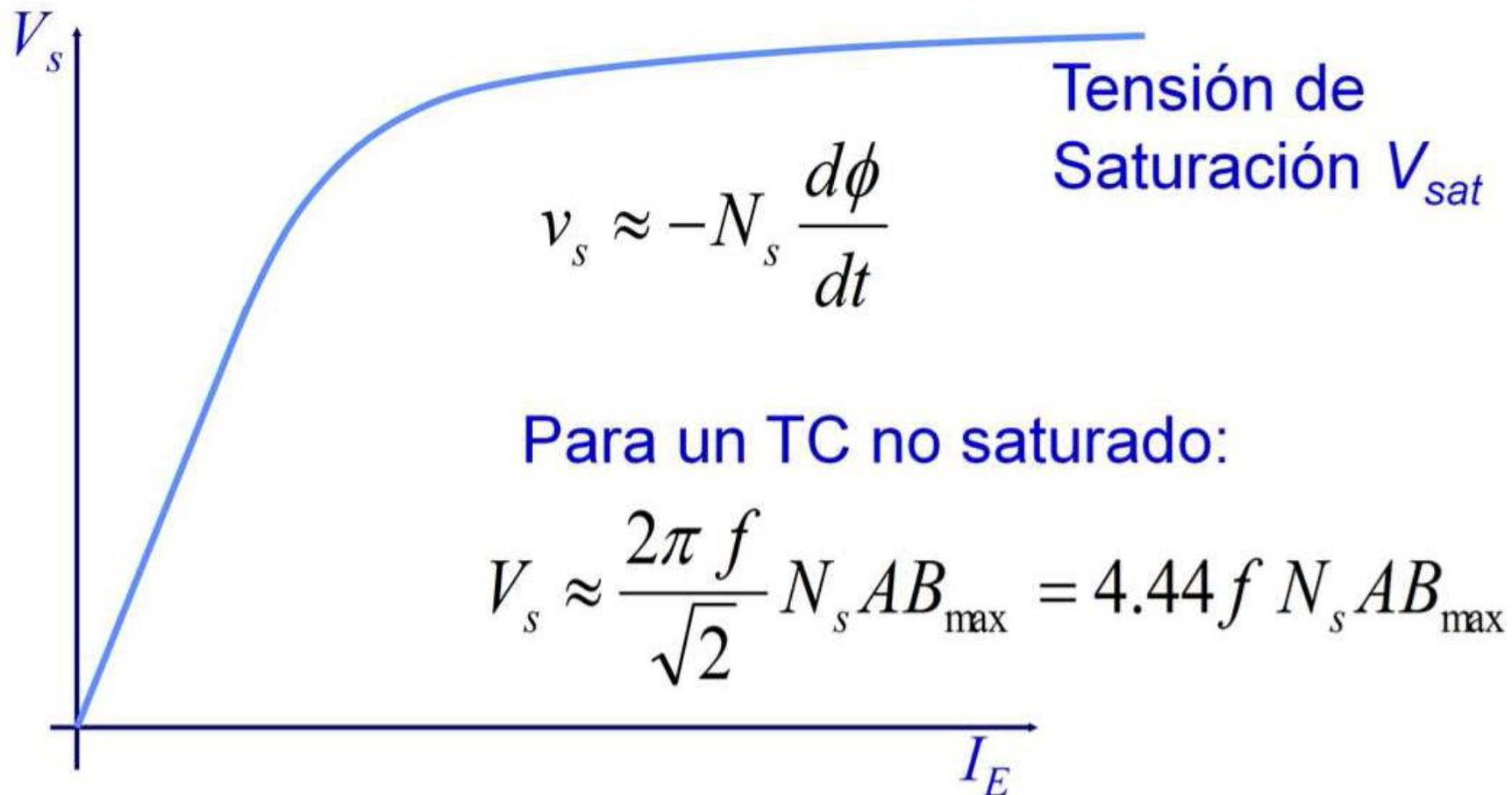
*Vector diagram for
current transformer
(referred to
secondary).*

- E_s = Secondary induced e.m.f.
- V_s = Secondary output voltage
- I_p = Primary current
- I_s = Secondary current
- θ = Phase angle error
- Φ = Flux
- $I_s R_s$ = Secondary resistance voltage drop
- $I_s X_s$ = Secondary reactance voltage drop
- I_c = Exciting current
- I_r = Component of I_c in phase with I_s
- I_q = Component of I_c in quadrature with I_s

Curva de excitación usando V_s

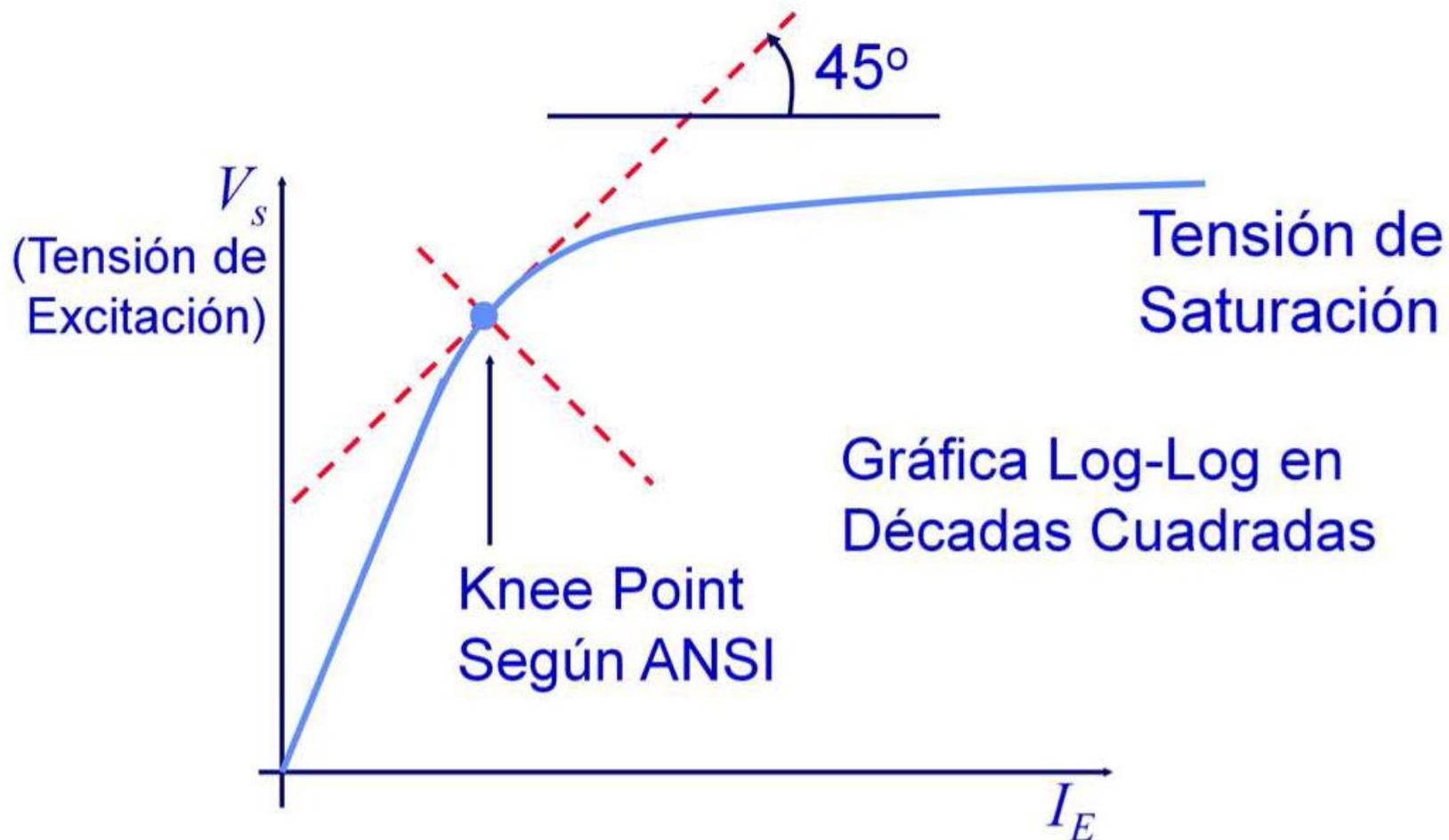
La curva presenta la magnitud de la tensión inducida V_s en función de la corriente de excitación I_E .

Gráfica Log-Log



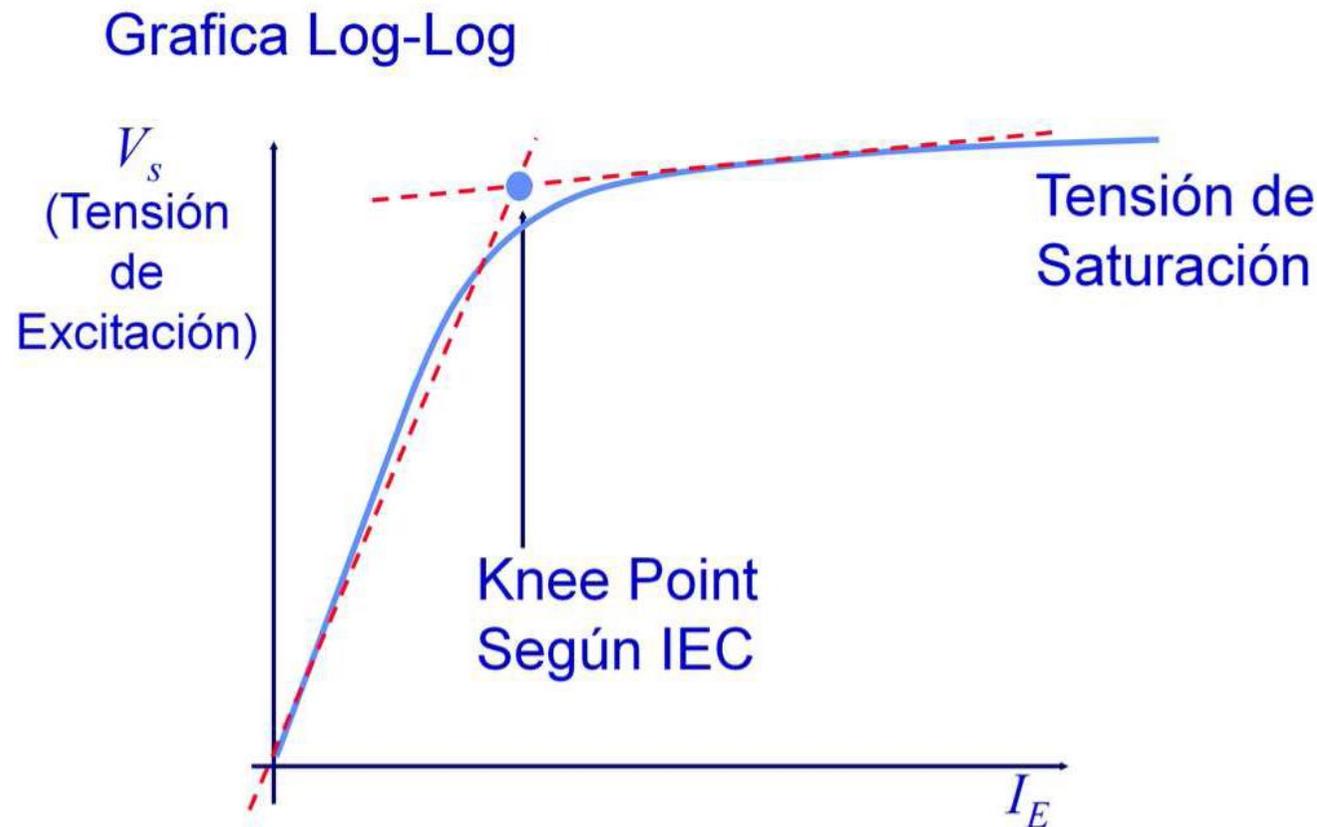
Definición del “Knee Point” según ANSI

Se define geométricamente a partir de la curva de excitación graficada sobre un par de ejes doble logarítmicos de espacios iguales.



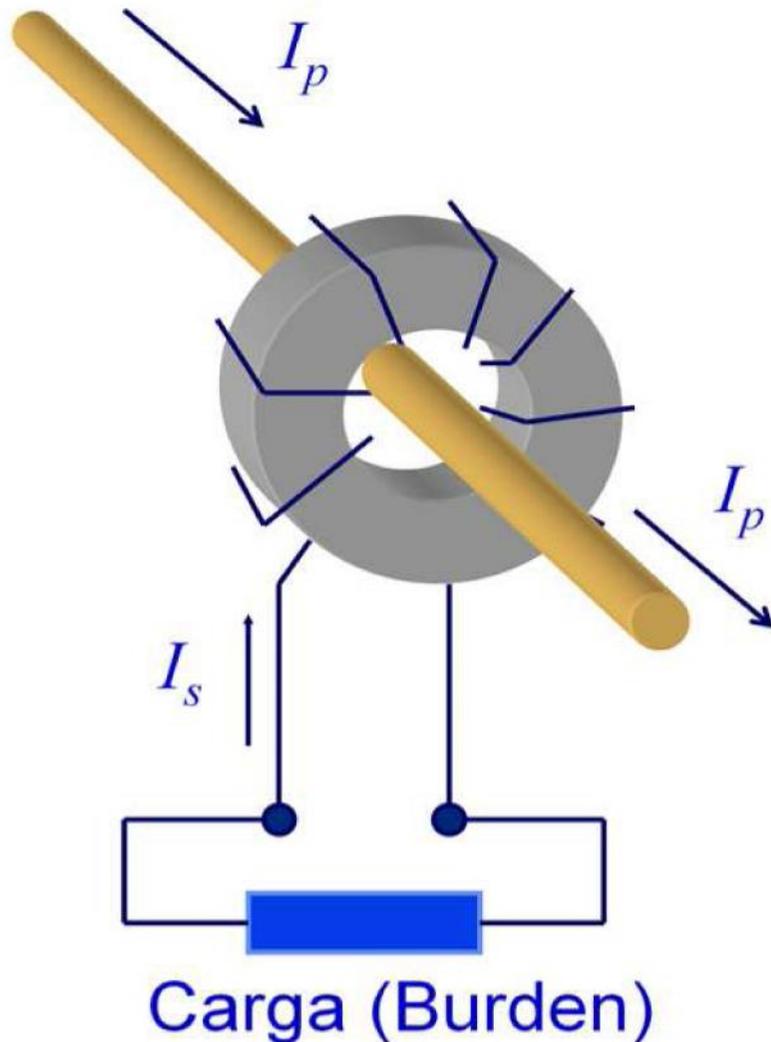
Definición del "Knee Point" según IEC

Se define como el punto de intersección de dos rectas en un gráfico doble logarítmico. Una de ellas es la prolongación de la parte lineal (proporcional) de la curva del TC y la otra se corresponde con la tensión de saturación. La tensión del "knee point" según IEC está muy próxima a la tensión del comienzo de la saturación y se toma como tal.



Respuesta del TC a una I_p Sinusoidal

Ecuaciones Fundamentales



$$i_p = \sqrt{2} I_p \sin(\omega t + \beta)$$

$$v_s \approx -N_s \frac{d\phi}{dt}$$

Clasificación de los TCs según las Normas ANSI

- Para utilizar en instrumentos de medición.
- Para utilizar en los relés de protección.
 - Letras de designación.
 - Clasificación de la tensión en los terminales (bornes).

IEEE Standards



Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

C57.13™

IEEE Standard

**Requirements
for Instrument
Transformers**

IEEE Std C57.13™ - 2003

Published by the
Institute of Electrical and
Electronics Engineers, Inc.

Letra de designación según la Norma ANSI

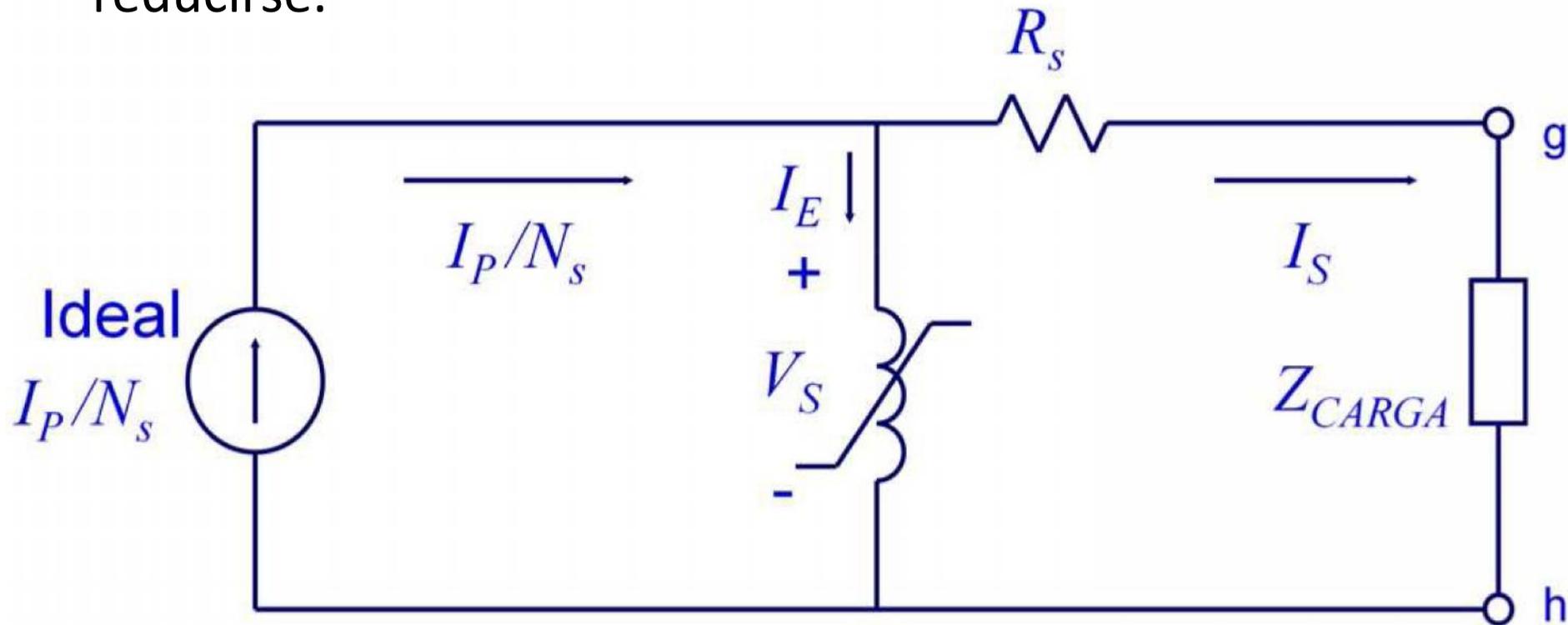
Class: C	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Flujo disperso despreciable.<input type="checkbox"/> De la característica de excitación obtenemos directamente su desempeño.
Class: K	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Igual al de Clase C, excepto la tensión “Knee Point” que es $\geq 70\%$ de la tensión nominal del terminal secundario.
Class: T	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Tienen un valor apreciable de flujo disperso.<input type="checkbox"/> El error de relación se determina mediante un ensayo.

Source: ANSI Standard C57.13 - 1993.

Circuito Equivalente Simplificado

TCs de Clase C

Si se desprecia la pérdida, el circuito equivalente del TC puede reducirse.



$$\bar{I}_S = \frac{\bar{I}_P}{N_S} - \bar{I}_E$$

$$\bar{V}_S = \bar{I}_S (R_s + \bar{Z}_{CARGA})$$

Tensión en los Terminales (Bornes) según la Norma ANSI

TCs de Clase C

- ❑ Mínima tensión que aparece en los terminales del TC (puntos g y h) para:
 - 20 veces la corriente nominal.
 - Consumo de potencia (carga) estándar.
 - Error de relación $\leq 10\%$.

- ❑ Se aplica a la máxima relación (bobinado completo).

Tensión en los Terminales (Bornes) según la Norma ANSI

TCs de Clase C

$$V_{STD} = 20 \times I_N \times Z_{STD}$$

Clase C	$Z_{STD}(\Omega)$	$V_{STD}(V)$
C100	1	100
C200	2	200
C400	4	400
C800	8	800

Clase de precisión según la Norma IEC

- ❑ La IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) especifica los transformadores de corriente como:

15 VA Clase 10 P 20 Factor de la Corriente
Nominal para la cual se
Mantiene la Precisión
Para Protección
Clase de Precisión
Potencia de Carga Continua en VA

Datos Característicos

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

Características
de la corriente
de red

I_{th} : kA/1 s

I_{din} : 62,5 kA pico

Razón de
transformación

1 circuito primario
1 circuito secundario 1S1 - 1S2
1 circuito secundario 2S1 - 2S2

<input checked="" type="checkbox"/> MERLIN GERIN <input type="checkbox"/>					
transformateur de courant - current transformer					
n	9191671	type	RCF 2 / B		
	17,5/38/95	kV	50 Hz	norme standard	CEI - 185
I_{th}	25	kA	1 s	I_{dyn}	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					

Tipo de TC

Norma que
cumple el TC

Factor de
seguridad (FS)

Factor límite
de precisión (FLP)

Clase de precisión

Potencia de precisión



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



MATERIAL DE ENSEÑANZA

094C Protección de Sistemas de Potencia

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

Datos Característicos

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

Características
de la corriente
de red

I_{th} : kA/1 s

I_{din} : 62,5 kA pico

Razón de
transformación

1 circuito primario
1 circuito secundario 1S1 - 1S2
1 circuito secundario 2S1 - 2S2

<input checked="" type="checkbox"/> MERLIN GERIN					
transformateur de courant - current transformer					
n	9191671	type	RCF 2 / B		
	17,5/38/95	kV	50 Hz	norme standard	CEI - 185
I_{th}	25	kA	1 s	I_{dyn}	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					

Tipo de TC

Norma que
cumple el TC

Factor de
seguridad (FS)

Factor límite
de precisión (FLP)

Clase de precisión

Potencia de precisión

Normas

NORMA ANSI C57-13

- ✓ TIPO “C”: PUEDEN SER VERIFICADOS MEDIANTE CALCULO
- ✓ TIPO “T”: CON BOBINADO PRIMARIO
- ✓ ERROR DE RELACION MENOR A 10% PARA 20 VECES I_n
- ✓ TENSION SECUNDARIA EN REGIMEN DE SOBREINTENSIDAD: 10, 20, 50, 100, 200, 400, 800 V
- ✓ C400: TRANSFORMADOR CON UNA TENSION SECUNDARIA DE 400 V, CUANDO LA CORRIENTE QUE CIRCULA ES $20 \times I_n$ SIN EXCEDER 10% DE RELACION

NORMA IEC - 185

- ✓ FORMA DE ESPECIFICAR LA CLASE DE PRECISION (#1 P #2)
- ✓ #1: ERROR COMPUESTO (5 o 10%)
- ✓ P: PROTECCION
- ✓ #2: FACTOR LIMITE DE PRECISION O FACTOR DE SATURACION (5, 10, 15, 20 o 30)
- ✓ 5P10: EL TRANSFORMADOR CONSERVARA EL ERROR DE \oplus 5% PARA INTENSIDADES DE FALLA MENORES O IGUALES A 10 VECES LA CORRIENTE NOMINAL

Reglas para seleccionar TCs

❑ C37.110-1996 “IEEE Guide for the Application of Current Transformers for Relaying Purposes”.

- Da reglas para la selección de TCs en aplicaciones de la protección diferencial.
- No hay reglas precisas para la protección de líneas.

Factor Límite de Precisión

Es el valor de la corriente en el primario para el cual el TC con la carga en el secundario responde a los límites exigidos por el error compuesto; ello indica para que múltiplo de I_N del primario comienza la saturación del TC con la carga nominal.

$$FLP = \frac{I_{CC}}{I_{Pnom}}$$

Donde:

FLP : Factor límite de precisión.

I_{CC} : Corriente de cortocircuito.

I_{Pnom} : Corriente nominal en el primario del TC.

Factor Nominal de Seguridad (F_S)

Es la intensidad primaria para que el transformador ha comenzado a saturarse. En este momento, la intensidad secundaria multiplicada por la relación de transformación nominal debe ser menor o igual a 0,9 veces la intensidad primaria.

$$F_S = \frac{I_{PS}}{I_{Pn}}$$

$$k_n I_{SS} < 0,9 I_{PS}$$

Donde:

I_{PS} : Intensidad nominal de seguridad.

I_{Pn} : Intensidad primaria nominal.

Intensidad Límite Dinámica y Térmica

Las sobreintensidades son muy superiores a las intensidades nominales de los TC y originan efectos térmicos y dinámicos que pueden dañar el transformador.

Los efectos térmicos obligan a dimensionar el primario del TC.

Conocida la potencia máxima de cortocircuito de la línea en la que está colocado el TC, podemos calcular la intensidad térmica:

$$I_{term} = \frac{P}{\sqrt{3} V}$$

Intensidad Límite Dinámica y Térmica

Donde:

I_{term} : Intensidad térmica de cortocircuito (kA eficaces).

P : Potencia de cortocircuito (MVA).

V : Tensión (kV).

La intensidad dinámica de cortocircuito se obtiene a partir de la térmica:

$$I_{din} = 1,8\sqrt{2} I_{term}$$

$$I_{din} = 2,5456 I_{term}$$

$$I_{cresta} = 2\sqrt{2} I_{din}$$

$$I_{cresta} = 2,83 I_{din}$$

Elección del TC

1. Tipo de instalación, interior o intemperie. Se debe tener en cuenta la altitud, para > 1000 m.s.n.m.
2. Nivel de aislamiento.
3. Relación de transformación nominal.
4. Elección de la clase de precisión.
5. Determinación de la potencia nominal.
6. Factor nominal de seguridad.
7. Factor límite de precisión nominal.
8. Intensidades límites térmica y dinámica.
9. Frecuencia nominal.
10. Características de cortocircuito.
11. Resistencia a los esfuerzos dinámicos internos, por determinación de la I_{din} requerida.

Elección del TC

Datos necesarios para la especificación de un TC con un único arrollamiento primario.

Información necesaria	Abreviaturas	Unidades de medida
Nivel de aislamiento	U_n	kV
Corriente de cortocircuito nominal	I_{cc}	kA
Duración (1 ó 3 segundos)	t	s
Corriente primaria nominal	I_p	A
Número de arrollamientos (1 a 3)		
Para cada arrollamiento secundario:		
■ Tipo		
■ Protección o medida asociada y su ajuste		
■ Potencia de precisión útil (consumo del equipo y del cableado)	$P_{\text{útil}}$	VA
■ Factor de precisión:		
□ de protección	FLP	
□ de medida	FS	
■ Intensidad secundaria nominal (1 ó 5 A)	I_s	A



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



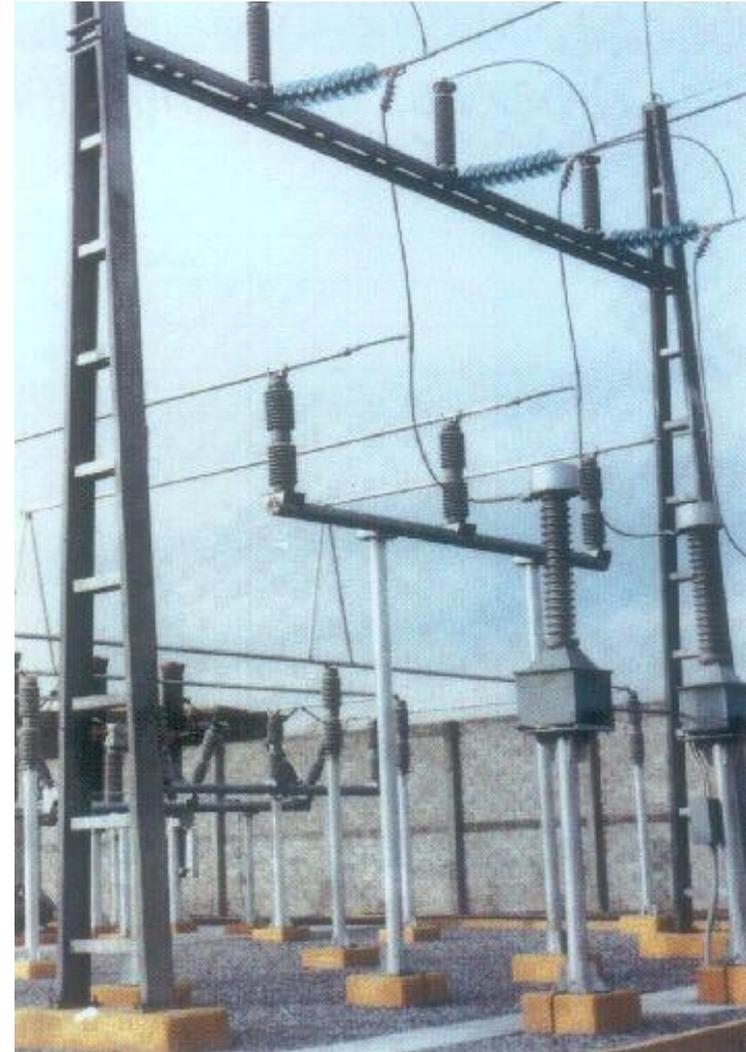
MATERIAL DE ENSEÑANZA

Transformadores de Tensión (TP's)

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

Introducción

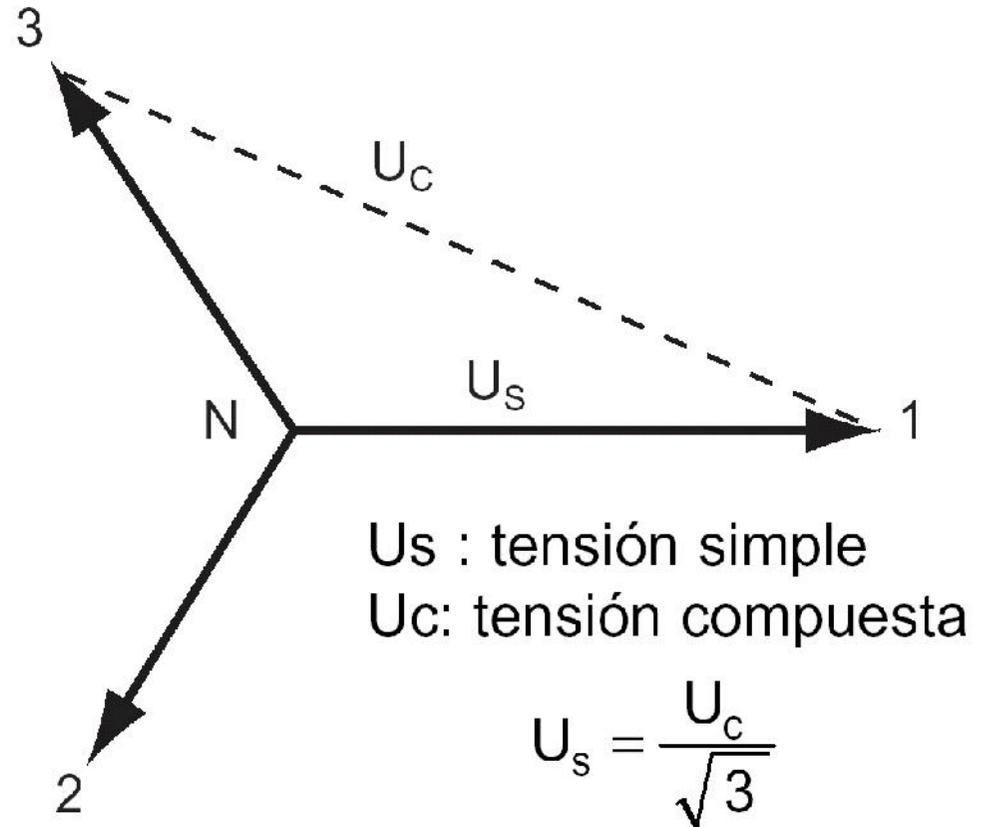
- Los transformadores de tensión o de potencial, son aquellos que se encargan de reducir la tensión para alimentar a los instrumentos de medición y de protección.
- La tensión de salida es de 110V o 110V/ 3.
- La regulación de tensión debe ser mínima, del orden del 1%.



Introducción

Existen 2 tipos distintos en función de su conexión al circuito primario.

- ❑ **Tensión simple o tensión de fase** (1 solo borne aislado): conexión fase – tierra.
- ❑ **Tensión compuesta o tensión de línea** (2 bornes aislados): medida de tensiones entre fases.



Introducción

Para el caso de un transformador ideal se cumplirá:

$$K_n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

donde:

K_n : relación de transformación

U_1 : tensión de primario

U_2 : tensión secundaria

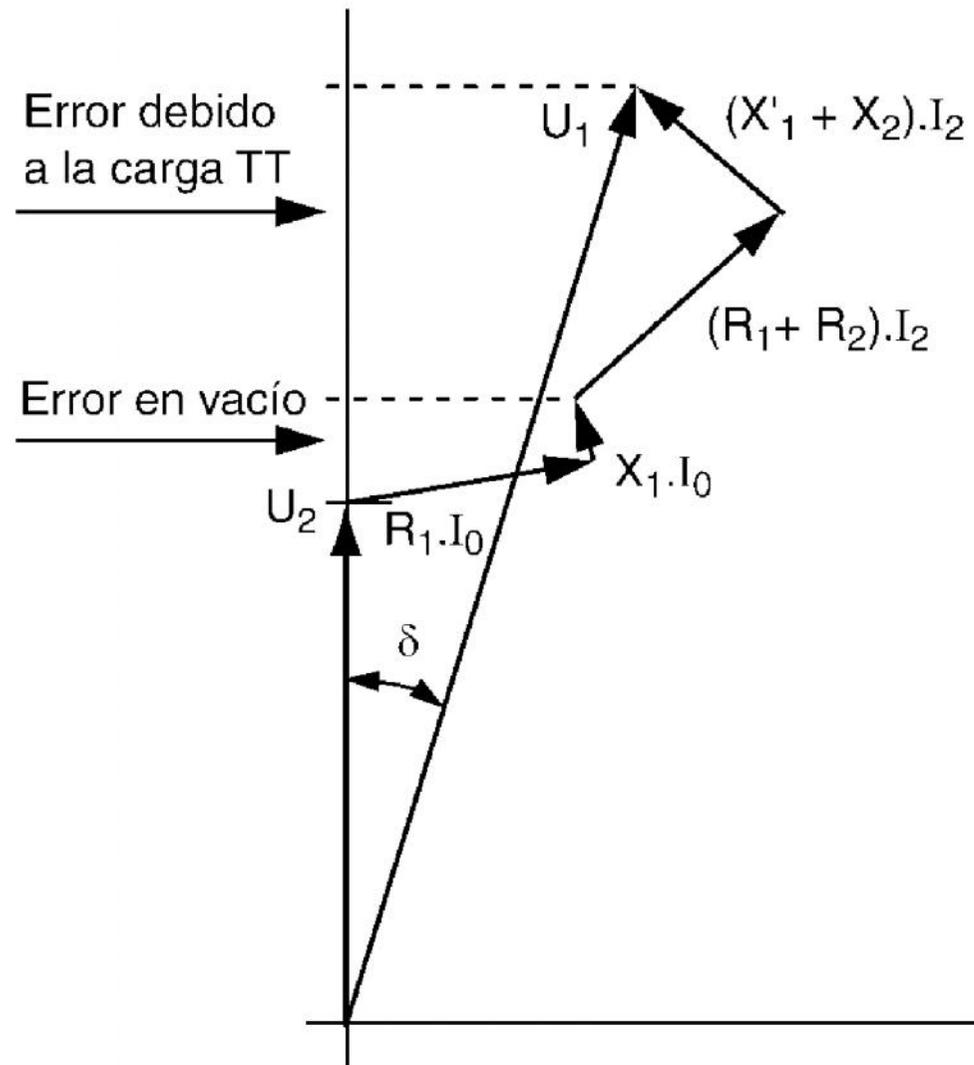
N_1 : número de espiras del bobinado primario

N_2 : número de espiras del bobinado secundario

Introducción

Pero los transformadores reales nunca son ideales.

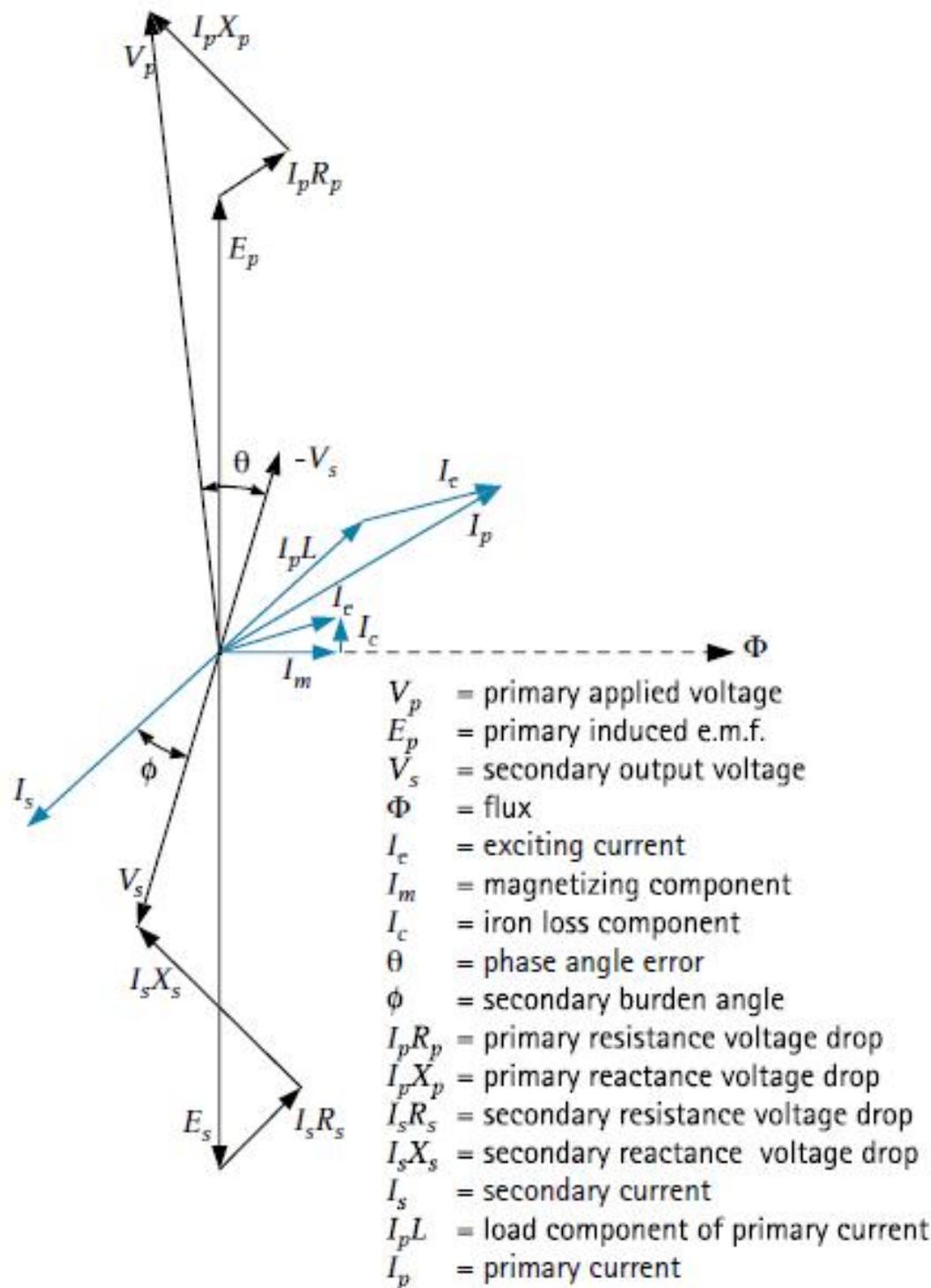
Diagrama vectorial de un transformador de tensión real.



R'_1 y X'_1 : Resistencia y reactancia de dispersión del primario referidas al secundario

$$R'_1 = R_1/K^2, \quad X'_1 = X_1/K^2$$

Introducción



Vector diagram for voltage transformer

Normas

Se diseñan en base a las normas:

ANSI C57-13.

IEC – 185.

Tipos:

Inductivos:

Generalmente se instalan en las barras de las subestaciones de potencia.

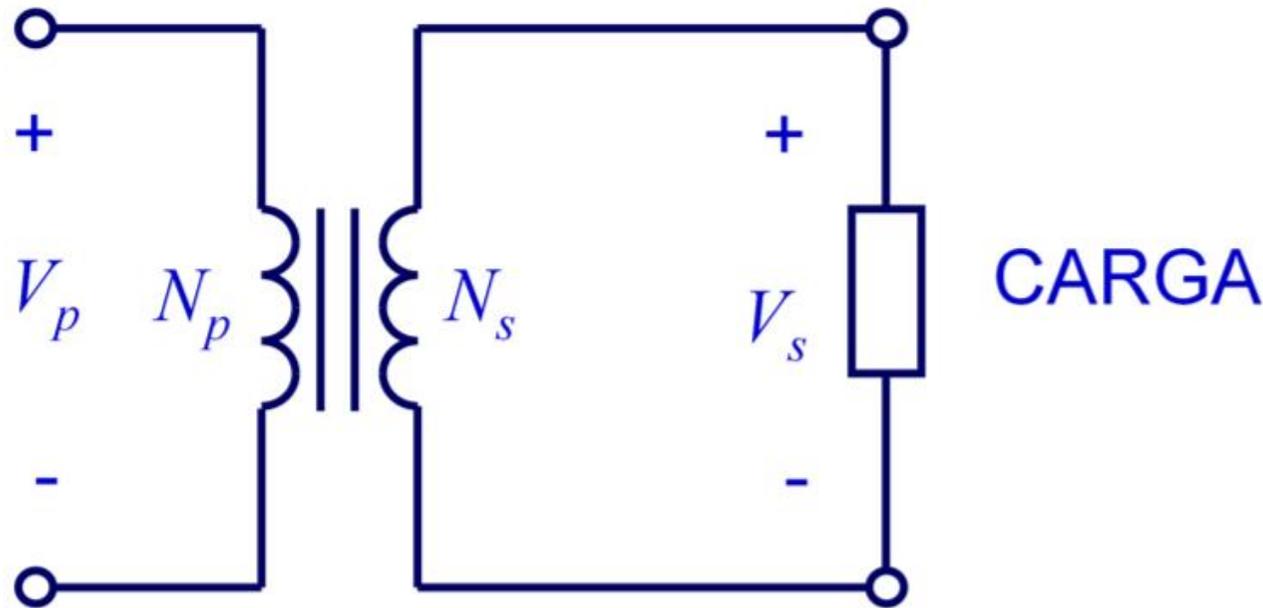
Capacitivos:

Generalmente se instalan en las líneas de transmisión.

Transformadores de Tensión Magnéticos

Transformador de Tensión Magnético (TT)

El principio de funcionamiento se basa en captar una tensión del circuito principal o primario, transformándola en otra tensión reducida en sus bornes secundarios.

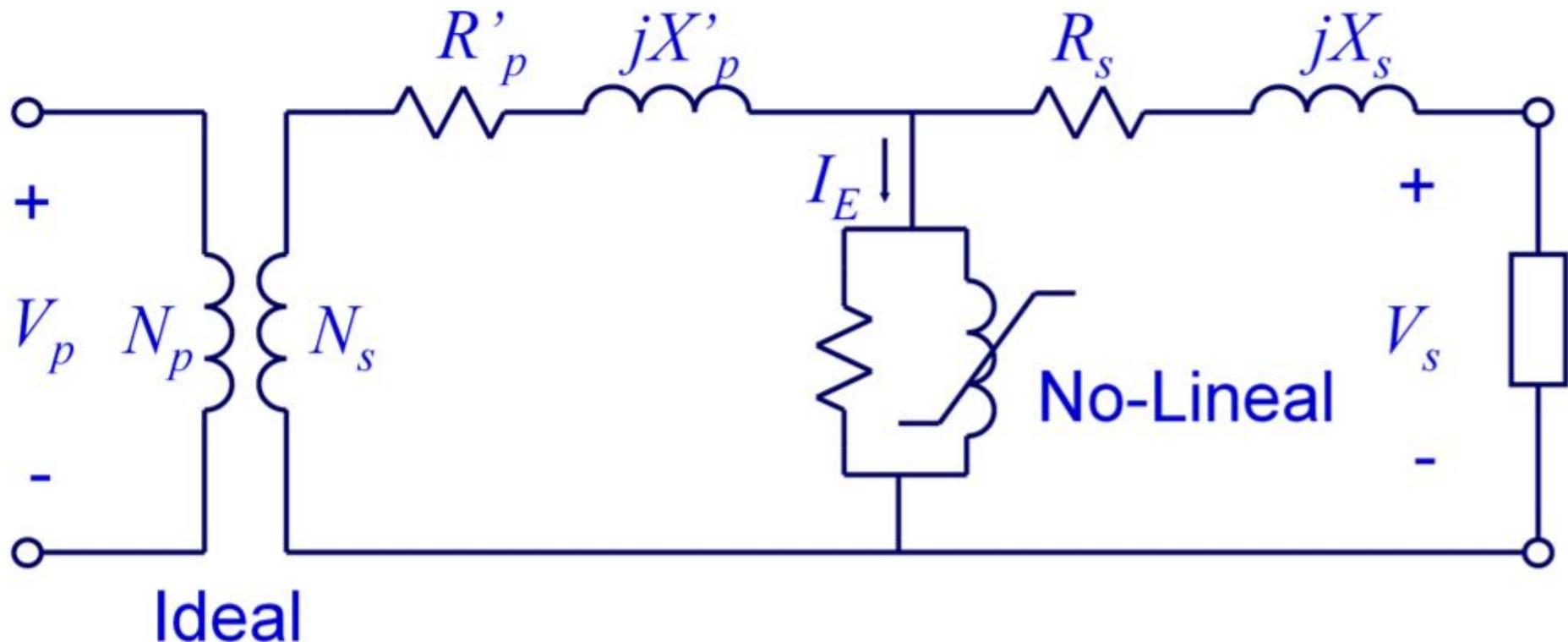


Idealmente :

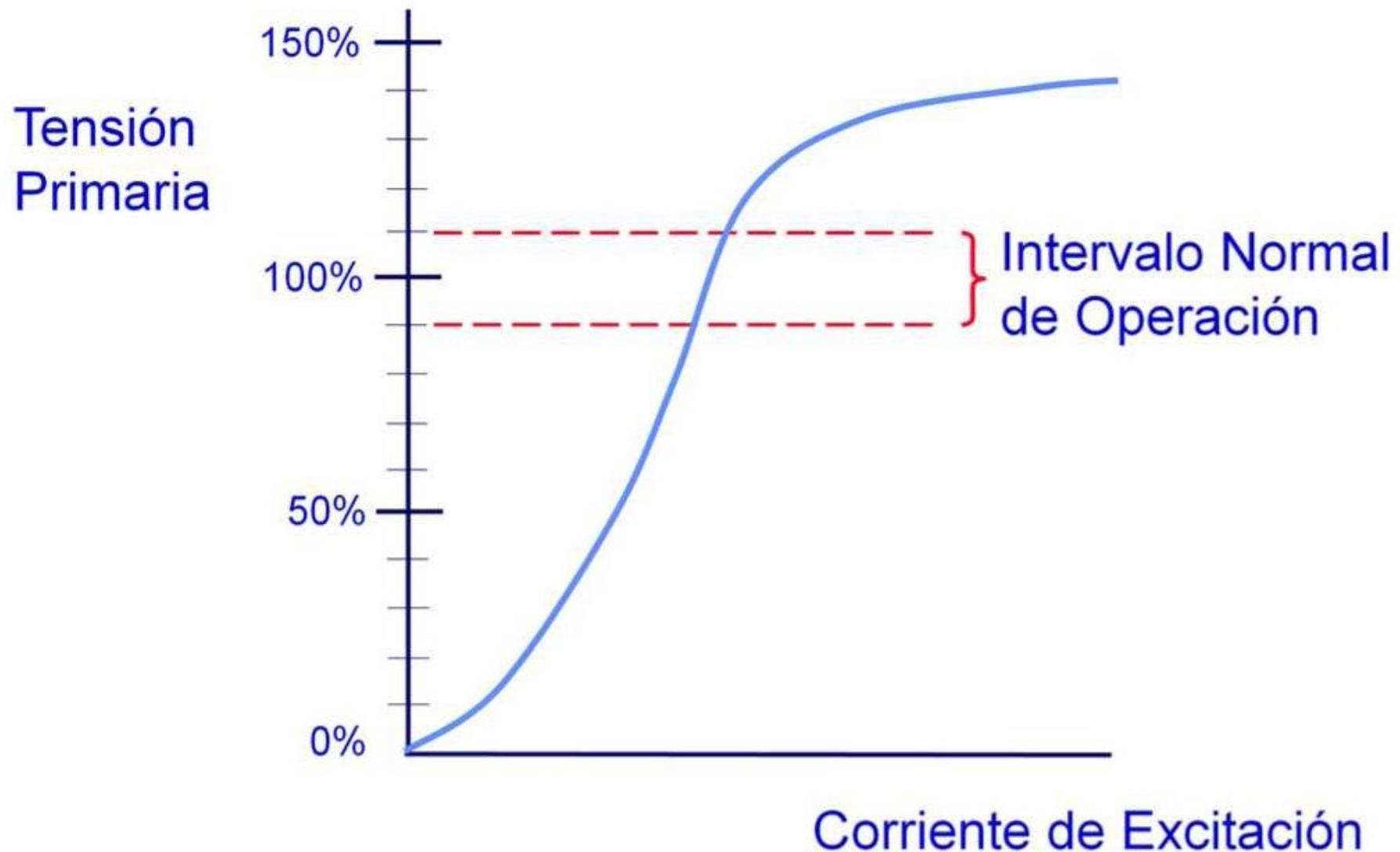
$$V_s = \frac{N_s}{N_p} V_p$$

Circuito Equivalente del TT

Referido al lado secundario

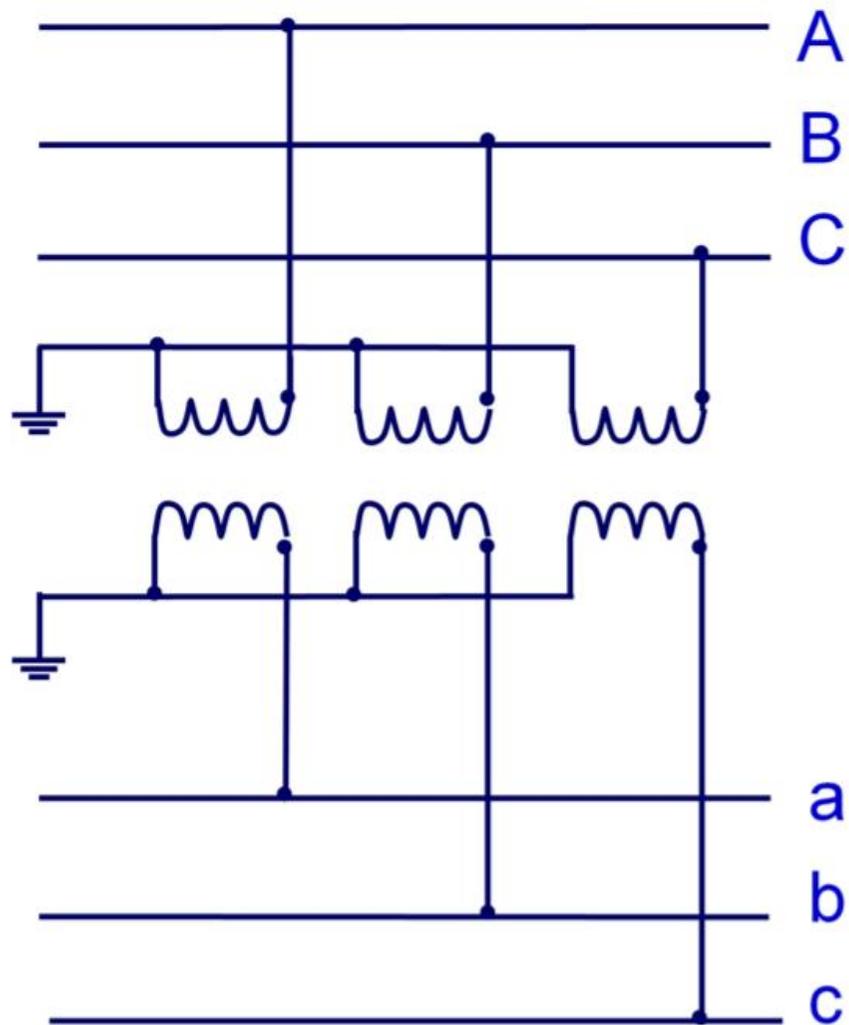


Curva Típica de Saturación del TT

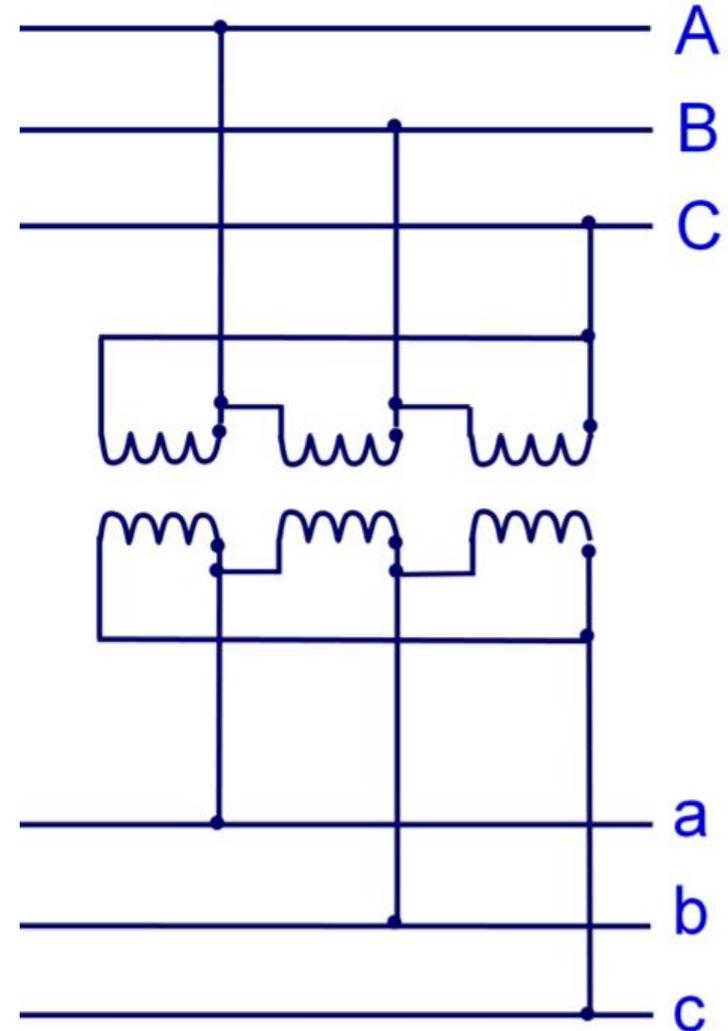


Conexiones del TT

Estrella

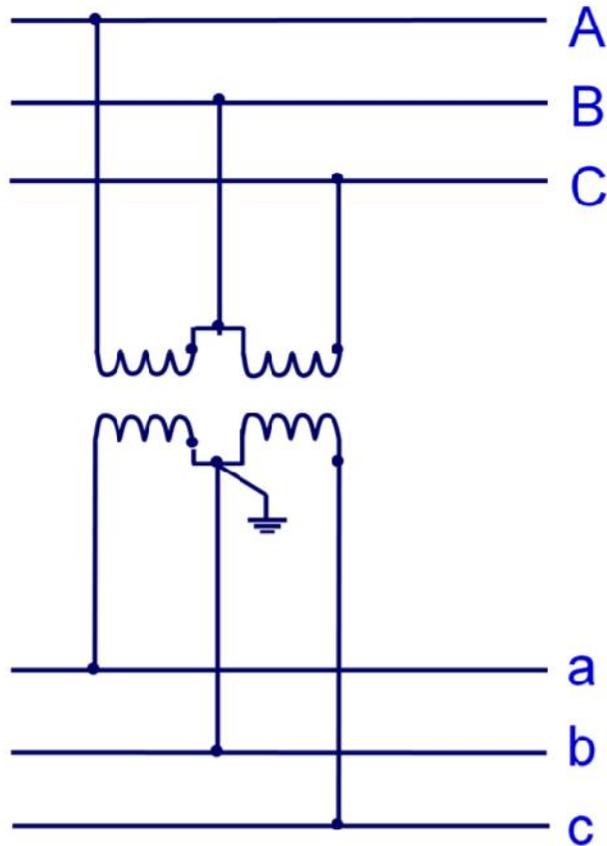


Triángulo

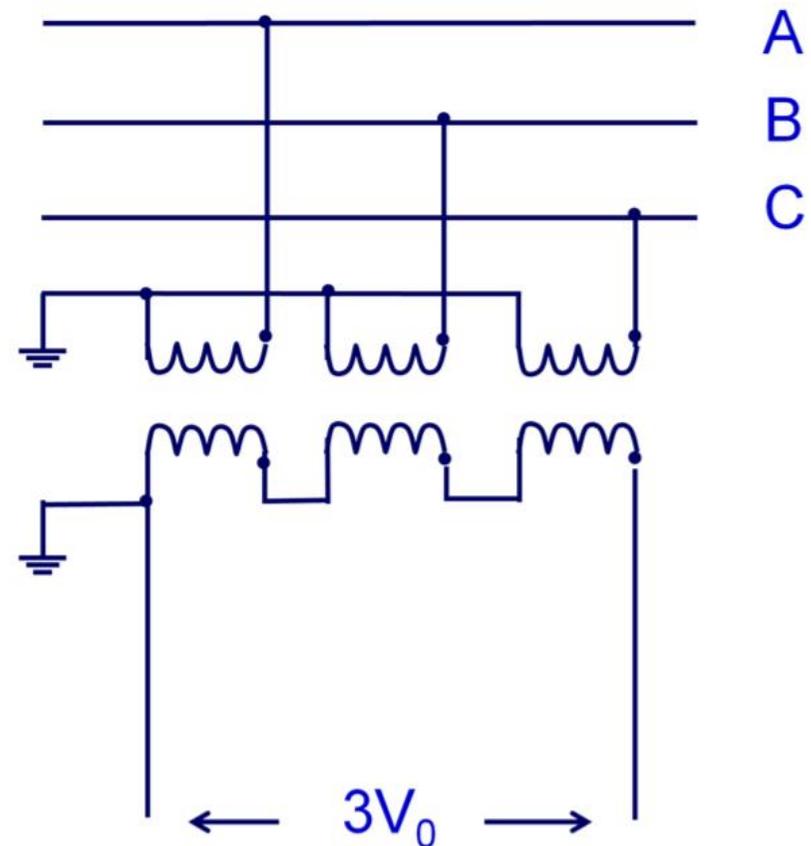


Conexiones del TT

Triángulo abierto con 2 TTs, conexión en "V"



Triángulo Abierto



Potencias Estándar según ANSI

Transformadores de Tensión

Burden (Potencia)	Volt - Amperes	Factor de Potencia
W	12,5	0,10
X	25	0,70
M	35	0,20
Y	75	0,85
Z	200	0,85
ZZ	400	0,85

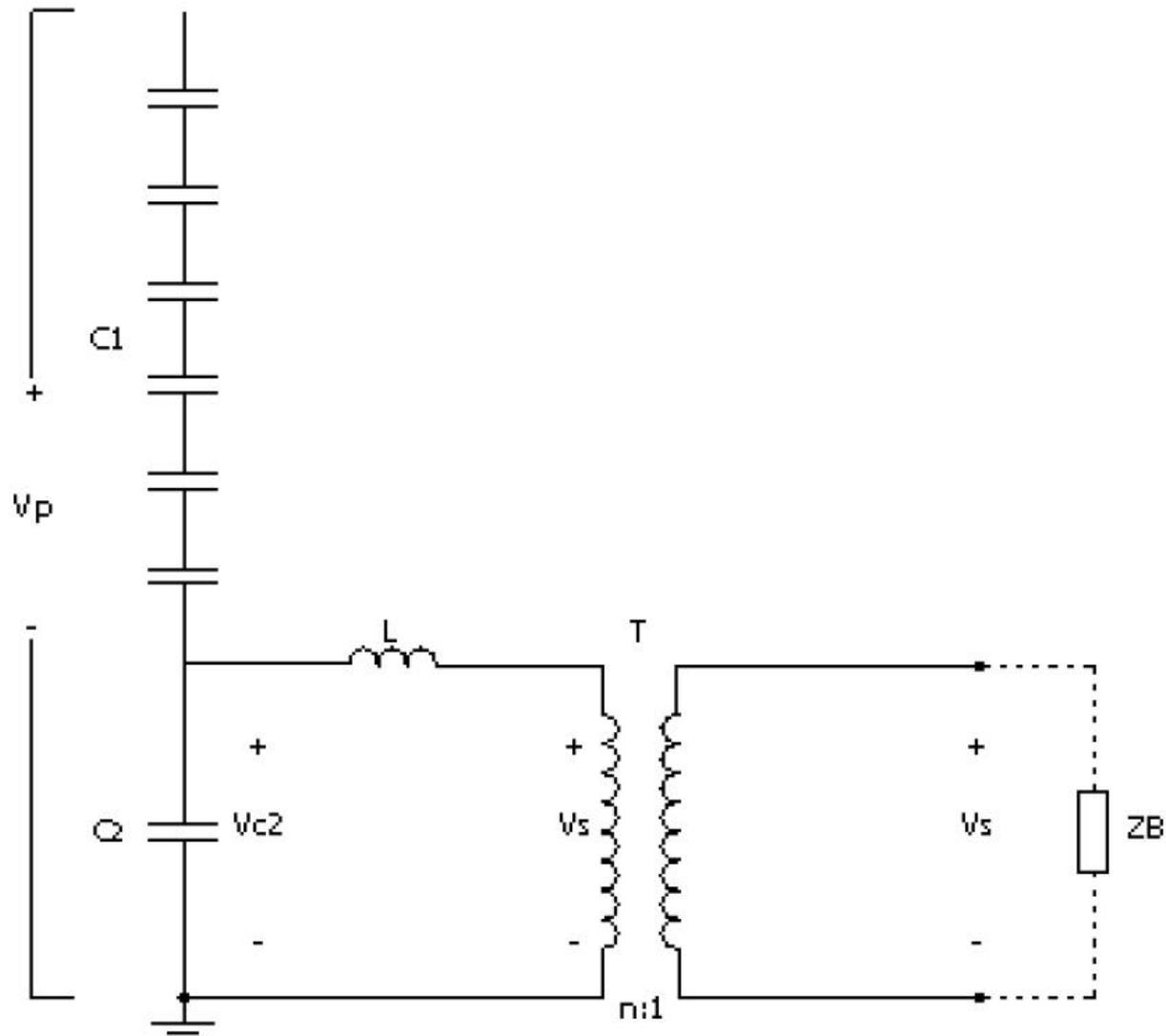
Clases de Precisión según ANSI

Transformadores de Tensión

Clase de Precisión	Límites del Factor de Corrección de Relación	Límites del Factor de Potencia (atraso)
1,2	1,012 – 0,998	0,6 – 1,0
0,6	1,006 – 0,994	0,6 – 1,0
0,3	1,003 – 0,997	0,6 – 1,0

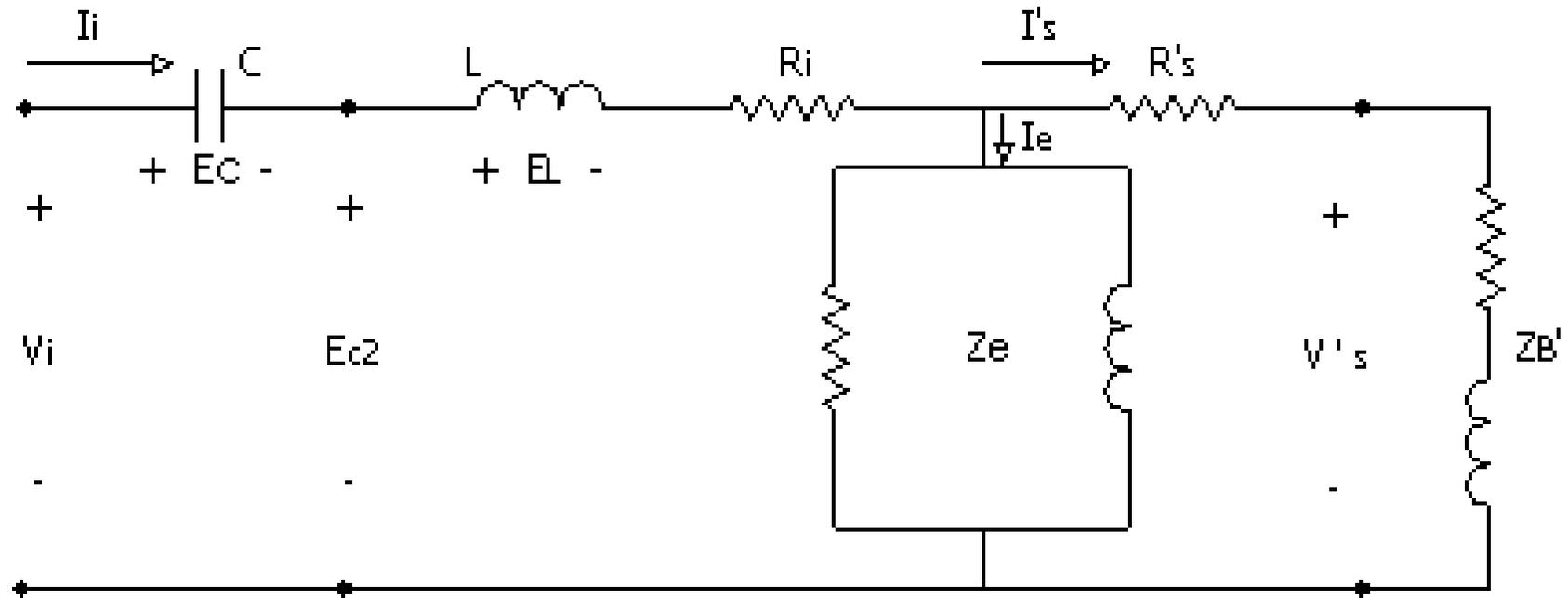
Transformadores de Tensión Capacitivos

Estructura del TTC



Circuito básico de un TP Capacitivo

Estructura del TTC



Circuito equivalente de un TP Capacitivo

Error de tensión

Es el error que un TP introduce en la medida de una tensión, el cual refleja que la relación de transformación real difiere de la nominal.

$$\text{Error de tensión (\%)} = \frac{nV_s - V_p}{V_p} \times 100$$

Donde:

n : Relación de transformación nominal.

V_p : Tensión primaria real.

V_s : Tensión secundaria real.

Si el error es positivo, el voltaje excede el valor nominal.

Desplazamiento de fase

Precisión

Según IEC son 3P y 6P.

El error de tensión y desplazamiento no debe exceder los valores desde el 5% V_n hasta 100% V_n multiplicado por el factor de tensión con la carga entre el 25% y el 100% de la carga nominal y un factor de potencia de 0,8 atrasado.

Límites de error en un TP para protección.

Clase	Error en la relación de tensión (%)	Ángulo de fase mínimo
3 P	± 3.0	± 120
6 P	± 6.0	± 240

Desplazamiento de fase

Límites de error de TP (V_n : Voltaje nominal).

Clases	Voltaje primario	Error de voltaje ($\pm\%$)	Error de fase ($\pm\text{min}$)
0.1	$0.8 V_n, 1.0 V_n, 1.2 V_n$	0.1	0.5
0.2		0.2	10
0.5		0.5	20
1.0		1.0	40
0.1	$0.05 V_n$	1.0	40
0.2		1.0	40
0.5		1.0	40
1.0		2.0	80
0.1	V_n	0.2	80
0.2		2.0	80
0.5		2.0	80
1.0		3.0	120

Elección de un TP

Debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Tipo de instalación, interior o intemperie. Se debe tener en cuenta la altitud, para valores superior a 1000 m.s.n.m.
2. Nivel de aislamiento.
3. Relación de transformación nominal.
4. Clase de precisión.
5. Frecuencia nominal.
6. Potencia a alimentar en VA.
7. Número de secundarios.



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



MATERIAL DE ENSEÑANZA

094C Protección de Sistemas de Potencia

¡Muchas Gracias!

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com



Universidad Nacional del Centro del Perú
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



MATERIAL DE ENSEÑANZA

094C Protección de Sistemas de Potencia

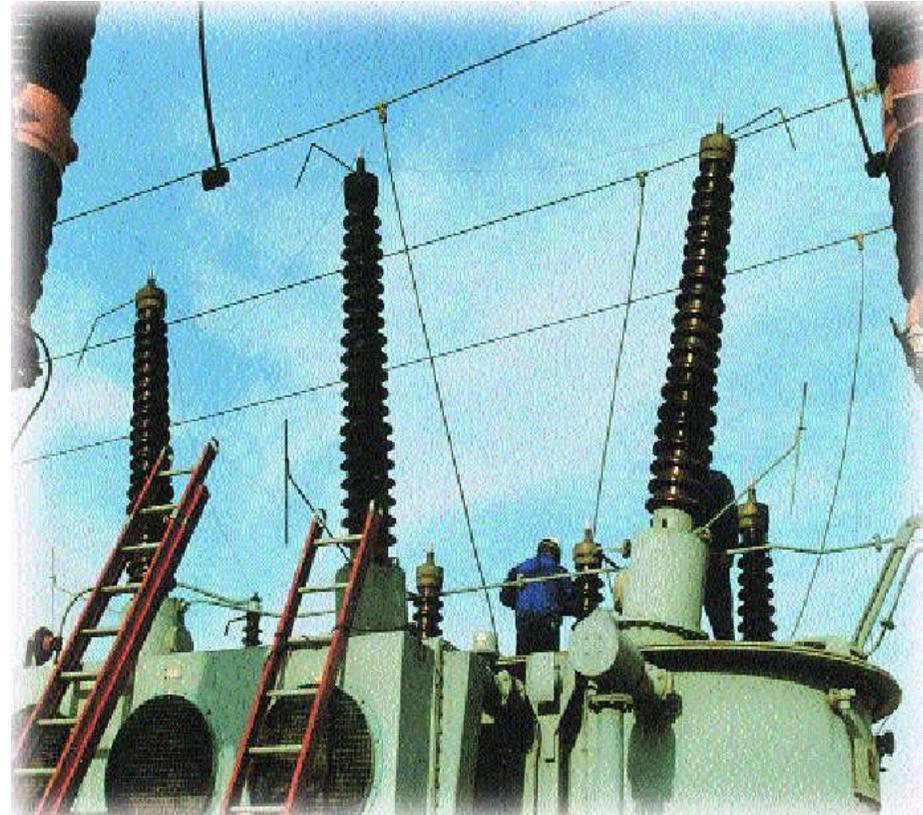
Elementos para el Diseño de los Sistemas de Protección

© Waldir Astorayme Taipe
wastorayme@hotmail.com

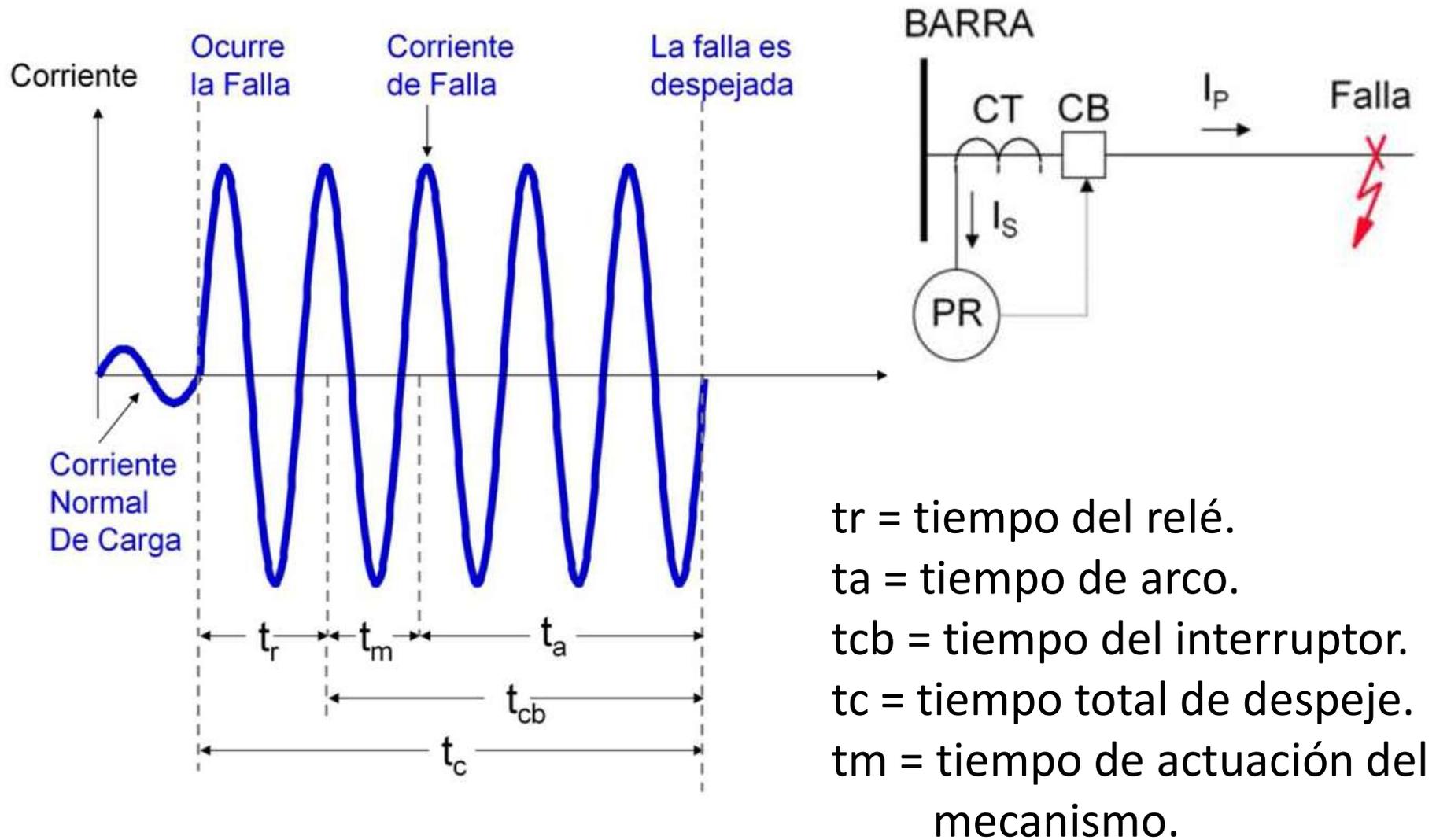
La Detección de las Fallas

Dispositivos de Protección

- Fusibles.
- Reconectores automáticos.
- Seccionalizadores.
- Interruptores.
- Relés de protección.

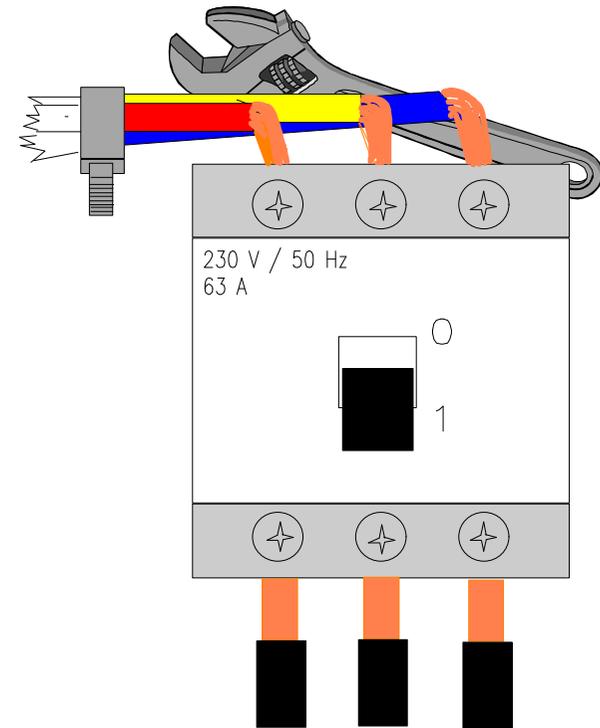


Secuencia de eventos durante una falla



Principio de la detección de fallas

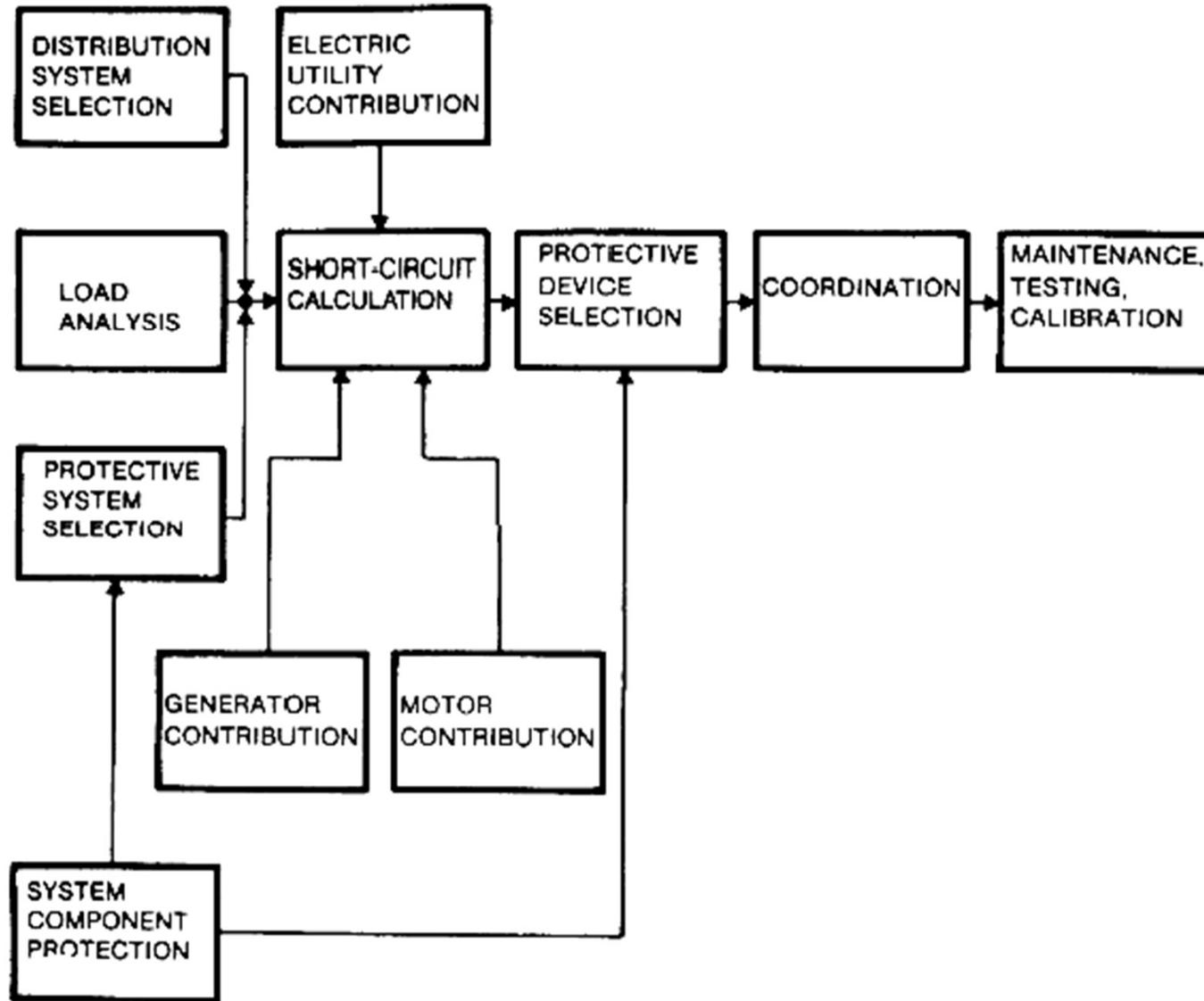
- Detección del nivel.
 - Corriente.
 - Tensión.
- Comparación del ángulo de fase.
- Medición de la distancia.
- Comparación diferencial.
- Comparación de magnitudes.
- Sensado de la frecuencia.
- Detección del contenido armónico.



Consecuencia de las fallas

- La más peligrosa es el fuego, ocasiona destrucción total
- Los cortocircuitos ocasionan las siguientes fallas:
 - Reducción del voltaje en una parte importante del sistema.
 - Daños en los elementos eléctricos del sistema.
 - Daños a los aparatos del sistema por sobrecalentamiento y esfuerzos mecánicos.
 - Perturbación de la estabilidad dinámica del sistema, pudiendo producir el colapso del SEP.

Pasos de Coordinación de Protección



Los Relés de Protección

Características

Las características funcionales son:

1. El relevador debe ser sensible a las sobretensiones momentáneas y también a las sobrecargas momentáneas.
2. El relevador no debe alterar su operación por variaciones en la tensión y en la corriente.
3. El consumo propio de potencia del relevador debe ser tan bajo como sea posible.
4. Su funcionamiento no debe ser alterado por cambios en la configuración de la red considerados como normales como son: conexión y desconexión de cargas, entrada y salida de líneas, etc.
5. El relevador debe operar cualquiera que sea la naturaleza y situación de la falla para lo cual ha sido seleccionado.

Requisitos Básicos

La protección ideal será aquella que actúa solamente ante los disturbios para los que ha sido instalada, que los hiciera en el menor tiempo posible y que su precio fuera mínimo.

Este ideal no es fácil de conseguir, por lo que es menester valorar una serie de aspectos.

Los requisitos más destacables son:

a) Seguridad. La probabilidad de no actuación de un sistema o componente cuando no debe hacerlo.

b) Obediencia. La probabilidad de actuación de un sistema o componente cuando debe hacerlo.

- c) Fiabilidad.** La probabilidad de que un sistema o componente actúe única y exclusivamente cuando debe hacerlo. La fiabilidad de un equipo es el producto de la seguridad y obediencia. Disponer dos relés en paralelo aumenta la obediencia y disminuye la seguridad del sistema; por el contrario, dos relés en serie aumenta la seguridad y disminuyen la obediencia.
- d) Precisión.** La respuesta a los valores de entrada.
- e) Rapidez.** El tiempo invertido desde la aparición de la falla hasta el momento en que cierra sus contactos el relé. El aumento de la rapidez implica una disminución de la fiabilidad.
- f) Flexibilidad.** Para adaptarse a los cambios funcionales.

- g) Simplicidad**. En el diseño, reduciendo al mínimo el número de funciones e interacciones.
- h) Mantenimiento**. Reducción al mínimo de piezas sujetas a desgaste, evitando el mantenimiento periódico.
- i) Facilidades de prueba**. Se valora que el equipo tenga incorporados dispositivos que faciliten su verificación sin que sea necesario desconectar ningún conductor para realizar las pruebas.
- j) Autodiagnóstico**. La inclusión de funciones de autoverificación en la protección. Esta es una de las ventajas que aportan las protecciones digitales.
- k) Modularidad**. El montaje de las protecciones en módulos enchufables posibilita la localización y reparación de las averías.
- l) Precio**. Reducido.

Principio de operación

Los relés detectan rápidamente la falla y dan la orden de disparo al interruptor de potencia.



Diagrama esquemático de operación.

Diseño de Relés de Protección

- Relés Electromecánicos.
- Relés Electrónicos Analógicos.
 - Tubos de vacío y de gas.
 - Estado Sólido (Transistores, Circuitos Integrados).
- Relés Microprocesados (Digitales).

ABB Mo

Compact Introduction Substation Design LTB Compact Line Entrance

In data for availability comparison

Here below you can fill in relevant data for the availability comparison. The default values are shown in the table below.

Component	MTBM Years	MTTM Hours	MTBF Years	MTTR Hours	Place the cur
Circuit Breaker	15	10	200	24	
Combined Module	15	10	200	24	
Compact Moving Part	15	4	200	12	
Compact Fixed Contacts	100	0	6000	8	
Disconnecting Switch	5	4	200	12	

Compact isolation time h

Breaker isolation time h

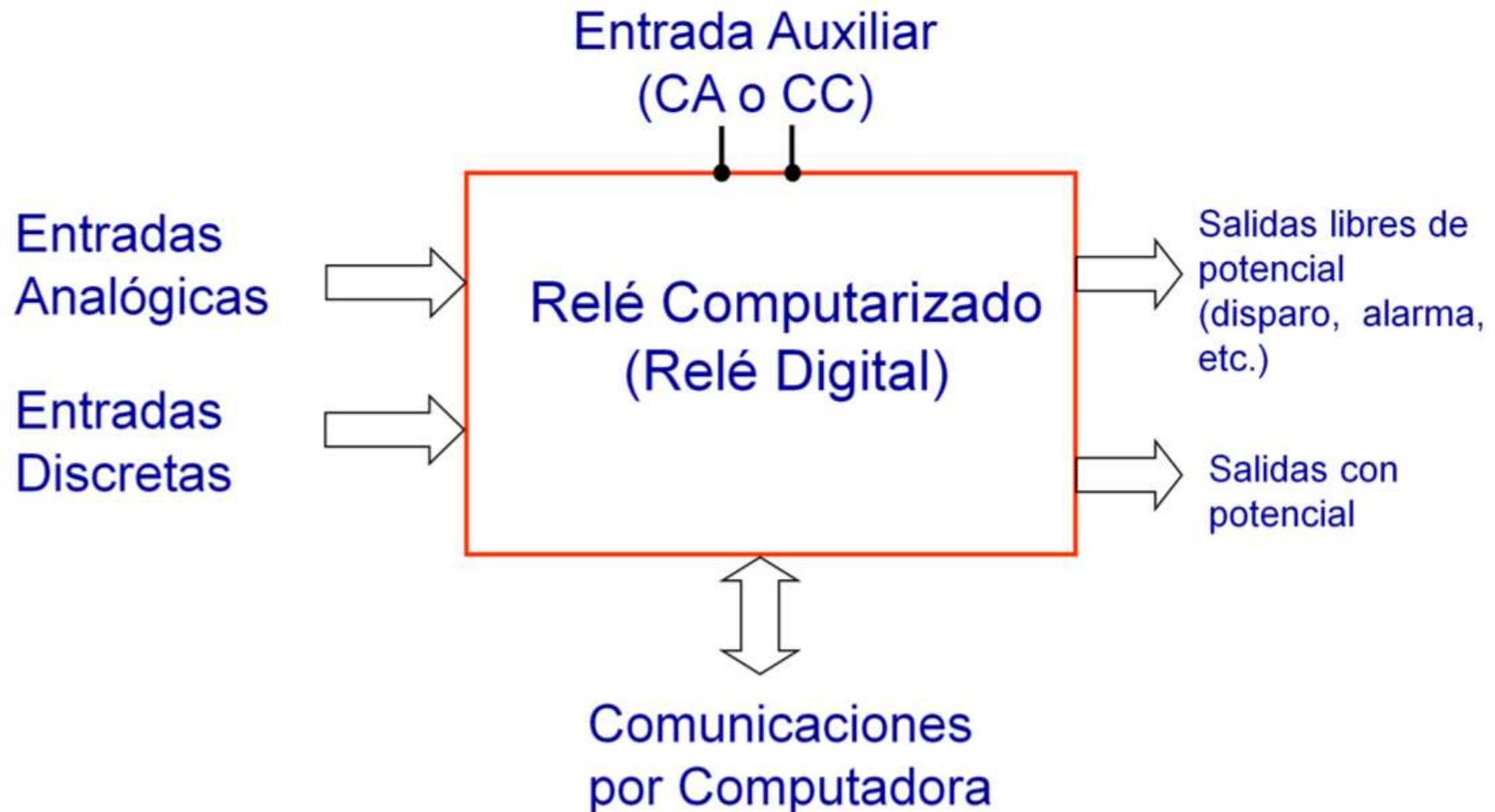
Total no. of bays

Loss of 1 throughgoing load kUSD/h

Loss of 2 throughgoing loads kUSD/h

Time period years

Esquema de entrada / salida de un Relé Digital



Ventajas de los Relés Digitales

- Bajo Costo.
- Multifuncionalidad.
 - Protección y control.
 - Medición.
 - Registro de fallas.
 - Capacidad de comunicación.
- Compatibilidad con los sistemas digitales integrados.
- Alta confiabilidad.
 - Relés (integración, auto-chequeo).
 - Sistema de protección (supervisado por los relés).

Ventajas de los Relés Digitales

Sensibilidad y selectividad.

- Nuevos principios de Protección.
- Nuevas características operativas de los Relés.

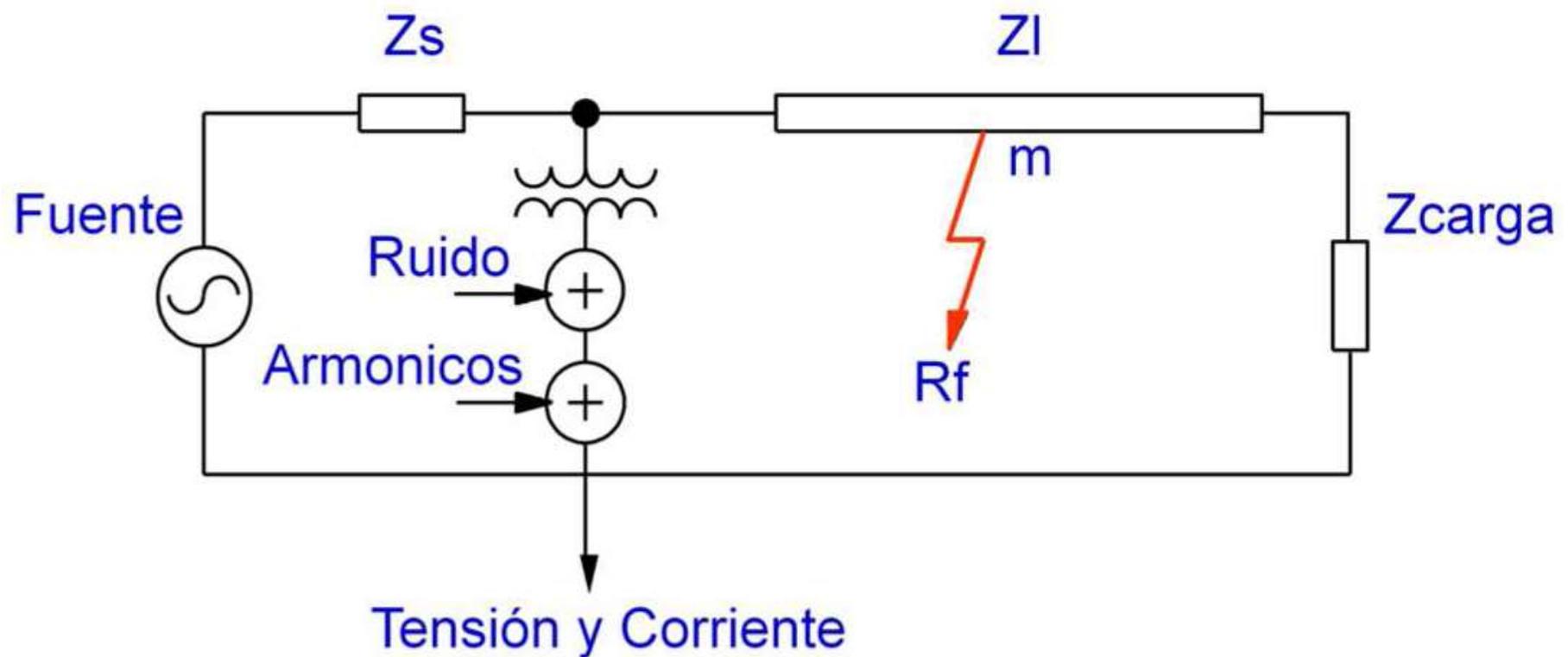
Libre de mantenimiento.

Consumo reducido en TCs y TPs.

Protección adaptativa.

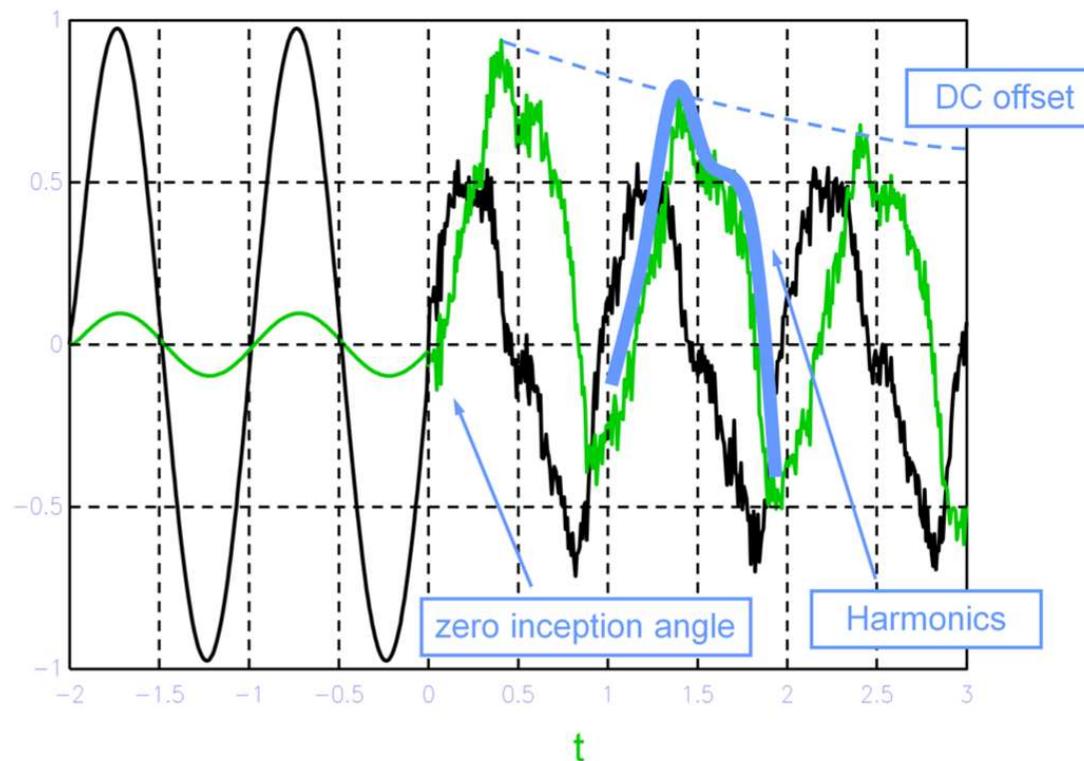
Modelo del Sistema de Potencia

El modelo de sistema de potencia debe poseer una forma de inyectar ruido y armónicos a las señales del filtro para poder comparar la actuación de las distintas técnicas de filtrado.



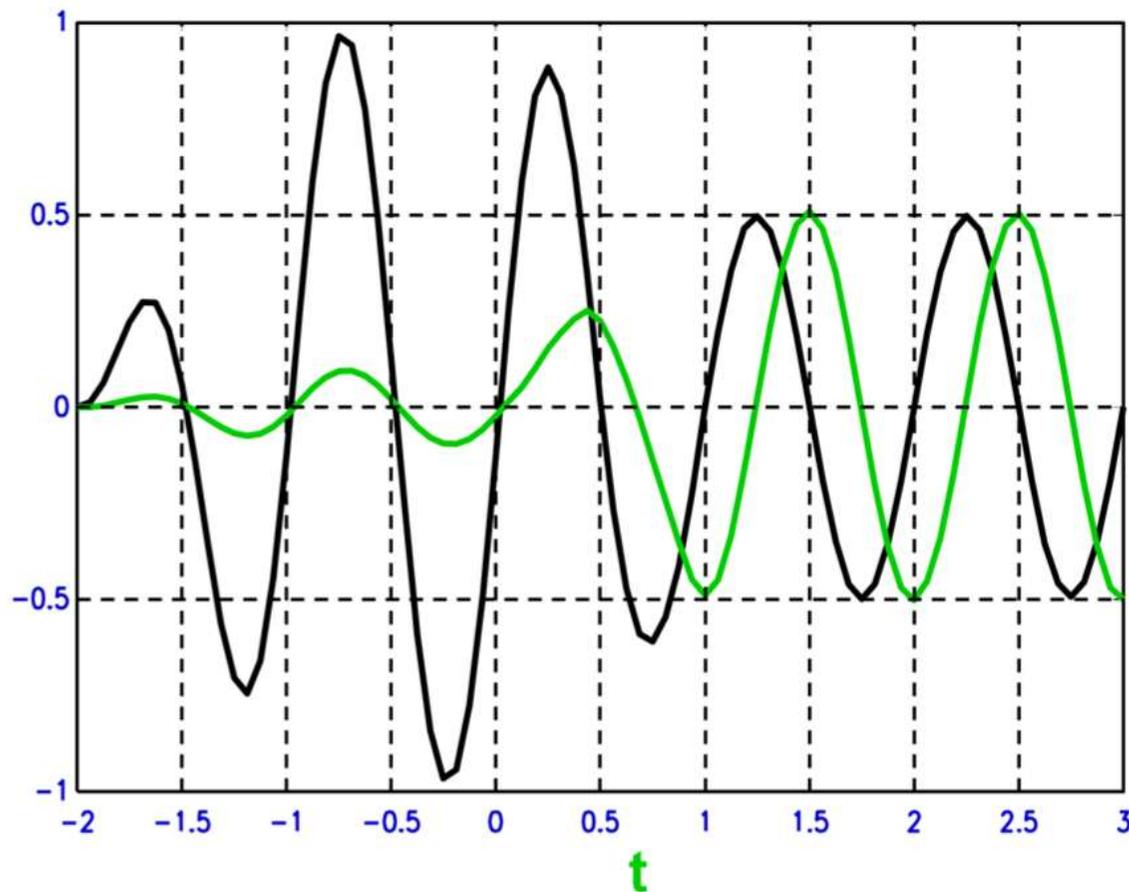
Tensión y Corriente

Conjunto de ondas de tensión y de corriente generadas por el modelo de sistema de potencia ilustrado en la diapositiva anterior. Las ondas (y su forma) son el resultado de una falla en el modelo de sistema de potencia ubicada en el extremo de la línea y que no tiene resistencia de falla.



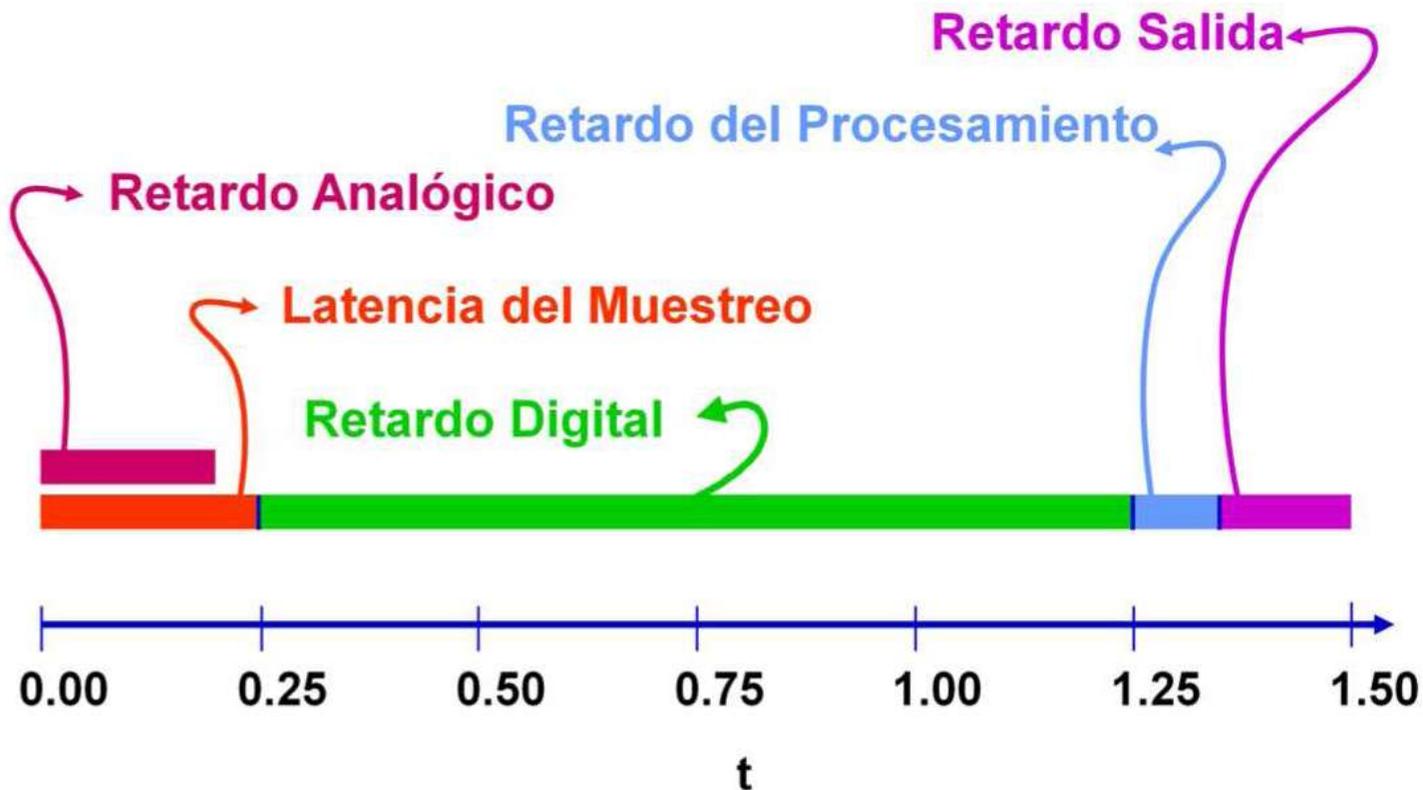
Tensión y Corriente Filtradas

Las cantidades filtradas deben verse limpias de armónicos, desplazamiento de CC o ruido. El análisis de estas cantidades producirá fasores de corriente y de tensión apropiados.



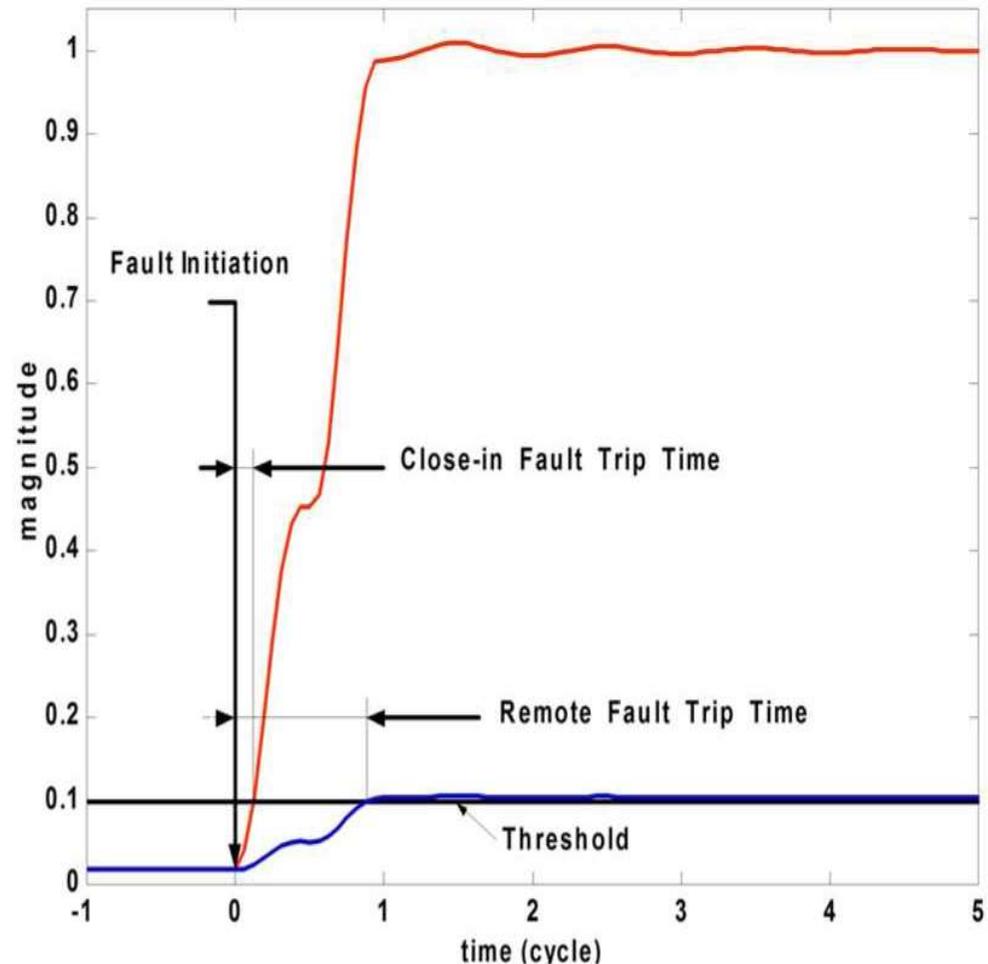
¿Qué es lo que retarda la operación de un Relé?

El gráfico ilustra el efecto de todos los factores que inciden sobre el tiempo. Nótese que el filtro digital es el más influyente en la velocidad del relé.



Velocidad de operación del Relé vs. Falla

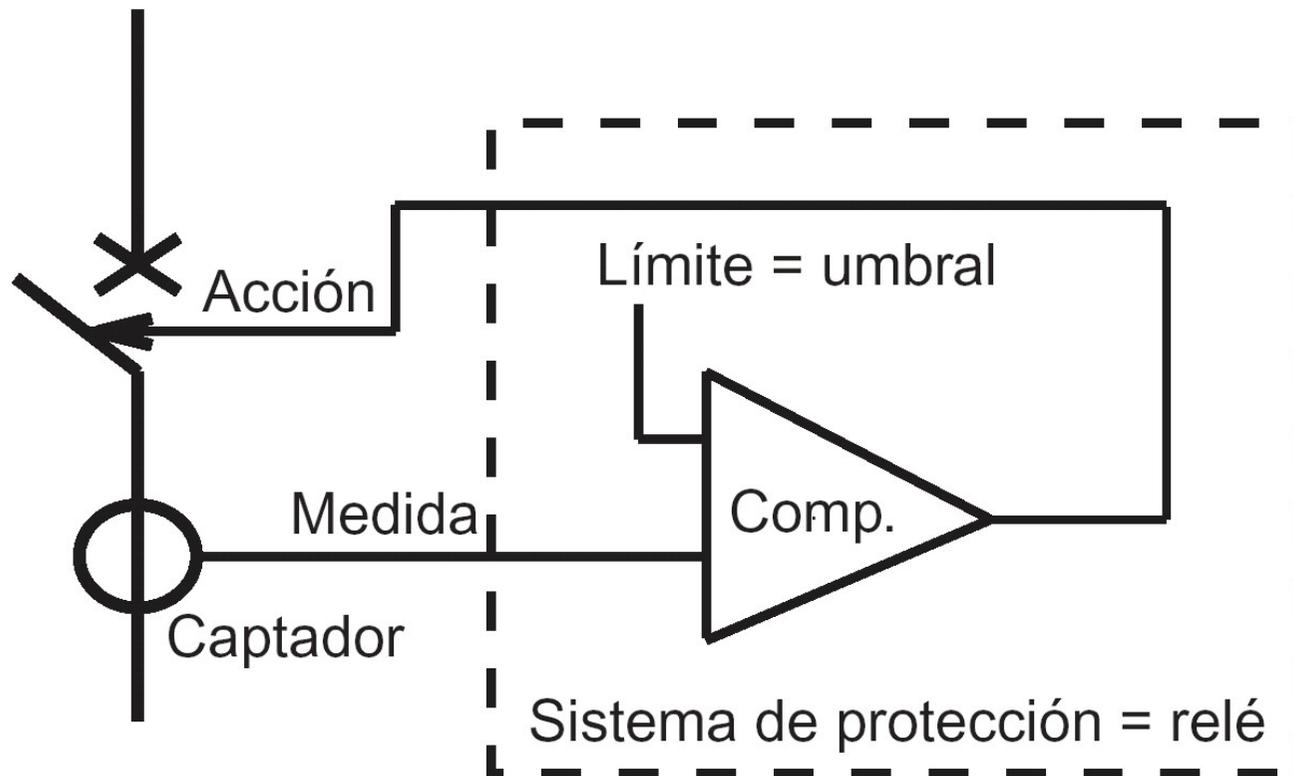
Uno de los factores que más afectan a la velocidad de operación del relé es la ubicación de la falla. El umbral del torque de disparo es indicado por una línea horizontal de magnitud por unidad igual a 0,1. Al producirse una falla cercana, puede verse que el desarrollo del torque para ese tipo de falla es mucho más pronunciado y el tiempo de disparo es mucho menor.



Características y Funcionabilidad de los Relés de Protección

Relés Indirectos

Los relés de protección son dispositivos que deciden una acción, generalmente la apertura de un interruptor automático.



Relés Indirectos

La función principal de los relevadores es determinar lo más pronto posible la existencia de un cortocircuito en el sistema por lo que la mayoría de los relevadores operan en más o menos de un ciclo de la frecuencia del sistema (17mseg a 60Hz).

Los relevadores deben ser selectivos en su operación, deben aislar aquellas partes del sistema en falla, minimizando el número de elementos que se desconectan de la red.

Relés Indirectos

Requisitos:

RAPIDEZ

EL TIEMPO DE DURACION DE LA FALLA DEBE SER LOS MAS REDUCIDO POSIBLE, DE TAL FORMA DE REDUCIR LOS EFECTOS DEL CORTOCIRCUITO Y MANTENER LA ESTABILIDAD DEL SISTEMA ELECTRICO.

SENSIBILIDAD

EL SISTEMA DE PROTECCIONES DEBE SER CAPAZ DE DETECTAR FALLAS EN CONDICIONES DE MINIMA GENERACION, CONDICION DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ELECTRICO EN EL QUE CIRCULA LA MINIMA CORRIENTE DE FALLA.

SELECTIVIDAD

SIGNIFICA QUE SOLAMENTE EL COMPONENTE DEL SISTEMA ELECTRICO QUE TENGA LA FALLA SEA DESCONECTADO.

FIABILIDAD

OBEDIENCIA: OPERAR CORRECTAMENTE CUANDO SEA REQUERIDO.

SEGURIDAD: NO OPERAR ANTE CAUSAS EXTRAÑAS.

Relés de Sobrecorriente

Relés de Sobrecorriente

Los relés de sobrecorriente pueden ser instantáneos (50, 50N), o pueden tener un tiempo de retardo intencional (51, 51N) para respaldo de la protección.

Hay dos tipos de relés de sobrecorriente con tiempo de retardo.

En los relés de tiempo definido, el tiempo de operación es fijo.

En los relés de tiempo inverso, el tiempo de operación disminuye en tanto la corriente del relé aumenta.

Hay un comportamiento adaptativo implícito en los elementos de tiempo inverso: operan más rápidamente ante fallas cercanas o de mayor corriente.

Tipos de Relés de Sobrecorriente

Basado en la características del tiempo de operación

- Instantáneo (50).
- Tiempo Definido (51 ó 50).
- Inverso (51).
- Mixto (50 – 51).



Ajuste del Relé de Sobrecorriente

El proceso para determinar el ajuste del tiempo de actuación del relé involucra: 1) El cálculo de un valor del tiempo de retardo en elementos de tiempo definido; y 2) Selección de una curva de tiempo/corriente para los elementos de tiempo inverso, de entre una familia de curvas.

Elementos del 51.

- Ajuste de arranque.
- Ajuste del tiempo de retardo.
 - Tiempo definido: Ajuste de tiempo.
 - Tiempo inverso: Selección de curva.

Elementos del 50: Ajuste de arranque.

Elementos de Sobrecorriente Instantáneos (50)

Características de los elementos 50 Electromecánicos

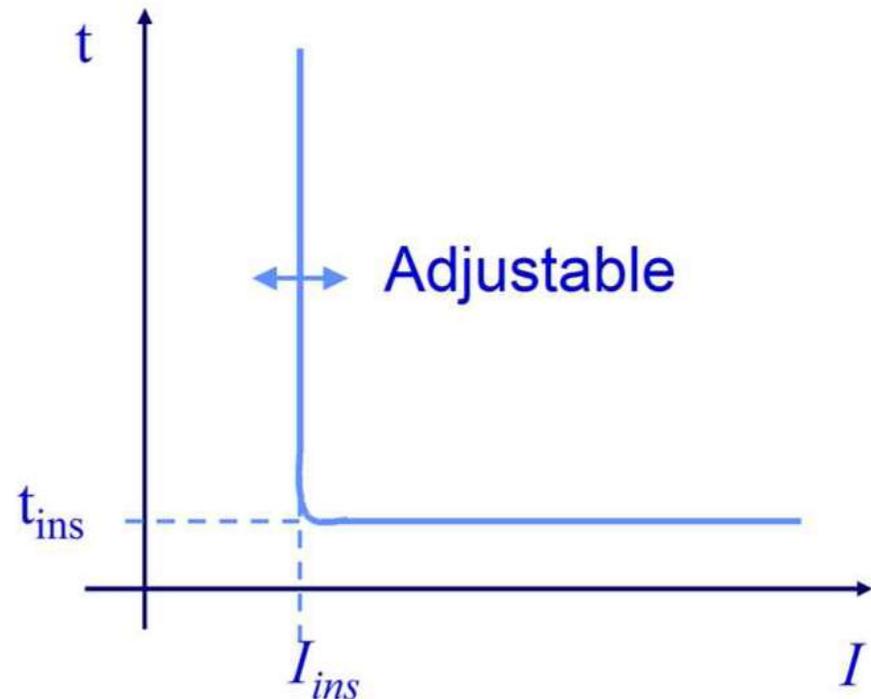
- Adecuados para sistemas de CA y CC.
- Tiempos de operación menor a 3 ciclos.
- Torque variable en el tiempo: vibración.
- Baja relación Reset (Rearme) / Arranque.
- Afectados por el desplazamiento de CC.
- Sobre-alcance o rebasamiento.

Curva de tipo Instantáneo (50)

El relé de sobrecorriente instantáneo cierra sus contactos muy rápidamente, una vez superado el umbral de corriente. En el campo de la protección, “instantáneo” significa “sin demora intencional”. Estos relés están diseñados para operar con la máxima velocidad que brinda la tecnología. El tiempo de operación es de 0,5 y 1,5 ciclos.

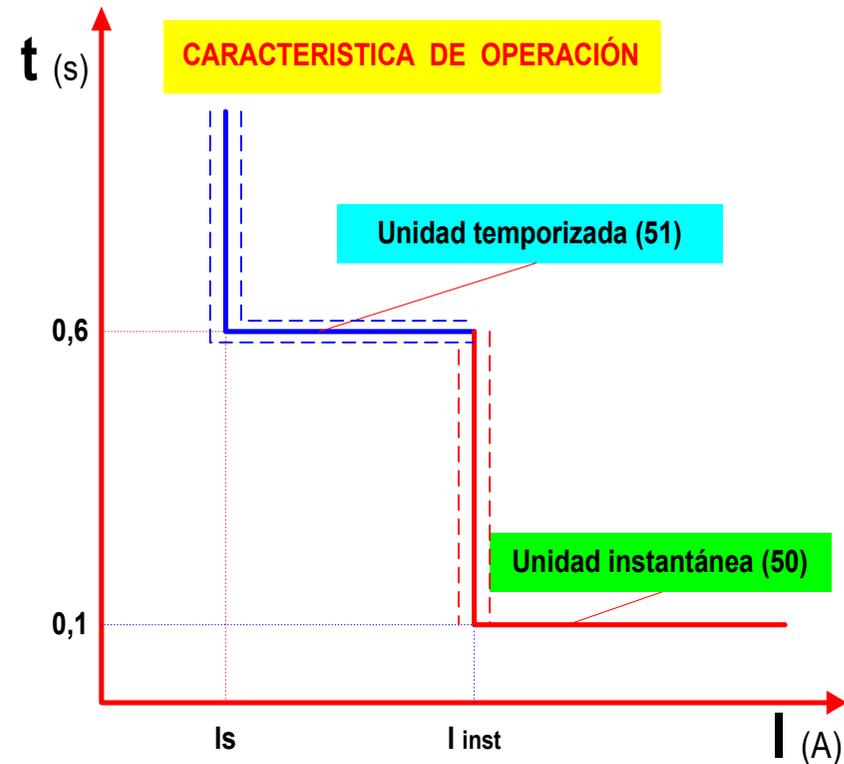
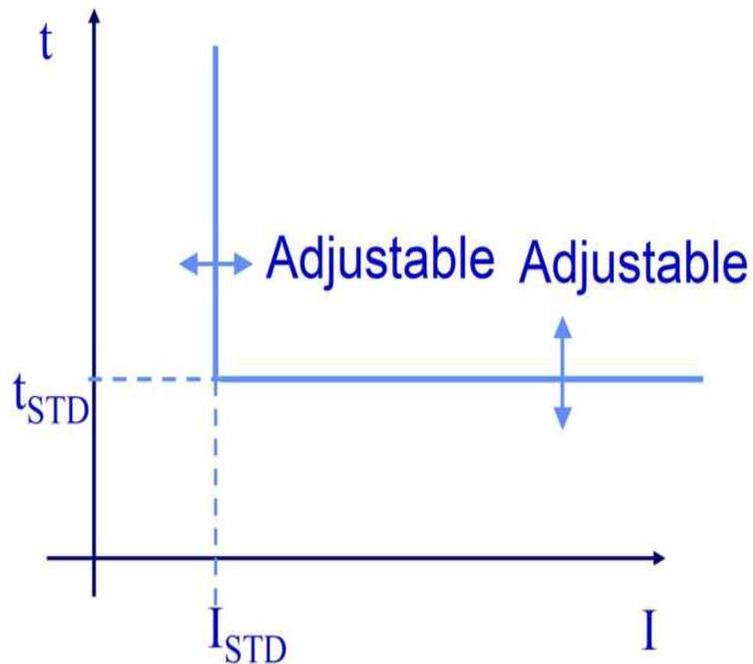
La corriente de arranque (su umbral) es ajustable y el usuario puede elegir el ajuste dentro de un rango relativamente extenso.

Time $t_{ins} < 1.5$ cycles



Curva de tipo de Tiempo Definido (50 ó 51)

Opera con algún retardo, es ajustable (así como el umbral de corriente). En un relé de tiempo definido bien diseñado, el tiempo de operación será siempre el mismo, independientemente del valor de la corriente.



Elementos 50 Estáticos

Pueden responder a diferentes valores de corriente

Los elementos de sobrecorriente instantáneos electrónicos analógicos (estáticos) están basados en comparadores de amplitud electrónicos.

$$i = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

Valor Instantáneo

$$I_{ma} = \frac{1}{T} \int_0^T |i| dt$$

Valor Medio
Absoluto

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

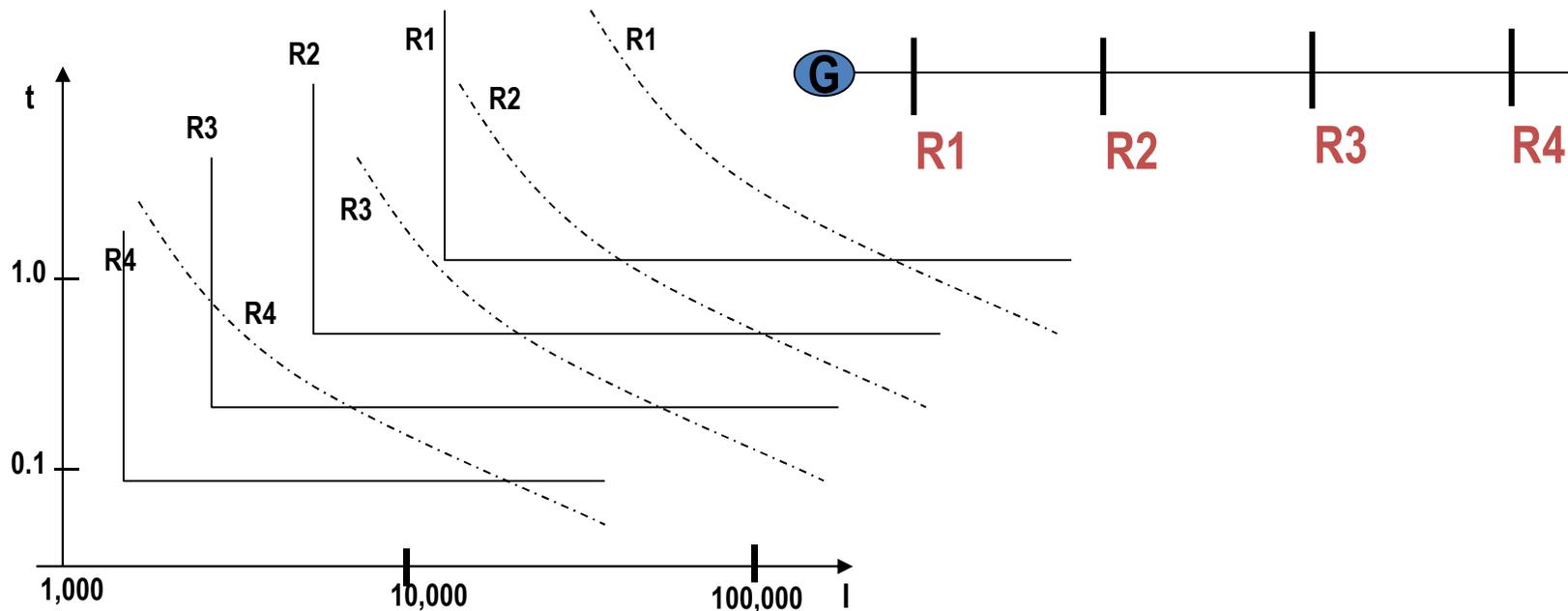
Valor Eficaz
(RMS)

Características del relé de tiempo definido

- Un relé de este tipo operará siempre en el mismo tiempo, para todo valor de sobre- intensidad superior al valor de calibración.
- Si no incluye retardo en la actuación, se trata de un relé de característica instantánea (50).
- Se aplican en mayoría a los alimentadores radiales.

Características del relé de tiempo definido

Usado cuando existe potencias de cortocircuito que varían ampliamente, siendo difícil la coordinación con tiempo inverso.



Esta protección tiene mayores ventajas a menores potencias de cortocircuito mientras que a altas potencias los de tiempo inverso tienen menores tiempos de operación.

Ventajas de los elementos 50 Digitales

- Sin vibración.
- El filtro digital rechaza el desplazamiento de CC:
No hay sobre-alcance.
- La relación Reset / Arranque es igual a 1.
- Facilita el cumplimiento de los criterios de selectividad.
- El tiempo de operación es más preciso ya que es independiente, lo cual permite una graduación más precisa de los tiempos entre los interruptores sucesivos.
- Otras ventajas generales, propias de los relés digitales.

Desventajas del relé de tiempo definido

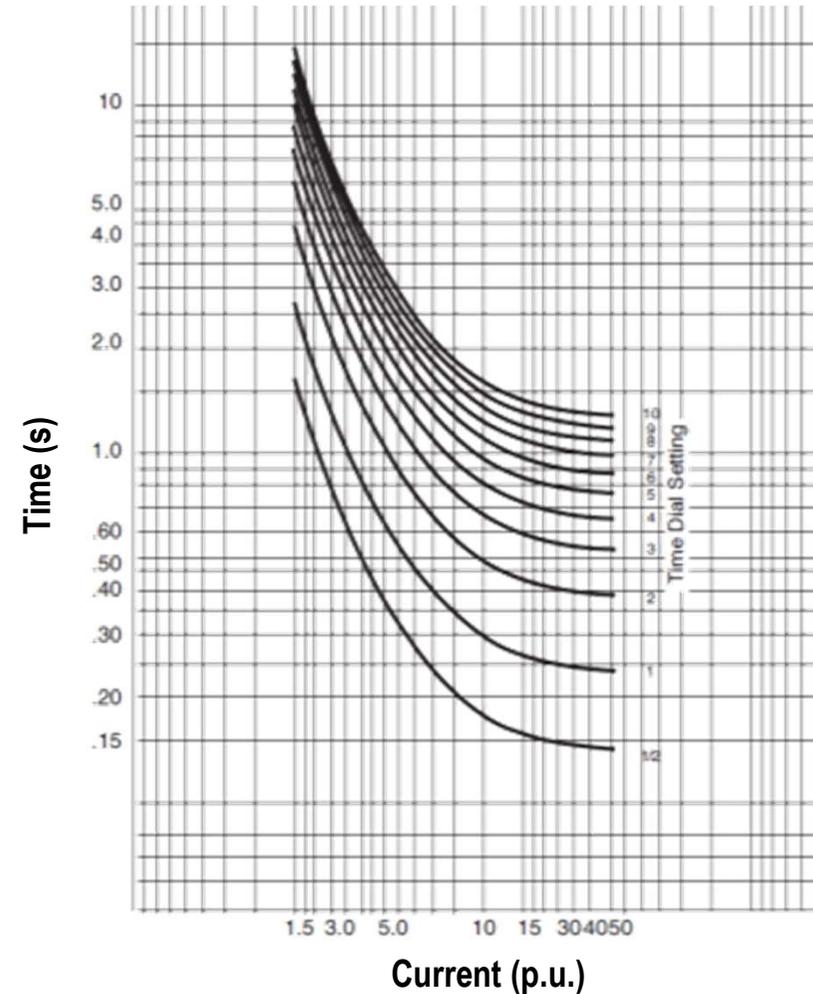
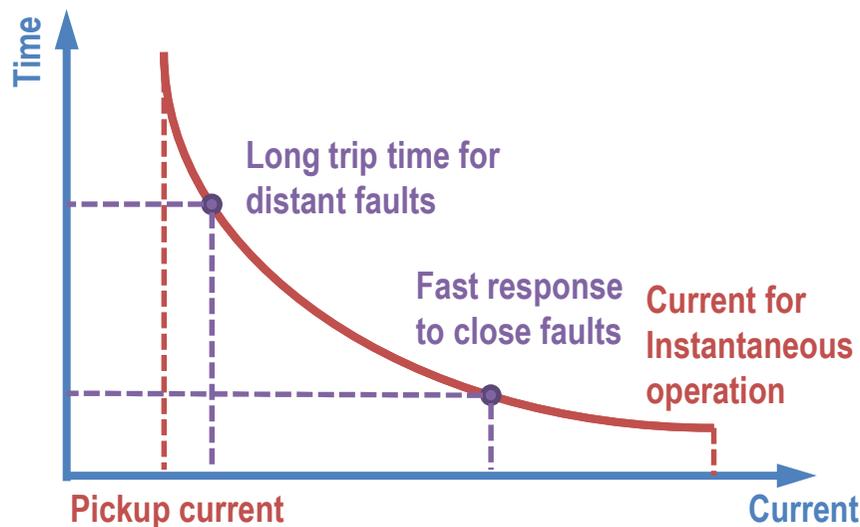
- ❑ Al aumentar el número de relés conectados en serie, aumenta hacia la fuente el tiempo de operación. En consecuencia, las fallas más severas, se aíslan en mayores tiempos.
- ❑ Por lo tanto se debe tener especial cuidado en que los tiempos de operación de la protección no sean demasiados prolongados.



Elementos de Sobrecorriente de Tiempo Inverso (51)

Características del principio de inducción

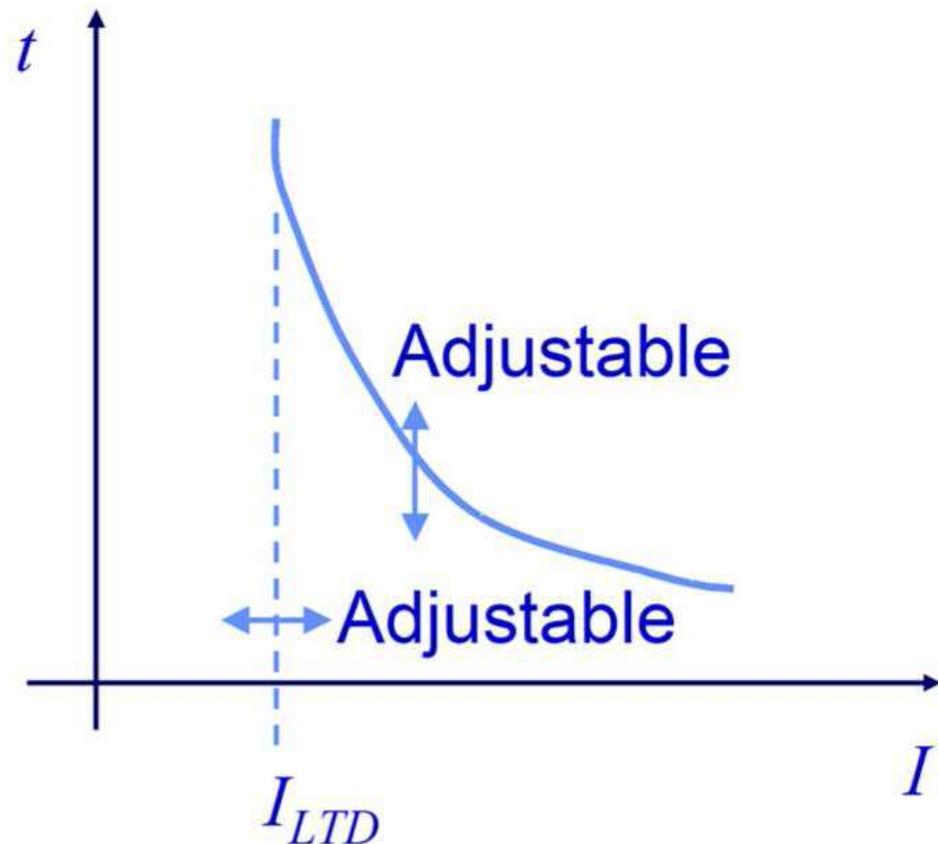
- ❑ Adecuados para sistemas de CA.
- ❑ El torque no varía con el tiempo:
No hay vibración.
- ❑ Rechazo natural al desplazamiento de CC: Bajo sobre-alcance o rebasamiento.



Curva de Tipo Inverso (51)

Tiene una propiedad exclusiva: el tiempo de operación del relé disminuye cuando la corriente aumenta. Este comportamiento coordina bien con la curva de daño del equipamiento eléctrico.

Las características de tiempo inverso pueden aplicarse en todo tipo de sistemas radiales, especialmente aquellos con fusibles y reconectadores (re-enganchadores) automáticos.



Resumen de los ajustes del elemento de inducción 51

Se resume los ajustes típicos de los elementos de sobrecorriente de inducción de tiempo inverso. Seleccionamos una derivación en la corriente de la bobina del relé para ajustar la corriente de arranque.

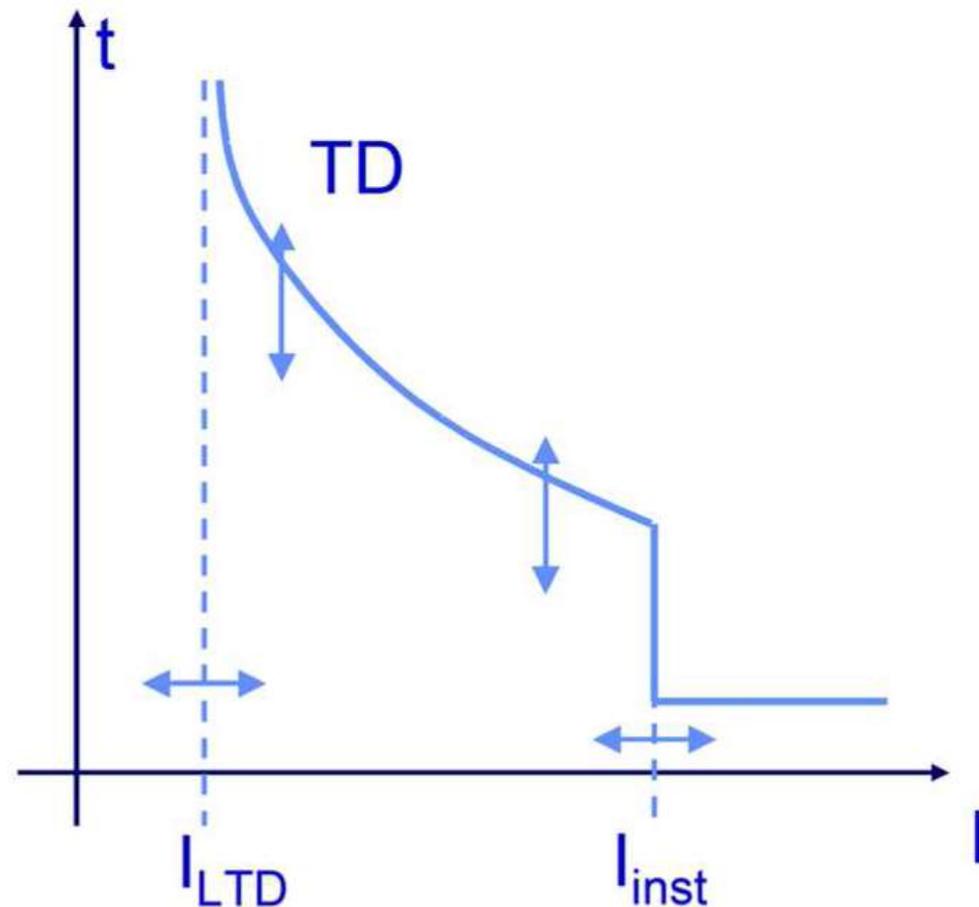
- Ajuste de la corriente de arranque.
 - Derivaciones de la bobina de corriente del relé.
- Ajuste de la curva Tiempo / Corriente.
 - Control de la posición inicial del disco (ajuste del dial temporizador).

Elementos de Sobrecorriente de Tiempo Inverso - Instantáneo

Curvas de Tipo Mixto (1)

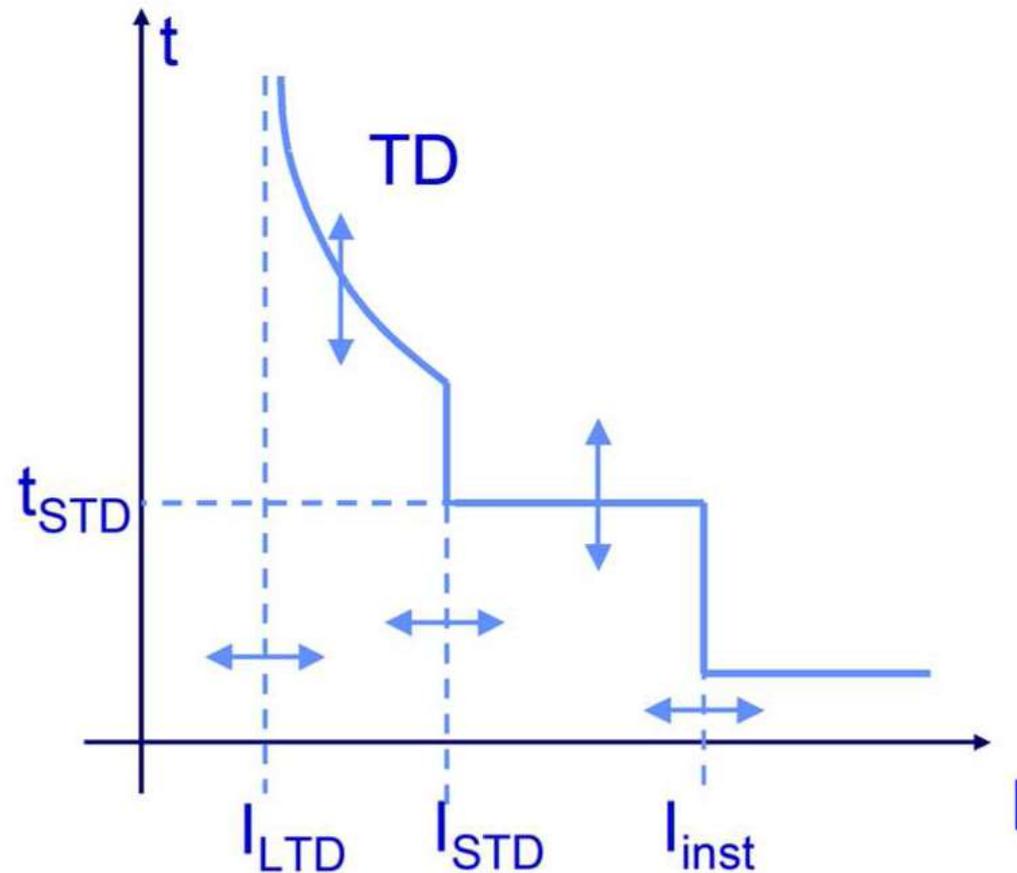
Las curvas mixtas tienen todas las ventajas de los distintos tipos de relés de sobrecorriente.

Están contruidos como unidades separadas, podemos implementar los principios de la protección de sobrecorriente utilizando una combinación de elementos instantáneos y de tiempo definido o una combinación de elementos instantáneos y de tiempo inverso.



Curvas de Tipo Mixto (2)

- Un elemento de tiempo muy inverso.
- Un elemento de tiempo definido de retardo corto (o breve).
- Un elemento instantáneo.

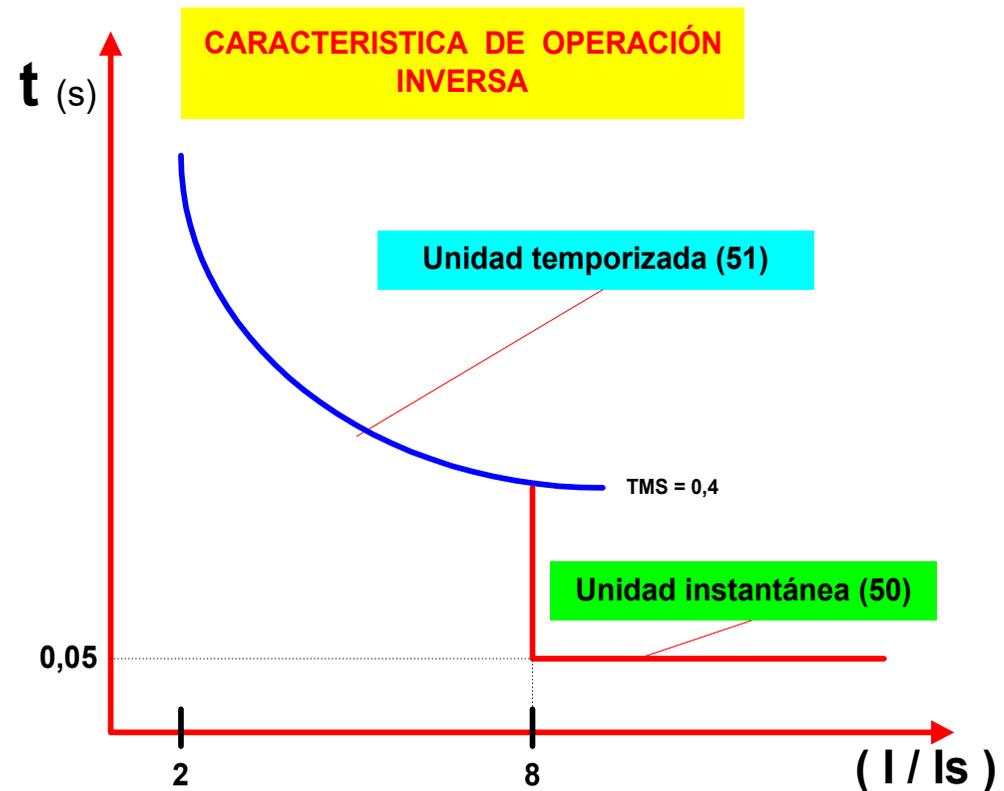


Curvas de Tipo Mixto (2)

Curva tiempo inverso

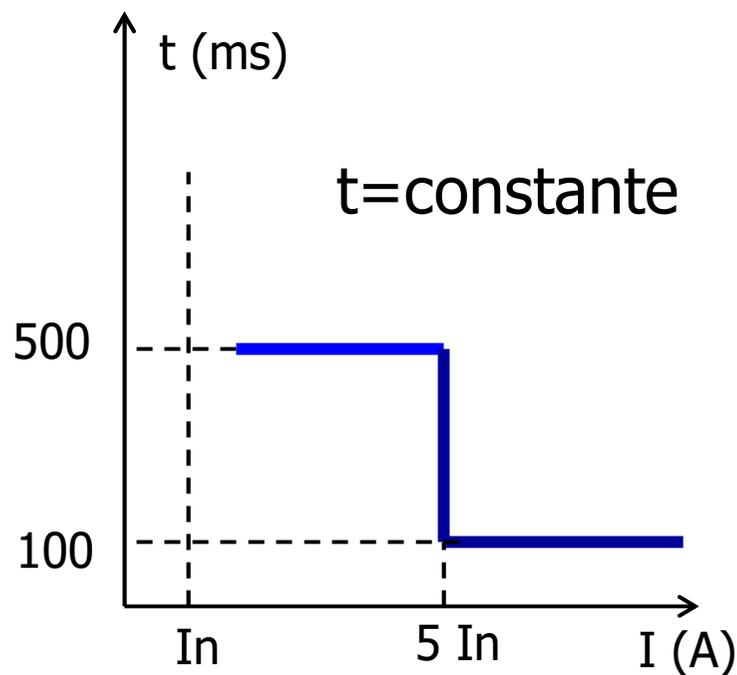
Proporciona una actuación en menor tiempo para un valor de intensidad mayor.

Permite coordinar la actuación de varios relés situados en distintas posiciones del sistema eléctrico.

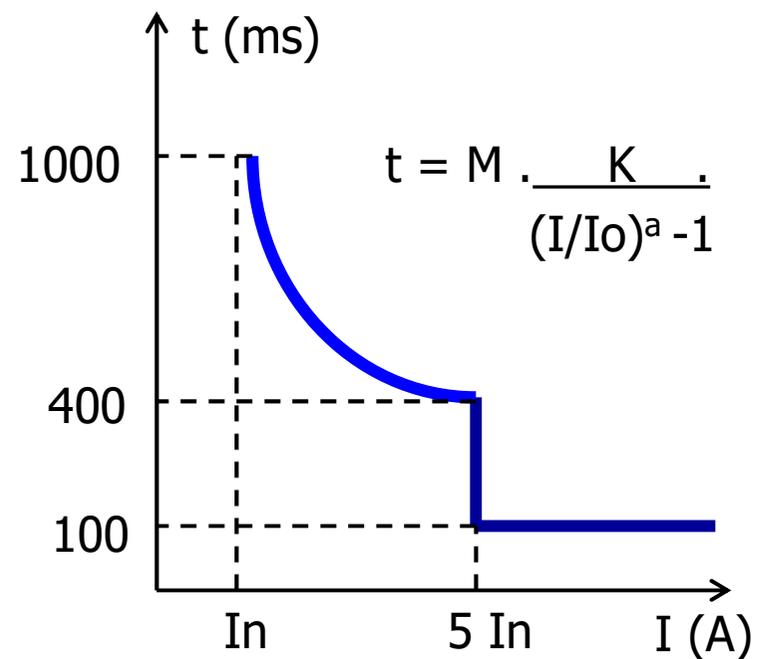


Curvas de Operación

Operación a tiempo definido o fijo.



Operación a tiempo inverso: I, VI, EI



Curvas de Coordinación

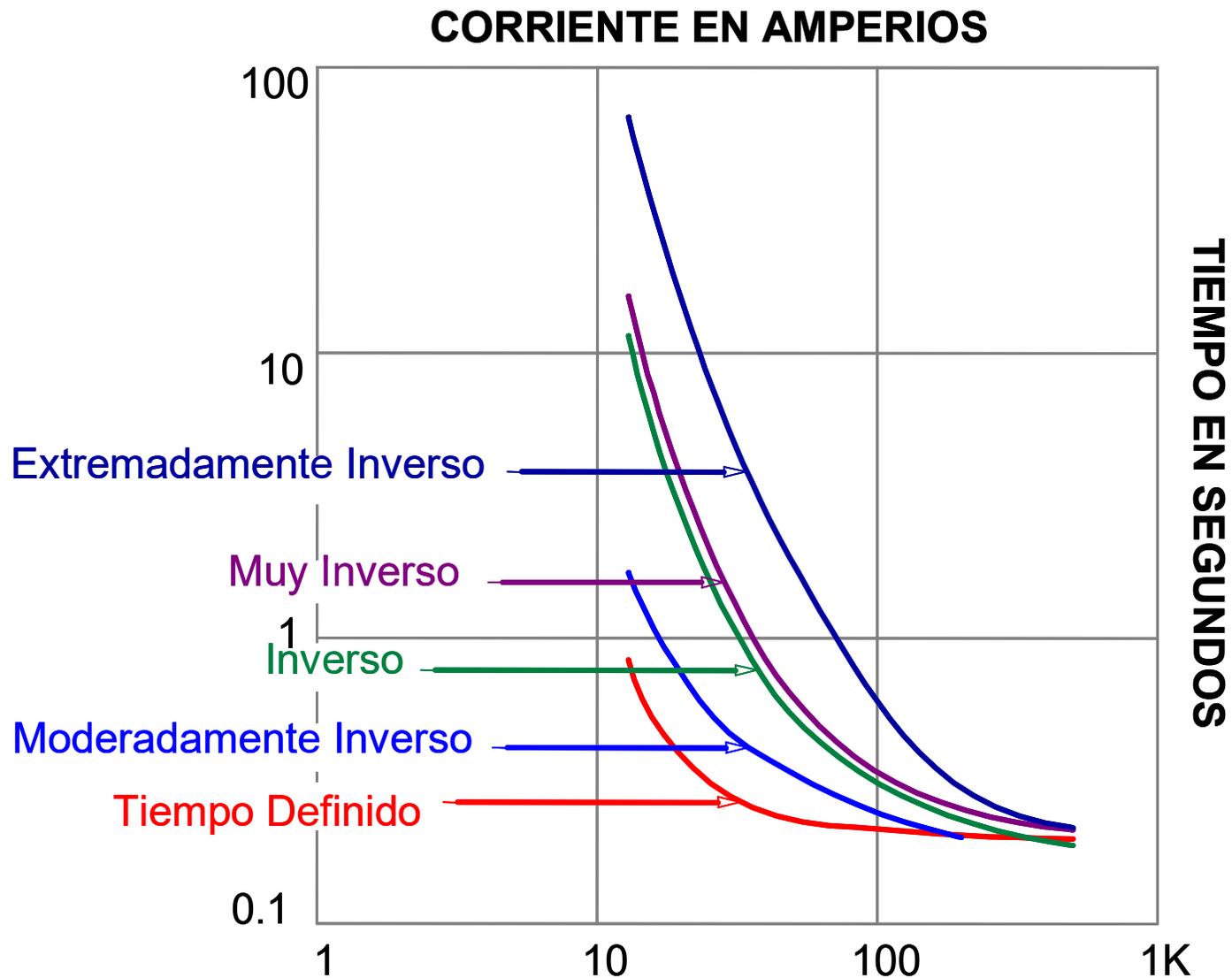
NORMA IEC:

- Normalmente inverso (NI).
- Muy inversa (VI).
- Extremadamente inversa (EI).

NORMA ANSI:

- Extremadamente inversa (EI).
- Muy inversa (VI).
- Normalmente inverso (NI).
- Inverso tiempo corto (I-st).
- Extremadamente inverso tiempo corto (EI-st).
- Extremadamente inverso tiempo largo (EI-lt).
- Inverso tiempo largo (I-lt).

Características Inversas



Relés de Tiempo Normalmente Inverso (N.I.)

- ❑ Se aplican generalmente cuando el valor de la **corriente de cortocircuito depende grandemente de la capacidad de generación** del sistema en el momento de la falla. **Aplicable a sistemas de generación**. Es decir cuando a lo largo de la línea existen grandes variaciones de la corriente de falla (cortocircuito).

Cuando $Z_s \ll Z_L$,

Z_s = impedancia de la fuente.

Z_L = impedancia de la línea hasta el punto de falla

- ❑ Su principal ventaja es la de tener menores tiempos de operación a altas potencias de cortocircuito.

Figura:
Curva
Inversa

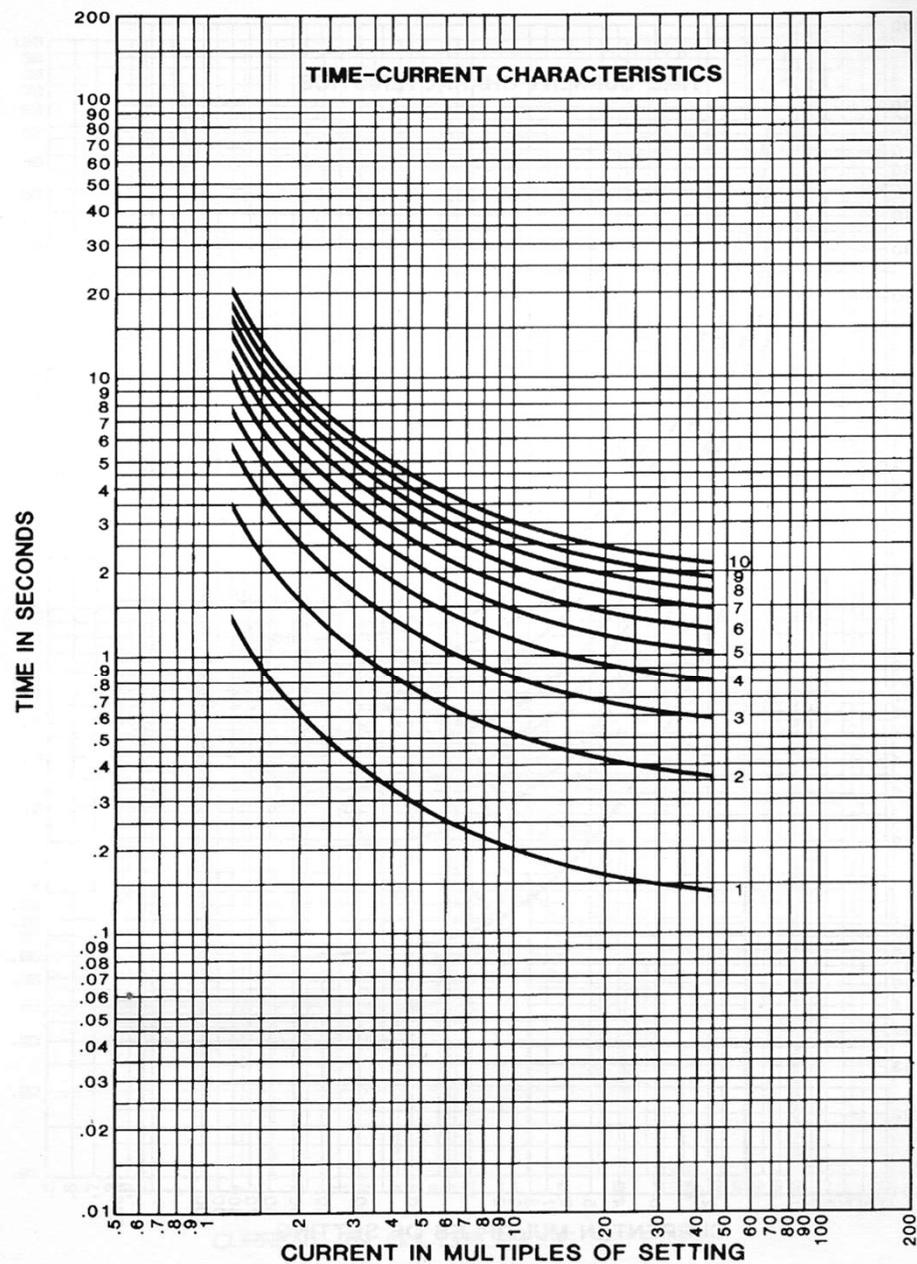


Figure A3. Inverse Curve

Relés de Tiempo Muy Inverso (M.I.)

- ❑ Se caracteriza por tener una curva más inversa que la anterior, **es lento para valores bajos de sobrecorriente** y **rápido para valores altos de sobrecorriente**.
- ❑ Se aplican preferentemente en sistemas donde el valor de la intensidad de cortocircuito circula a través de cualquier relé que depende mayormente de la posición relativa de donde se halla instalado el relé a la falla y en poca cuantía de la capacidad de generación del sistema, ya que se supone se alimenta de una red muy grande.

Relés de Tiempo Muy Inverso (M.I.)

- ❑ Es conveniente en sistemas de gran capacidad de generación donde el nivel de cortocircuito depende prácticamente de la impedancia donde ocurre el cortocircuito (la corriente de falla se reduce notablemente a medida que aumenta la distancia a la fuente).

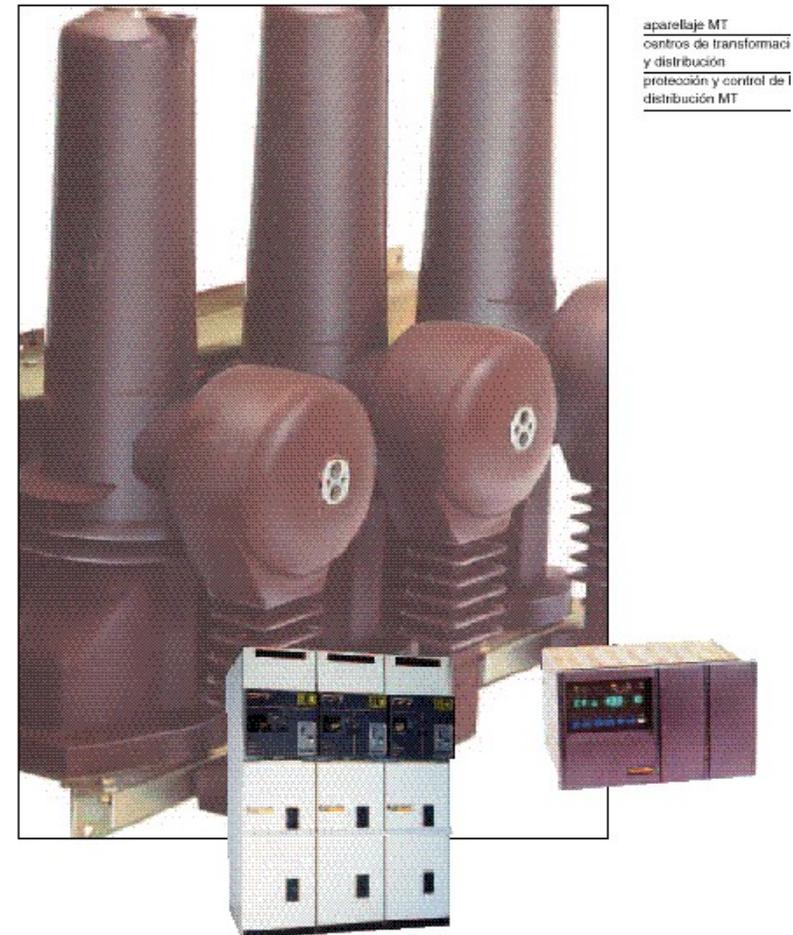
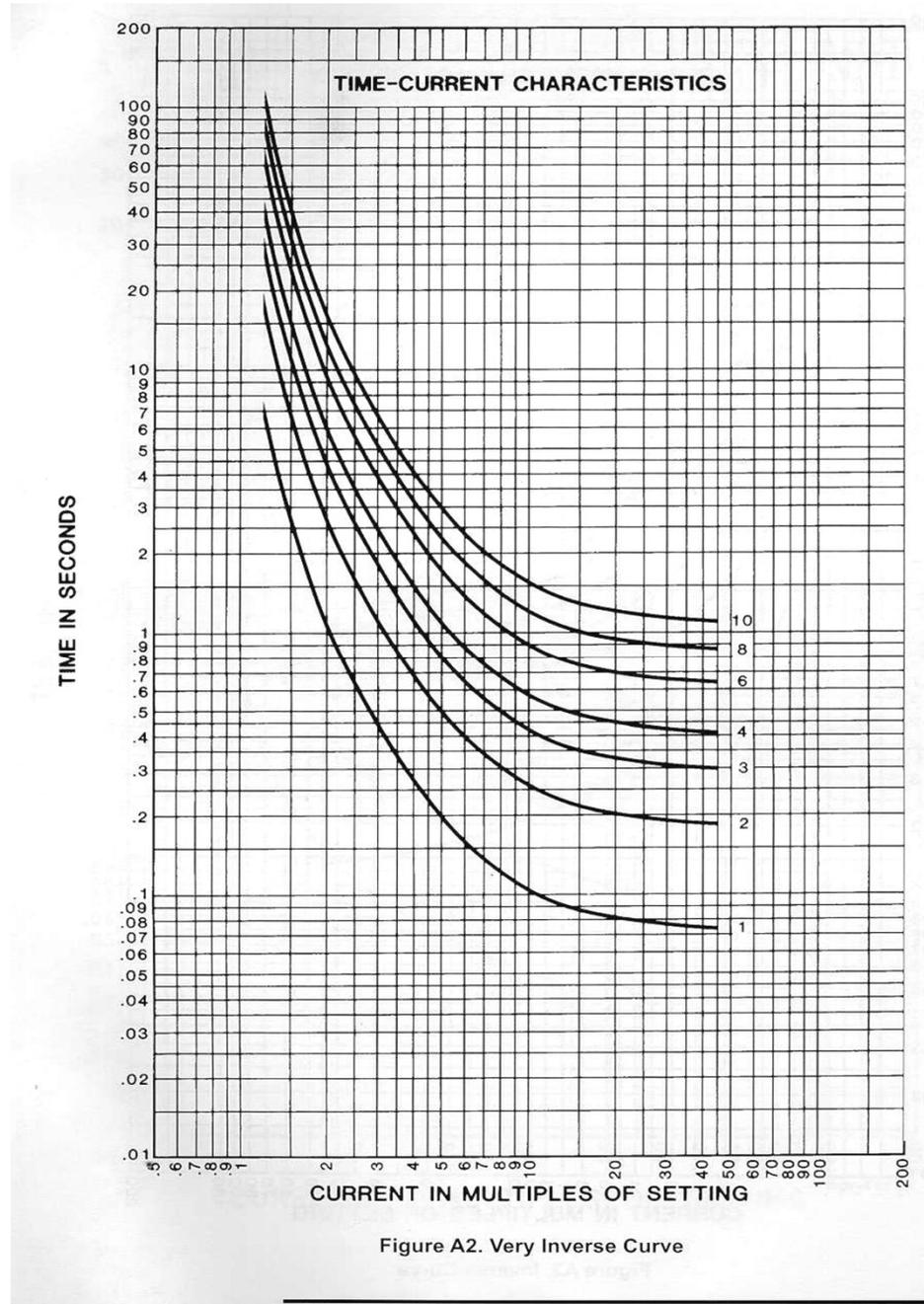


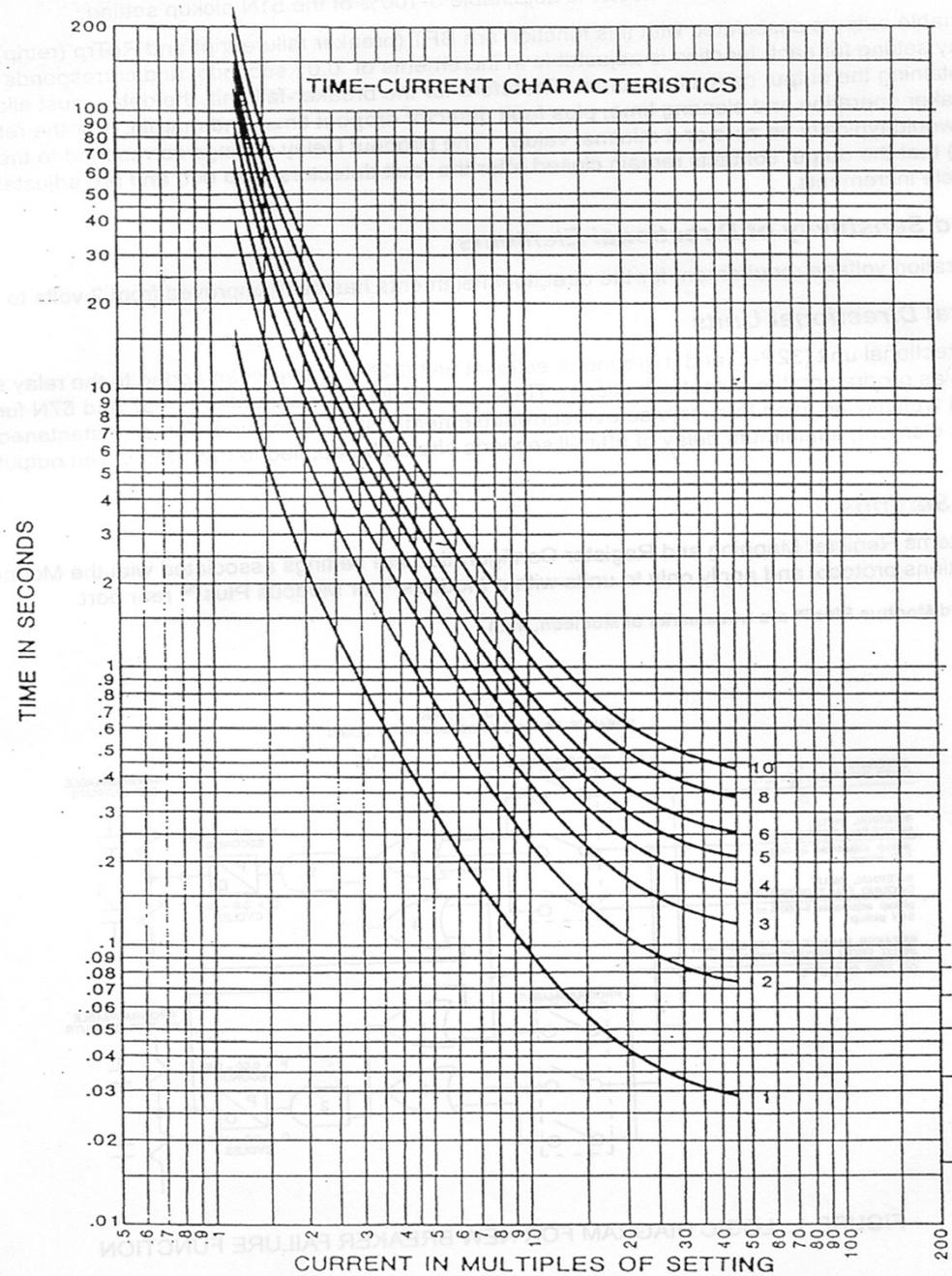
Figura:
Curva
Muy
Inversa



Relés de Tiempo Extremadamente Inverso (N.I.)

- ❑ Son adecuados para aplicaciones tales como los alimentadores de los sistemas de distribución, donde se tenga una temporización suficiente para permitir la re-energización del circuito, sin que haya disparos innecesarios en el período inicial de avalancha (picos de corriente por conexión de bombas, molinos, calentadores, etc.) y al mismo tiempo coordine bien con los fusibles de alto poder de ruptura.
- ❑ También se emplea para actuar con las componentes de secuencia negativa, en la **protección de grandes generadores**.
- ❑ Permite ajustes más precisos para evitar sacar de servicio al generador.

Figura:
Curva
Extrema-
damente
Inversa



Tiempo de actuación del Relé

$$t = TMS \left[\frac{k}{\left(\frac{I}{I_S} \right)^\alpha - 1} + C \right]$$

Donde

t = Tiempo de actuación del Relé (variable dependiente)

I = Corriente que mide el Relé (variable independiente)

α = Parámetro que define la curva característica de operación del Relé

I_S = Corriente de Arranque del Relé

TMS = Constante de ajuste del Relé

K = Constante de ajuste del Relé

C = Constante de ajuste del Relé

Tiempo de actuación del Relé

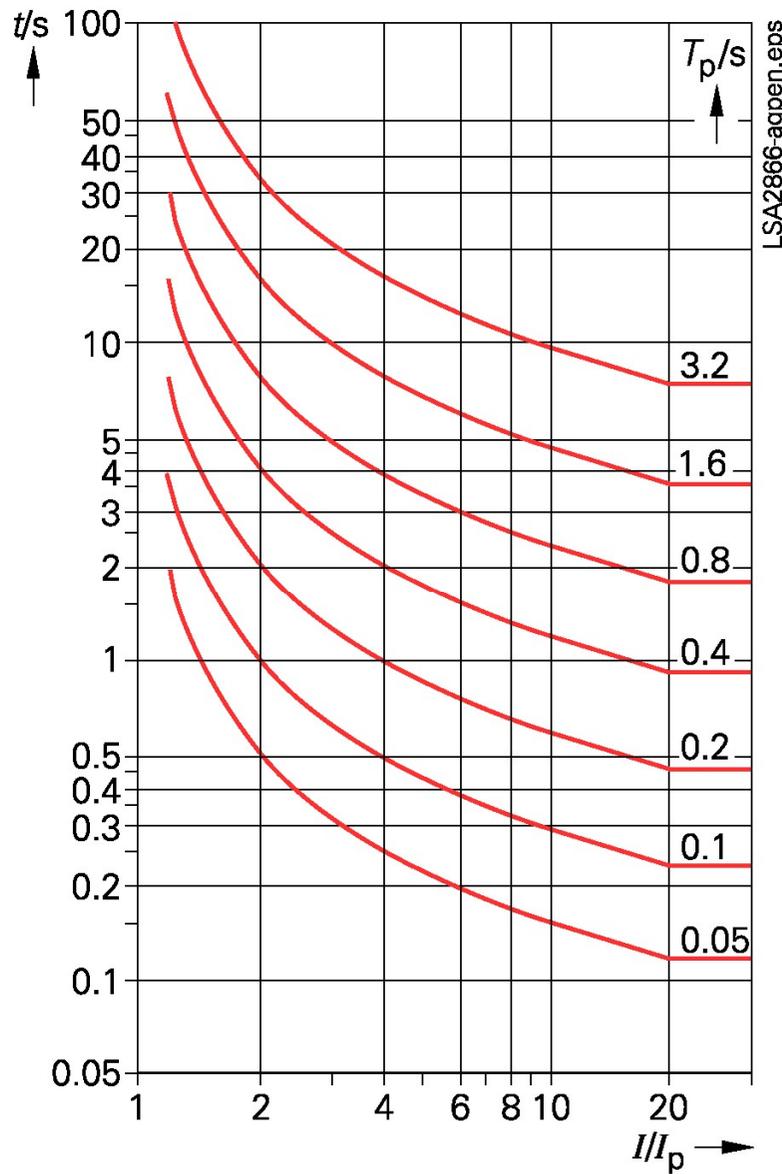
Constantes de tiempo

Las constantes α y k determinan el grado de característica inversa del relé y para los esquemas estándar las constantes son :

Característica		IEC/BS			ANSI/IEEE		
		α	K	C	α	K	C
Tiempo definido		-	0	1			
Normal Inverso	NI	0.02	0.14	0	2.0938	8.9341	0.17966
Muy Inverso	VI	1	13.5	0	2	3.922	0.0982
Extremadamente Inverso	EI	2	80	0	2	5.64	0.02434
Inverso de Largo Tiempo	LI	1	120	0	2	5.6143	2.18592

Curvas Características de Relés

**Inverse-time overcurrent
protection characteristics
according to IEC 60255 and
BS142.**



CURVE

INVERSE

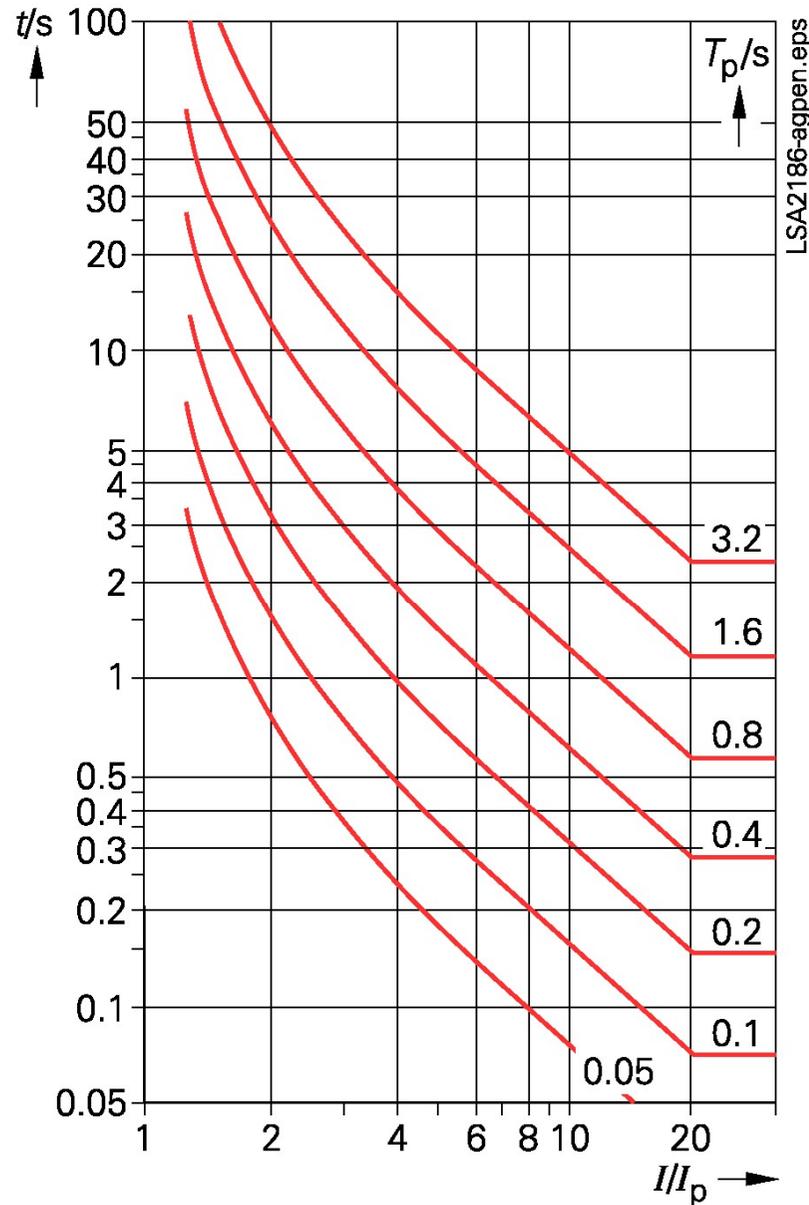
$$t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0.02} - 1} \cdot T_p$$

I = current

t = tripping time

I_p = pickup setting

T_p = time multiplier setting



CURVE

VERY INVERSE

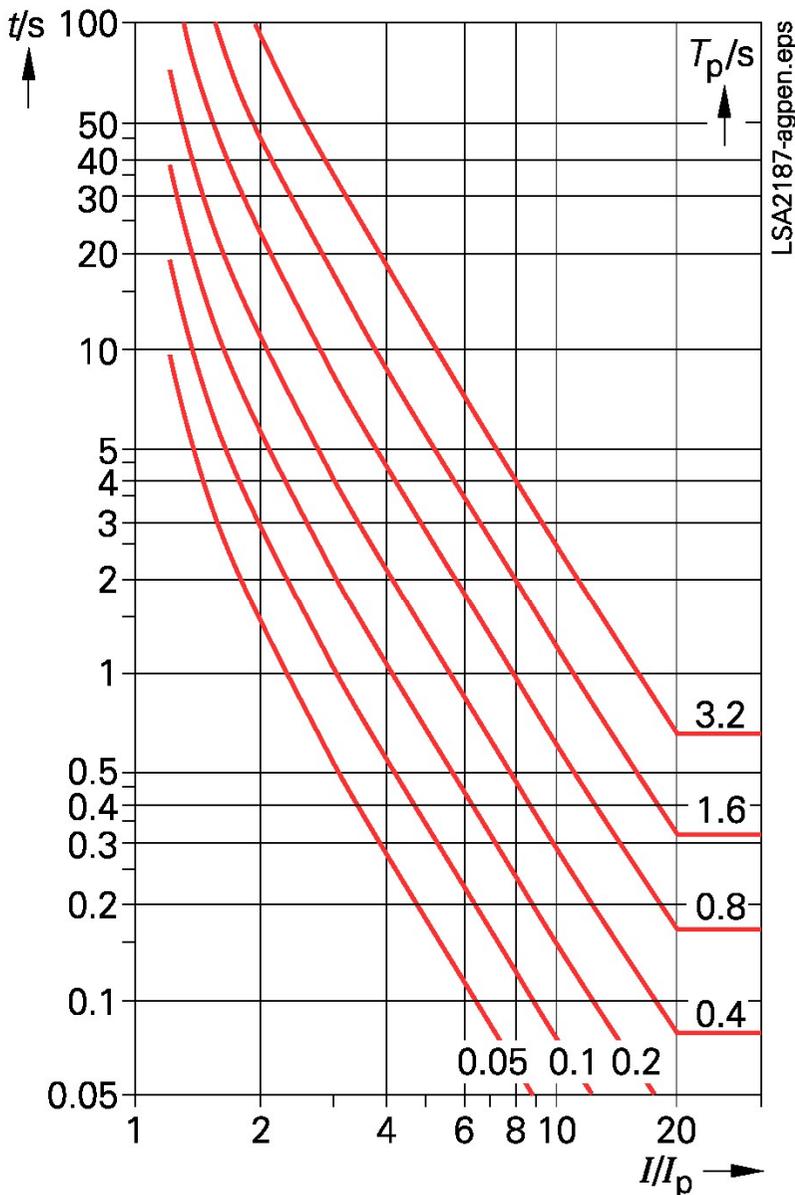
$$t = \frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_p}\right) - 1} \cdot T_p$$

I = current

t = tripping time

I_p = pickup setting

T_p = time multiplier setting



CURVE

**EXTREMELY
INVERSE**

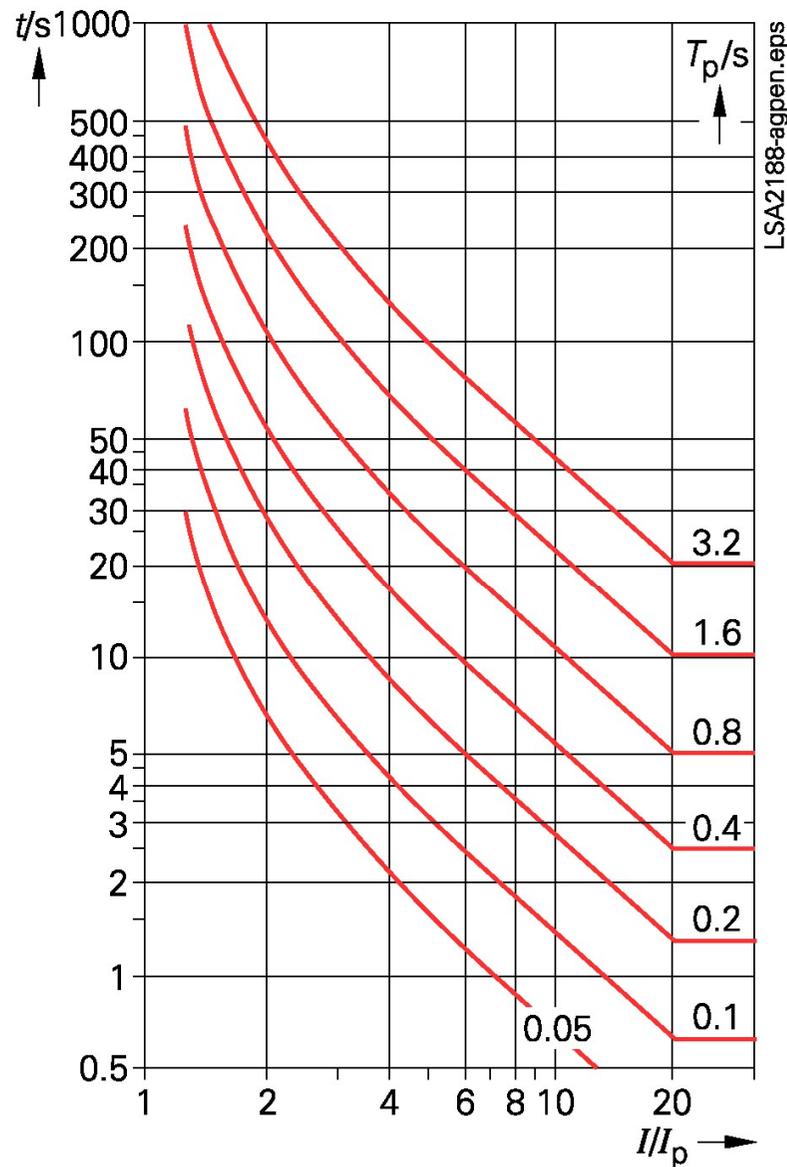
$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} \cdot T_p$$

I = current

t = tripping time

I_p = pickup setting

T_p = time multiplier setting



CURVE

LONG INVERSE

$$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right) - 1} \cdot T_p$$

I = current

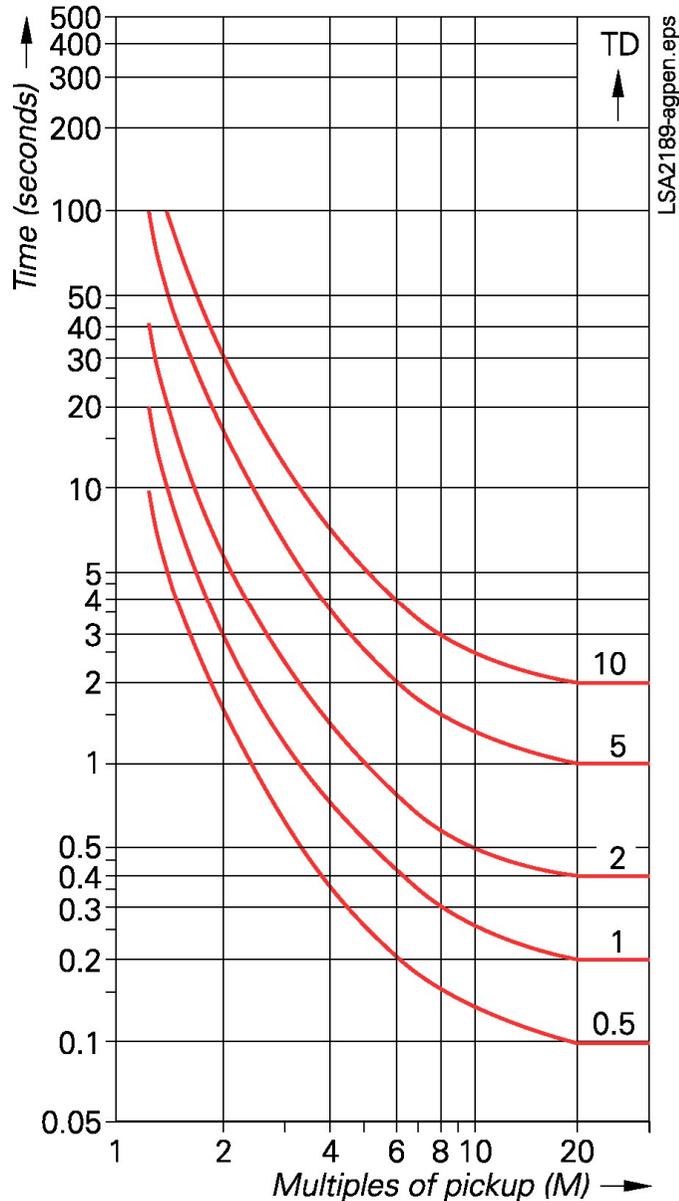
t = tripping time

I_p = pickup setting

T_p = time multiplier setting

Curvas Características de Relés

**Inverse-time overcurrent
protection characteristics
according to ANSI (IEEE)
C37.112**



CURVE

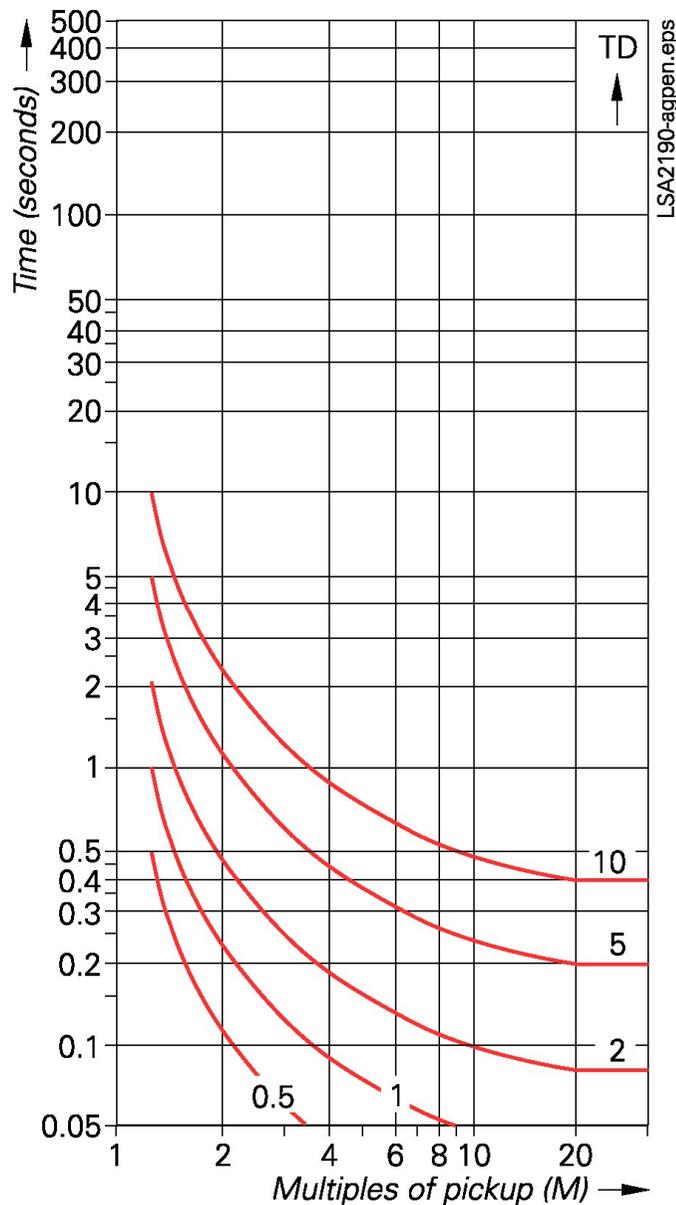
INVERSE

$$t = \left(\frac{8.9341}{M^{2.0938} - 1} + 0.17966 \right) \cdot TD$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial



CURVE

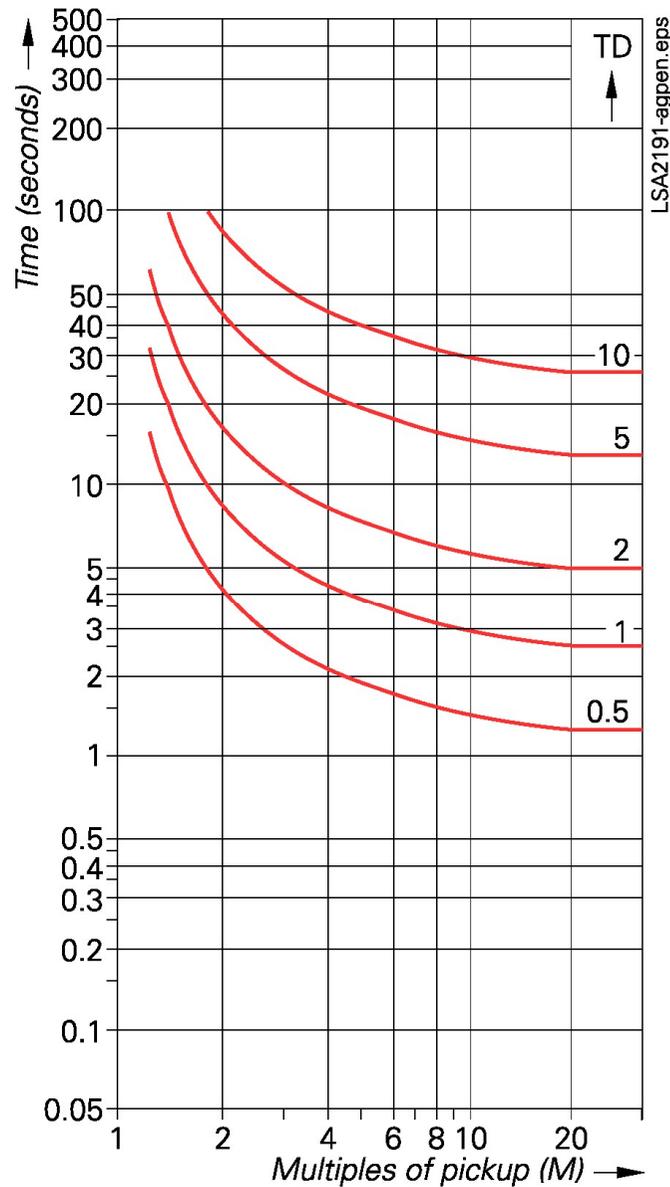
SHORT INVERSE

$$t = \left(\frac{0.2663}{M^{1.2969} - 1} + 0.03393 \right) \cdot TD$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial



CURVE

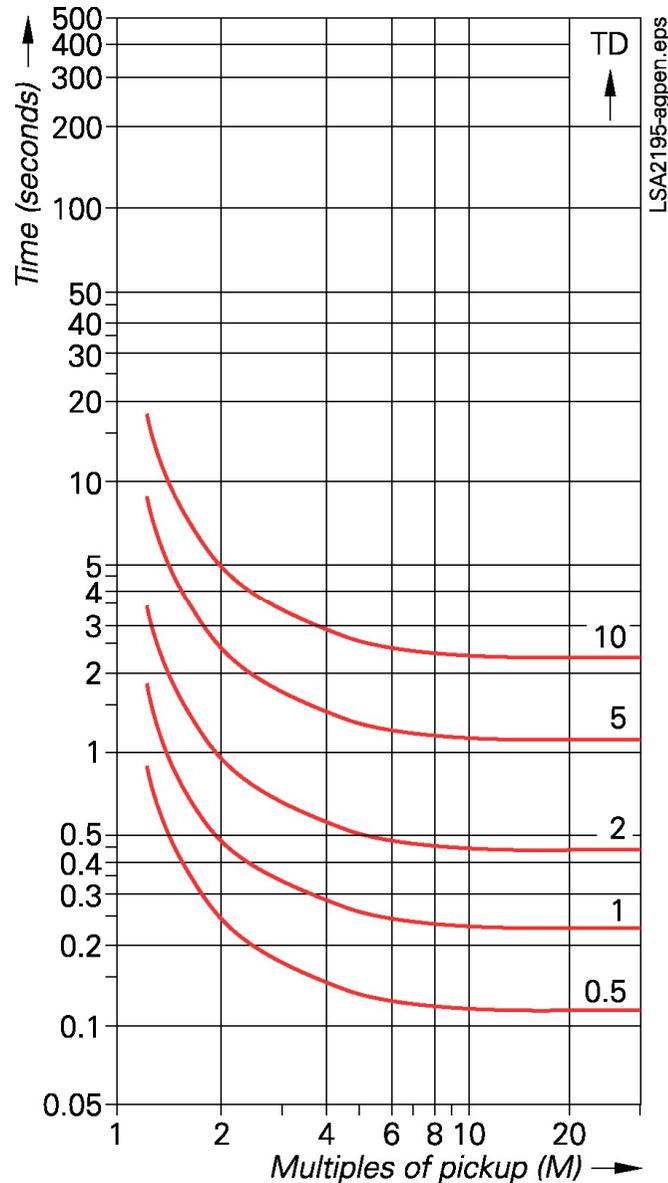
LONG INVERSE

$$t = \left(\frac{5.6143}{M - 1} + 2.18592 \right) \cdot TD$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial



CURVE

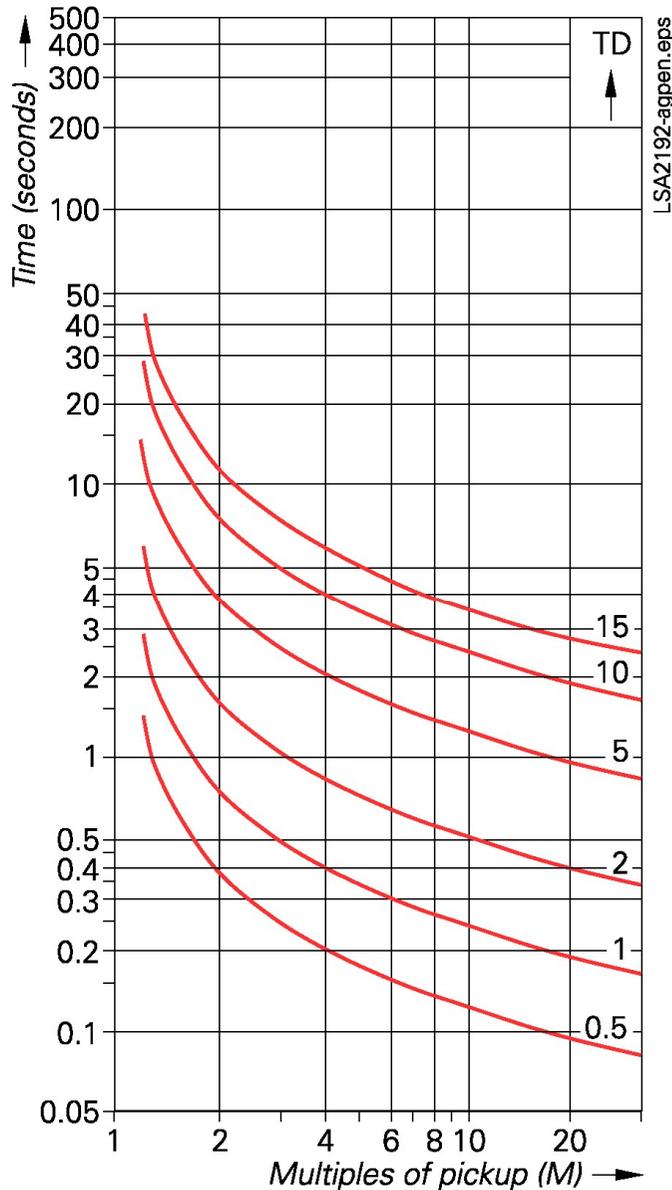
DEFINITE INVERSE

$$t = \left(\frac{0.4797}{M^{1.5625} - 1} + 0.21359 \right) \cdot TD$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial



CURVE

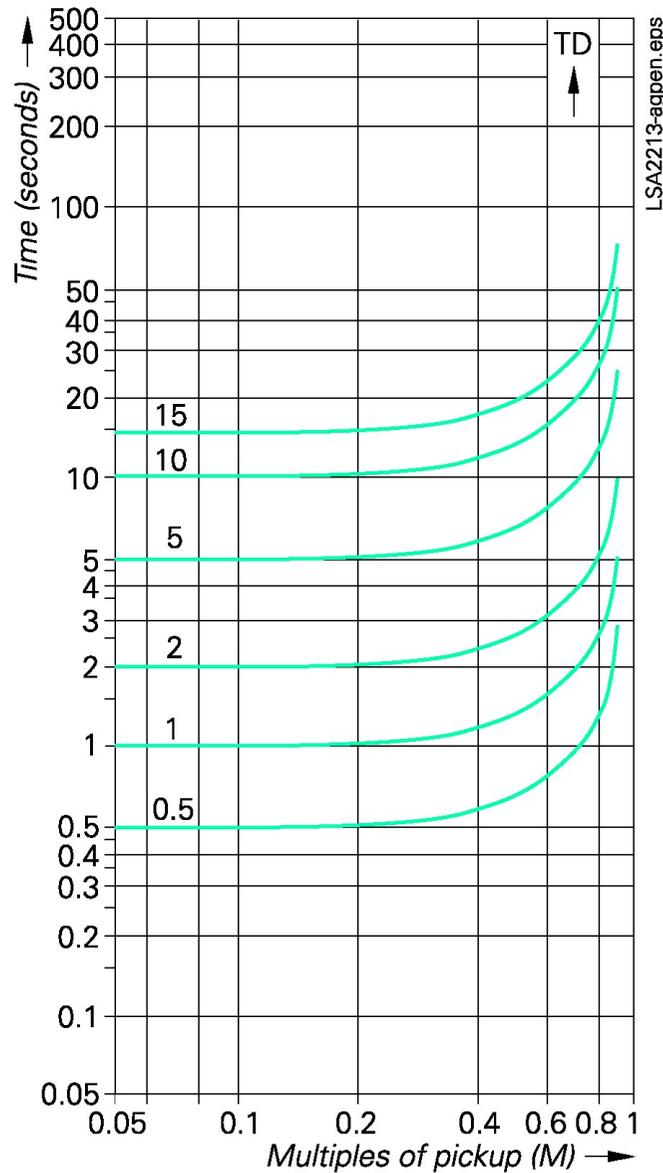
MODERATELY INVERSE

$$t = \left(\frac{0.0103}{M^{0.02} - 1} + 0.0228 \right) \cdot TD$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial



CURVE

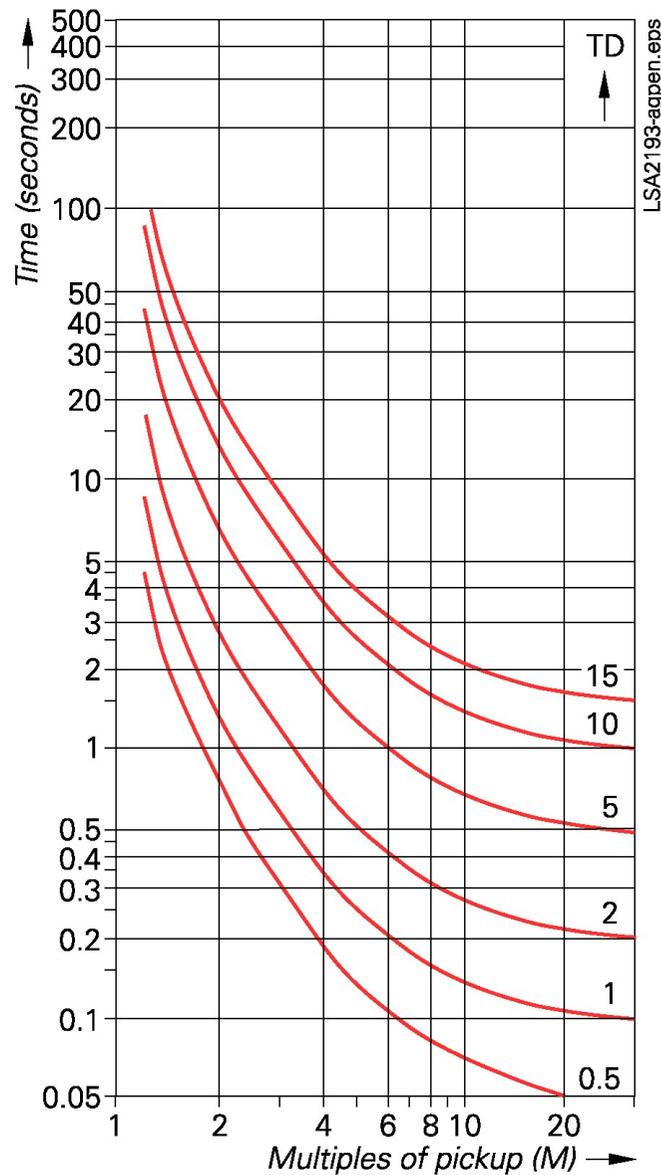
RESET MODERATELY INVERSE

$$t_{\text{reset}} = \frac{0.97 \cdot TD}{M^2 - 1}$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial



CURVE

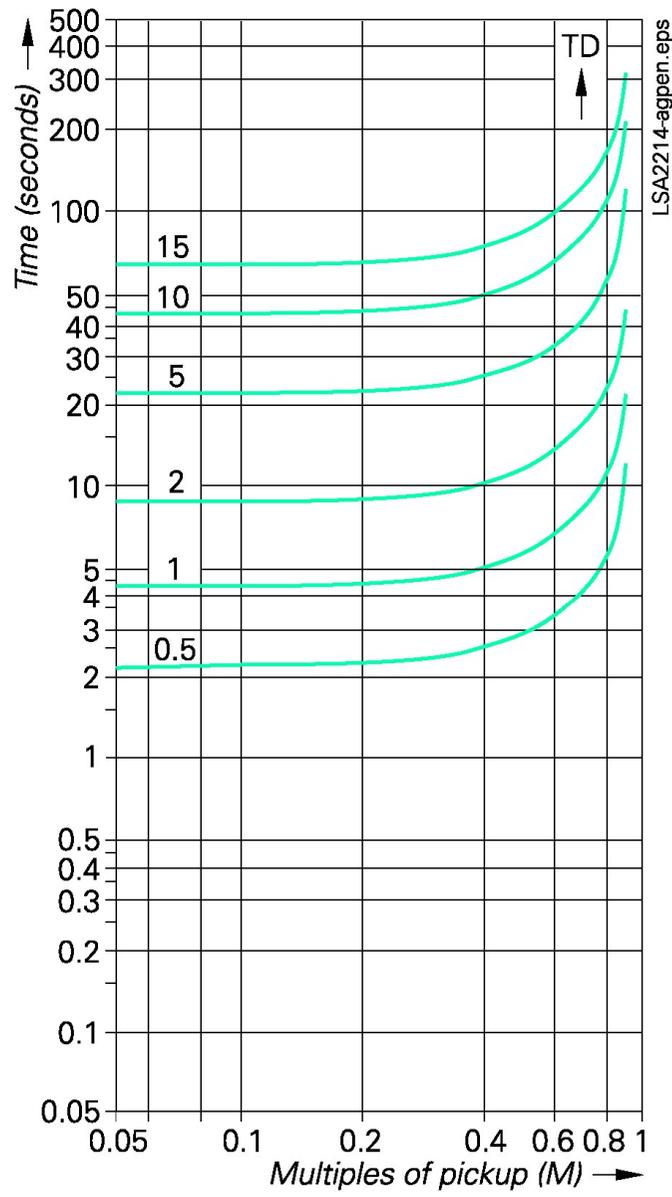
VERY INVERSE

$$t = \left(\frac{3.922}{M^2 - 1} + 0.0982 \right) \cdot TD$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial

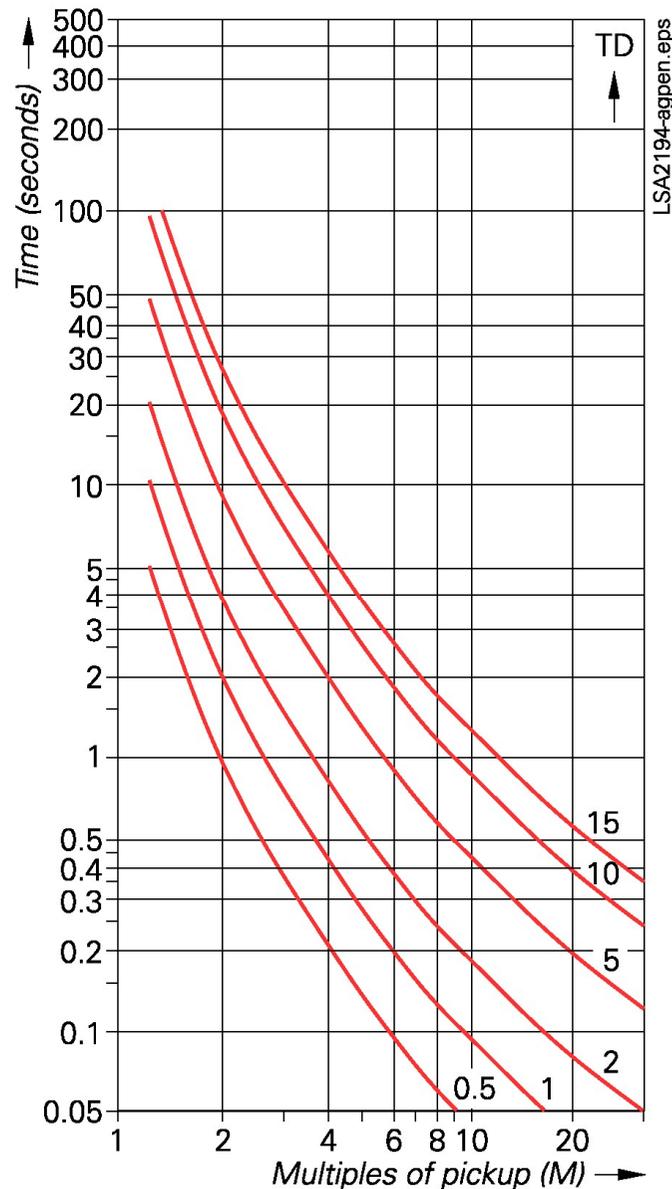


CURVE

RESET VERY INVERSE

$$t_{\text{reset}} = \frac{4.32 \cdot TD}{M^2 - 1}$$

- t = tripping time in seconds
- M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4
- TD = time dial



CURVE

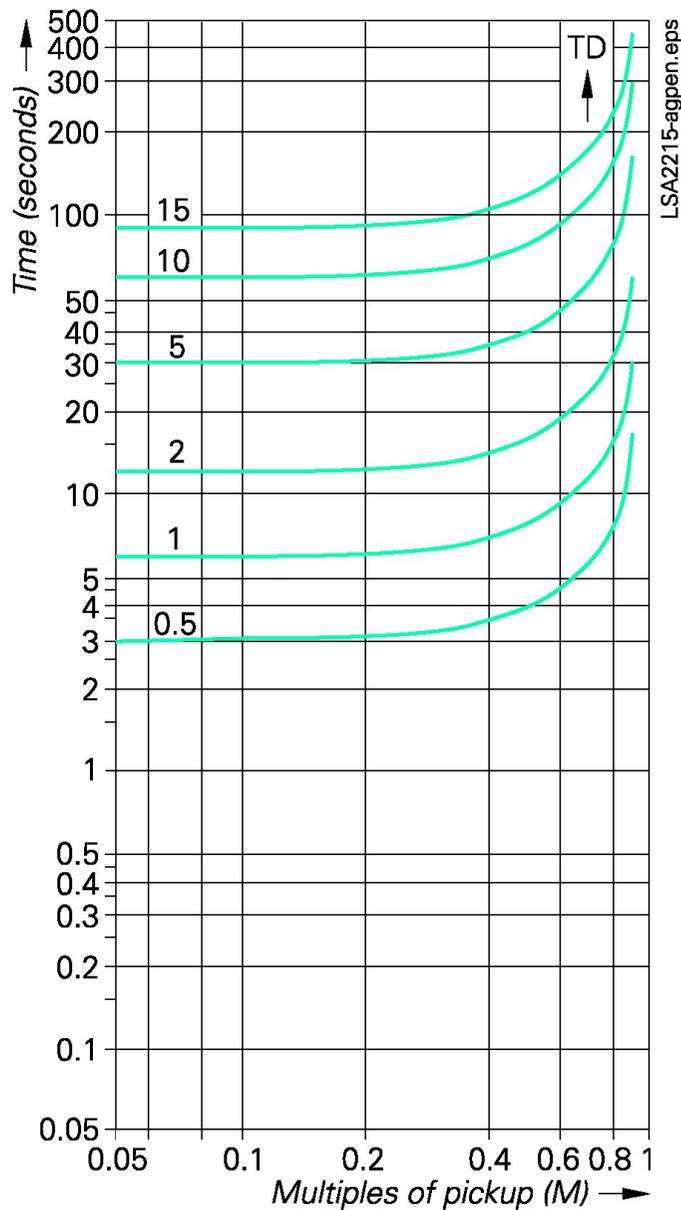
**EXTREMELY
INVERSE**

$$t = \left(\frac{5.64}{M^2 - 1} + 0.0243 \right) \cdot TD$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial



CURVE

RESET EXTREMELY INVERSE

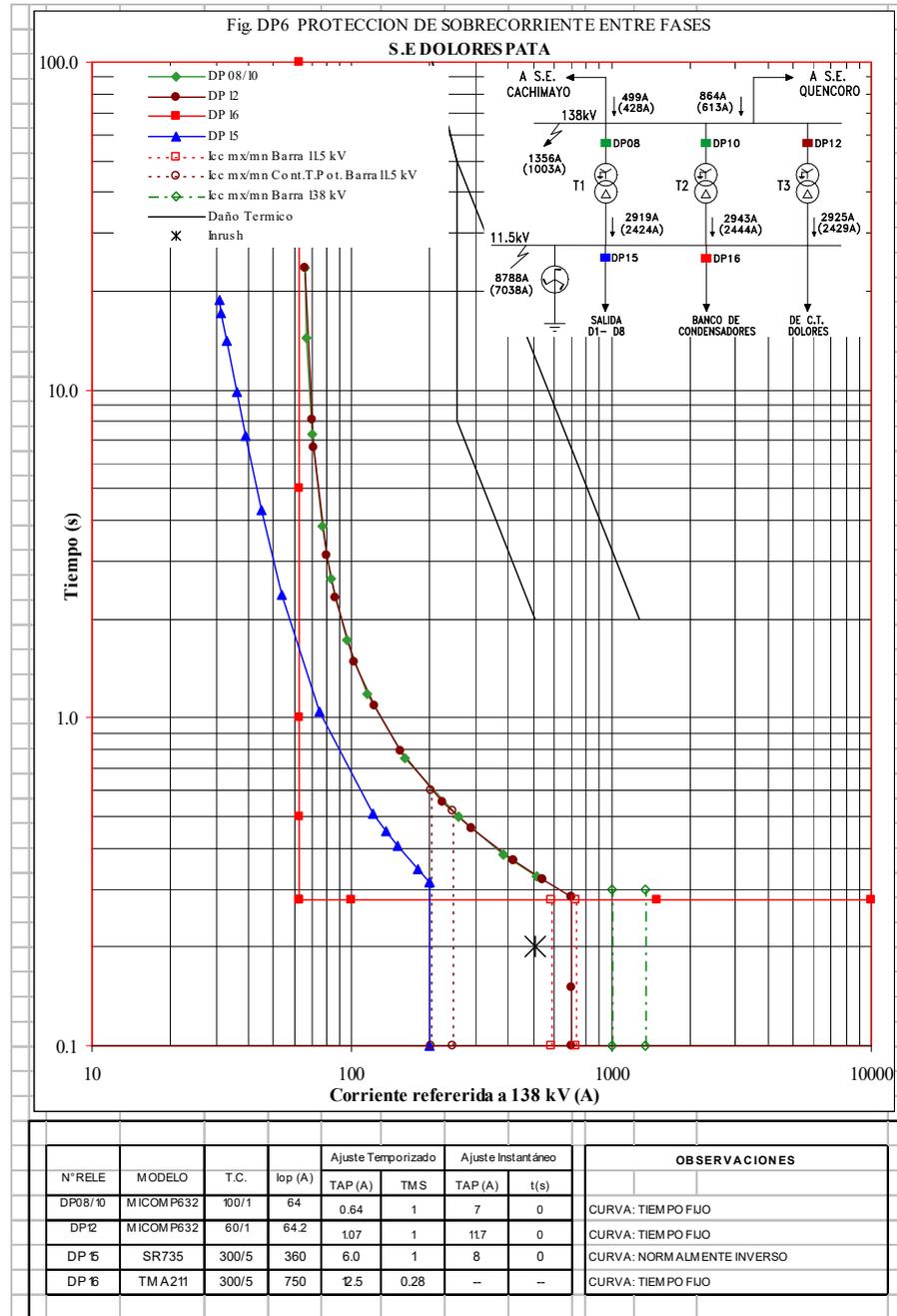
$$t_{\text{reset}} = \frac{5.82 \cdot TD}{M^2 - 1}$$

t = tripping time in seconds

M = current in multiples of pickup setting (I/I_p) range 0.1 to 4

TD = time dial

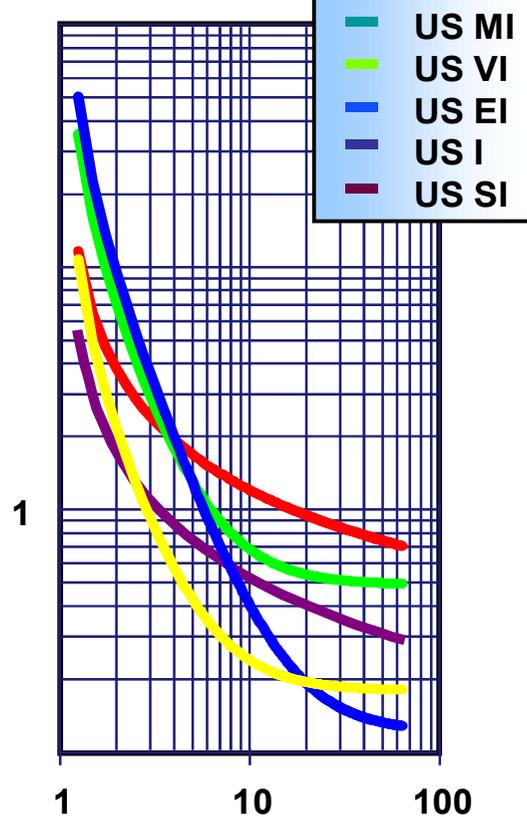
Curvas de Selectividad



Curvas de Coordinación

Curvas según la norma IEEE

Tiempo de operación (s)
TD = 7



Moderada Inversa
IEEE

$$t = \frac{TD}{7} x \left\{ \left[\frac{0.0515}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^{0.02} - 1} \right] \right\} + 0.114$$

Muy Inversa IEEE

$$t = \frac{TD}{7} x \left\{ \left[\frac{19.61}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^2 - 1} \right] \right\} + 0.491$$

Extremadamente
Inversa IEEE

$$t = \frac{TD}{7} x \left\{ \left[\frac{28.2}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^2 - 1} \right] \right\} + 0.1217$$

Inversa US CO8

$$t = \frac{TD}{7} x \left\{ \left[\frac{5.95}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^2 - 1} \right] \right\} + 0.18$$

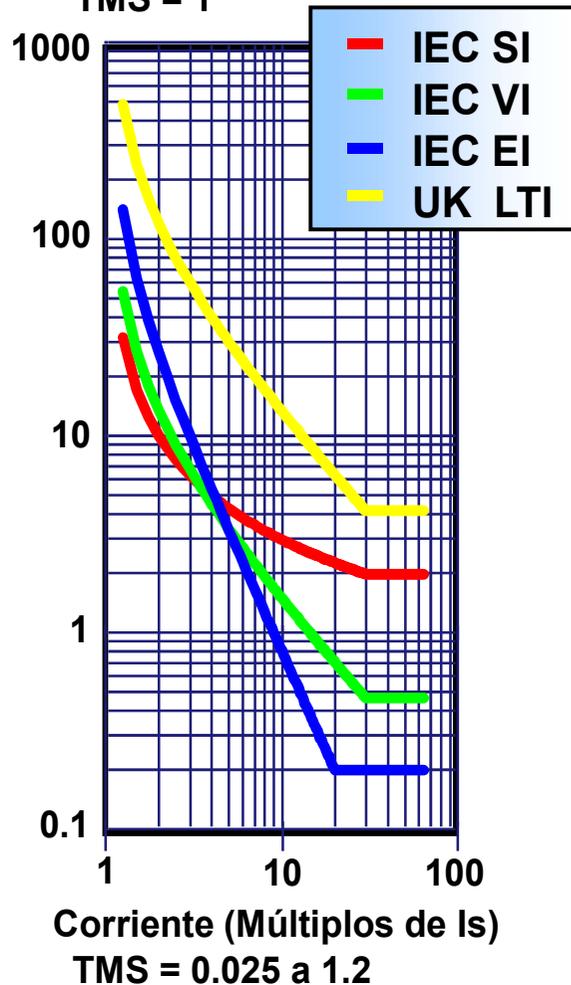
Inversa de tiempo
corto US CO2

$$t = \frac{TD}{7} x \left\{ \left[\frac{0.02394}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^{0.02} - 1} \right] \right\} + 0.01694$$

Curvas de Coordinación

Curvas según la norma IEC

Time de Operación (s)
TMS = 1



Inversa Standard
IEC

$$t = TMS \times \left(\frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^{0.02} - 1} \right)$$

Muy Inversa IEC

$$t = TMS \times \left(\frac{13.5}{\left(\frac{I}{I_s} \right) - 1} \right)$$

Extremadamente
Inversa IEC

$$t = TMS \times \left(\frac{80}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^2 - 1} \right)$$

UK Inversa tiempo
largo

$$t = TMS \times \left(\frac{120}{\left(\frac{I}{I_s} \right) - 1} \right)$$

Ecuación de la curva de sobre-intensidad con retardo de tiempo

NORMA IEC:

$$\textit{Tiempo de Desconexión} = \left(\frac{K}{\left[\frac{G}{G^b} \right]^\alpha} \right) \times \textit{dial de tiempo}$$

Tiempo de reajuste = Instantáneo

$\left[\frac{G}{G^b} \right]$ = Múltiplos de la corriente de puesta en marcha.

Dial de tiempo = Rango de 0,05 a 1,0 en pasos de 0,05.

Ecuación de la curva de sobre-intensidad con retardo de tiempo

NORMA ANSI:

$$\text{Tiempo de Desconexión } n = \left(\frac{A}{M^P - C} + B \right) x \left(\frac{14n - 5}{9} \right)$$

$$\text{Tiempo de Re ajuste} = \left(\frac{D}{|1 - EM|} \right) x \left(\frac{14n - 5}{9} \right)$$

M=Múltiplos de la corriente en puesta en funcionamiento (I/I_{PU}).

n=Ajuste de dial de tiempo (rango de 1 a 10 en pasos de 0,1).

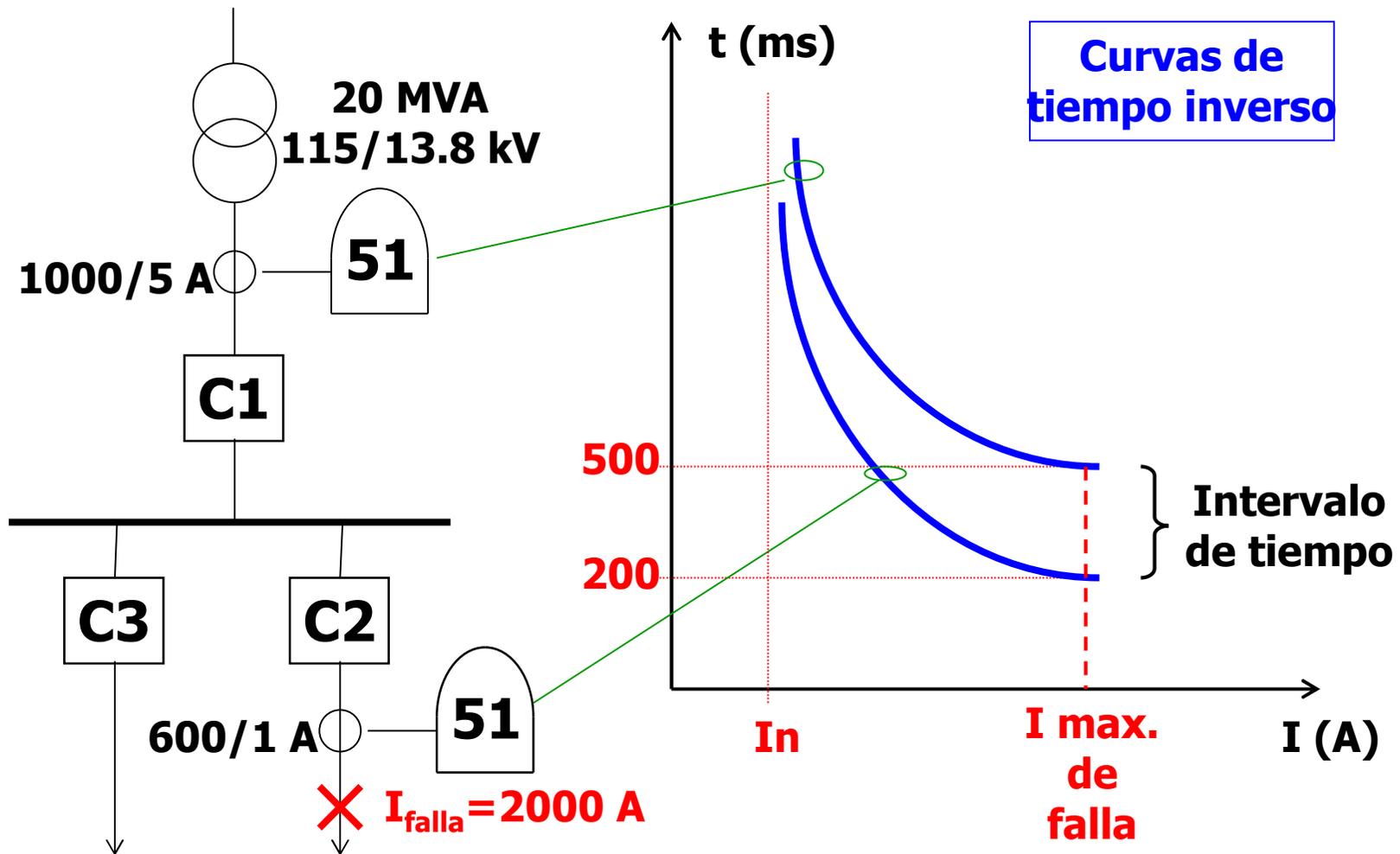
Constantes para las características de sobreintensidad con retardo de tiempo

Curva	A	B	C	P	D	E	K	α
Extremadamente Inversa	6.407	0.025	1	2.0	3	0.998	80.0	2.0
Muy Inversa	2.855	0.0712	1	2.0	1.346	0.998	13.5	1.0
Inversa	0.0086	0.0185	1	0.02	0.46	0.998	0.14	0.02
Inversa de Corto Tiempo	0.00172	0.0037	1	0.02	0.092	0.998		
Ext. Inversa de Corto Tiempo	1.281	0.005	1	2.0	0.6	0.998		
Ext. Inversa de Tiempo Prolongado	64.07	0.250	1	2.0	30	0.998		
Muy Inversa de Tiempo Prolongado	28.55	0.712	1	2.0	13.46	0.998		
Inversa de Tiempo Prolongado	0.086	0.185	1	0.02	4.6	0.998	120.0	1.0
Curva del Reconector #8	4.211	0.013	0.35	1.8	3.29	1.5		

NORMA ANSI

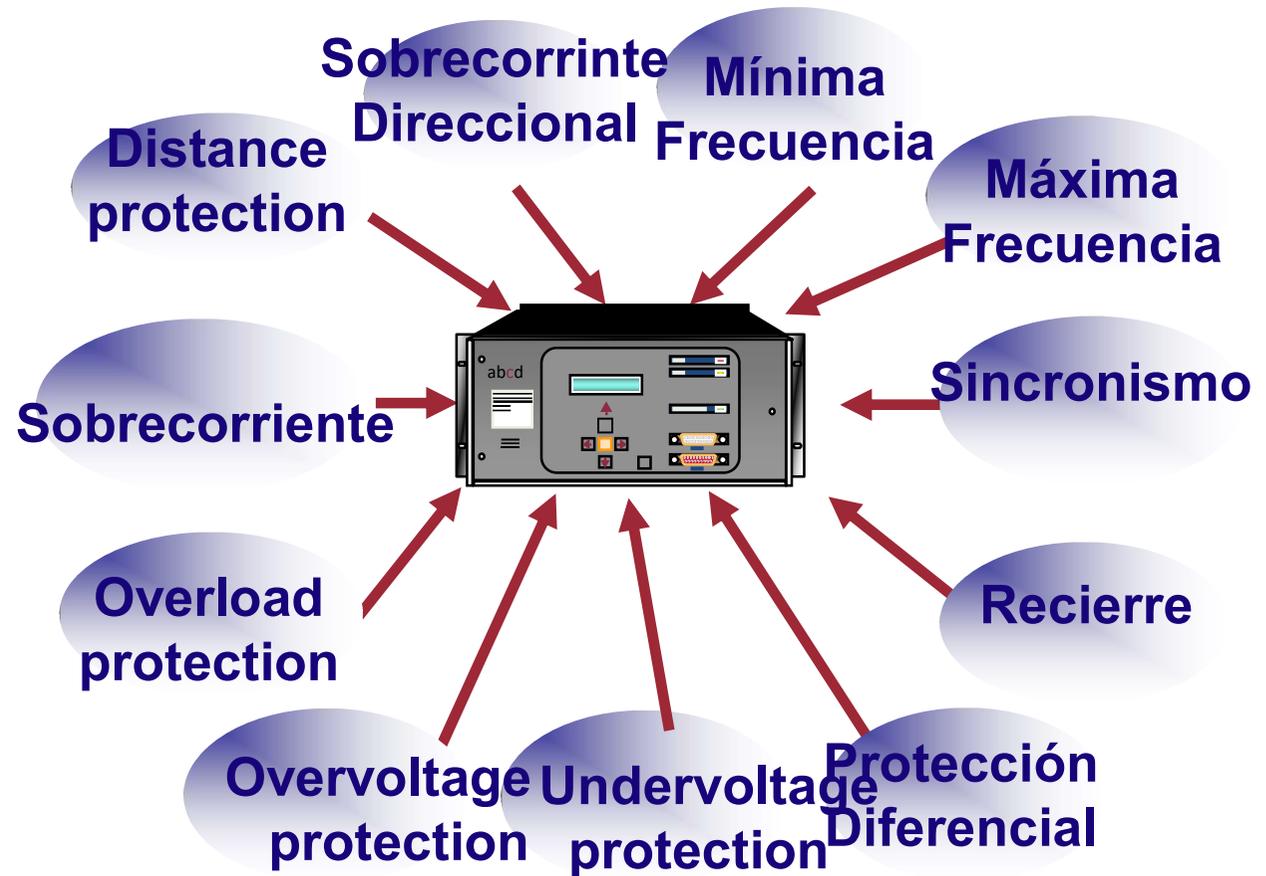
NORMA IEC

Coordinación de la Protección



Principio de Aplicación de los Relés

- Protección principal.
- Protección de respaldo.
- Protección de respaldo remoto.
- Protección de respaldo local.
- Protección redundante.



Protección Principal

- ❑ Son las que actúan en primera instancia ante una falla en su zona de protección
- ❑ Ante una falla en una zona de protección principal, los relés provocarán disparo de los interruptores comprendidos dentro de esa zona.
- ❑ Debe existir un traslape al rededor de los interruptores, esto se hace con la finalidad de eliminar, la posibilidad de espacios muertos o áreas no protegidas.