



# Protección de Subestaciones de Distribución

Docente: Ing. César Chilet León

CIP. 103077

# Temario

1. Tipos de subestaciones de distribución
2. Tipo de fallas.
3. Transformador de distribución
4. Protección de subestaciones aéreas.
5. Protección de subestaciones tipo caseta.

# 1.0 Tipo de subestaciones de distribución



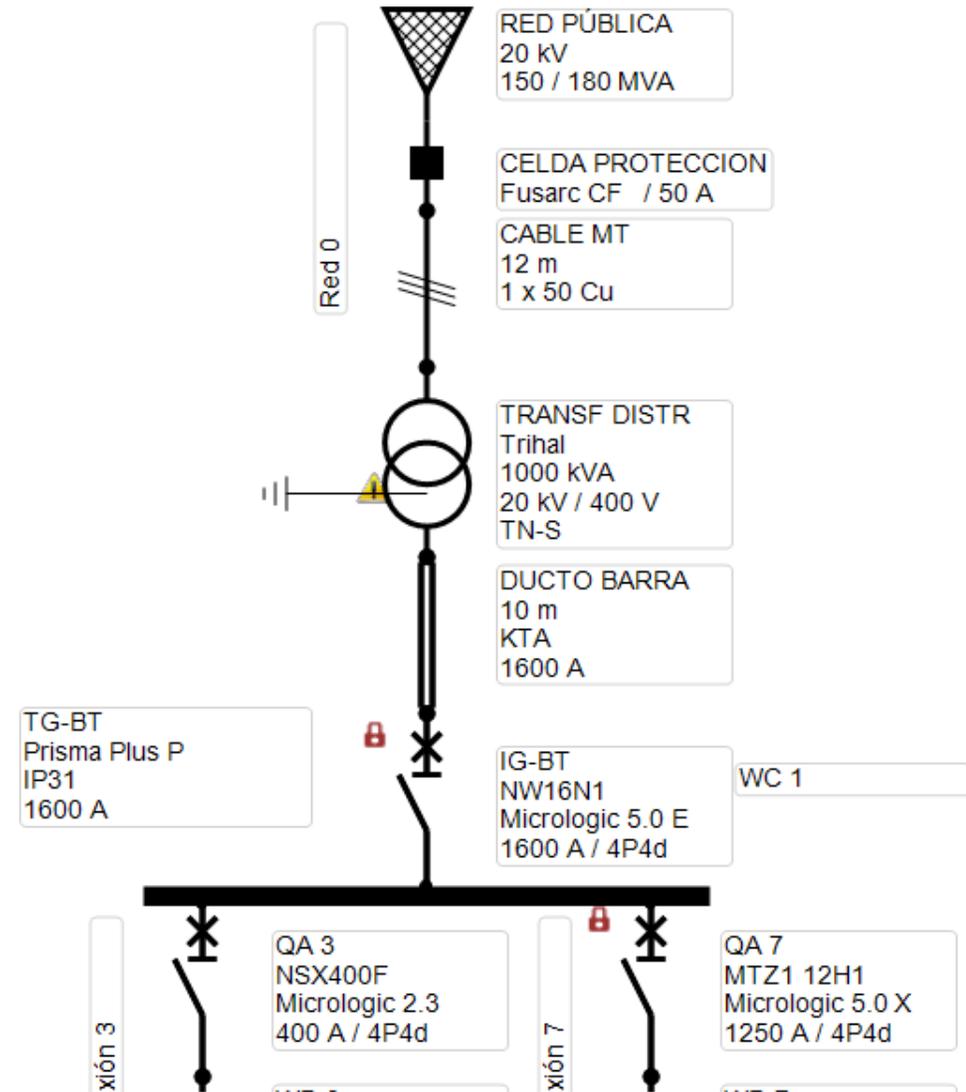
# Características de subestaciones de distribución

Instalación eléctrica provista de uno más transformadores de distribución reductores de Media tensión (MT) a Baja Tensión (BT) con la aparamenta y obra complementaria precisas.



# Introducción

Arreglo completo de:  
transformadores, dispositivos de  
maniobra y protección; con la  
finalidad de convertir la energía de  
Media Tensión (MT) a Baja Tensión  
(BT), de forma segura y óptima.



# Tipos de subestaciones de distribución

- Subestación tipo convencional.
- Subestación tipo compacta.
- Subestación aérea.



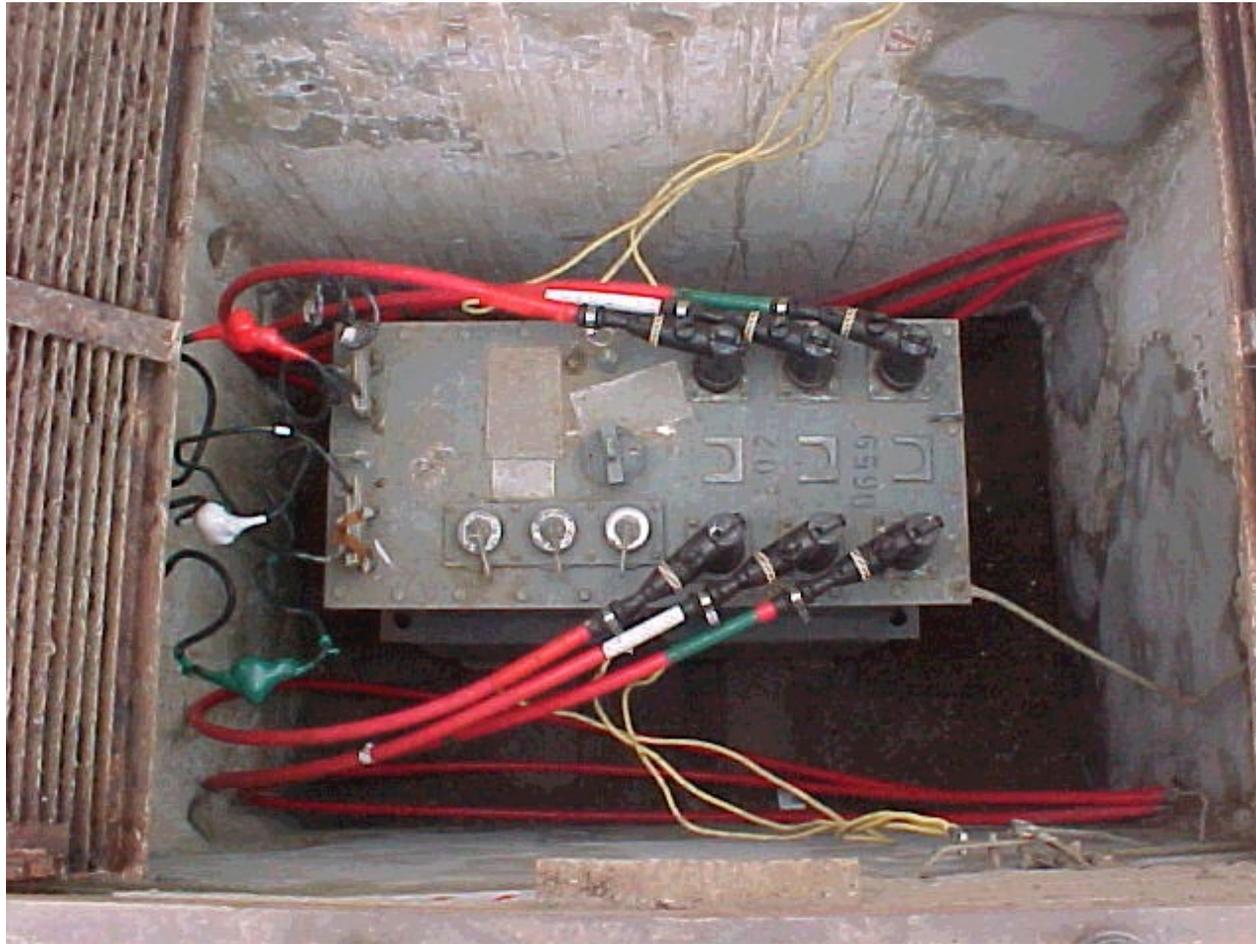
# Subestación convencional



# Subestación compacta tipo pedestal



# Subestación compacta tipo bóveda



# Subestación aérea



## 2. Características de las fallas eléctricas

- Falla trifásica
- Falla monofásica
- Falla bifásica
- Falla bifásica a tierra

# Tipo de fallas

- Por su duración: *autoextinguible, fugaz, permanente.*
- Por su localización: *dentro o fuera de una máquina o un tablero eléctrico.*
- Por su origen: *por factores mecánicos, debido a sobretensiones, por envejecimiento*
- Por el número de fases involucradas: *monofásicos (80%), bifásicos (15%) y trifásicos (5%).*



# Clasificación de los defectos según su duración

1. Autoextinguibles  $10$  a  $20$  ms
2. Transitorios  $100$  ms  $< t < 1$  s
3. Semipermanentes  $t > 1$  a  $30$  s
4. Permanentes  $t > 30$  s

# Clasificación de los defectos según su duración

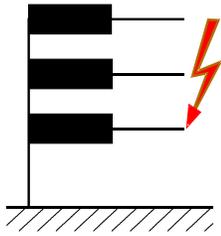
## Fallas permanentes

- Se producen por el deterioro de la aislación en algún punto de la red, y no es posible su recomposición con la ausencia de tensión en la red

## Fallas transitorias

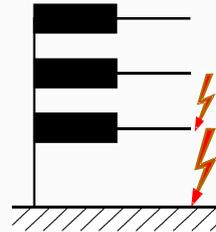
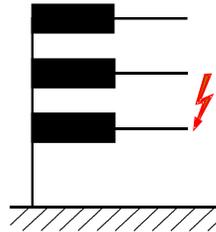
- Se producen por el deterioro de la aislación en algún punto de la red y la aislación se recompone luego de retirar la tensión de la misma durante un cierto periodo de tiempo

# Tipos de fallas

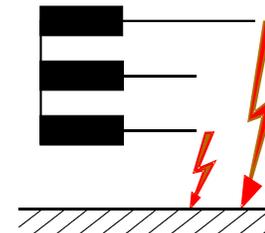
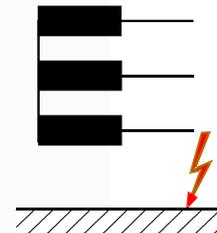
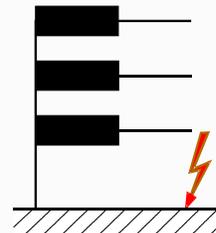


3-fases

2-fases

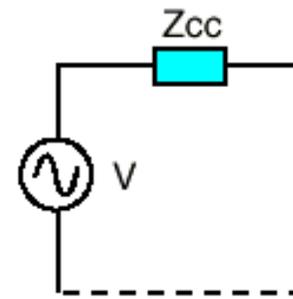
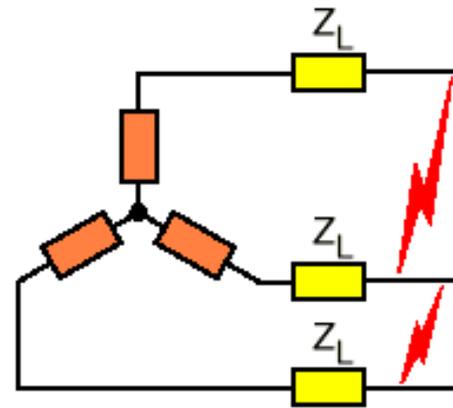


1-fase



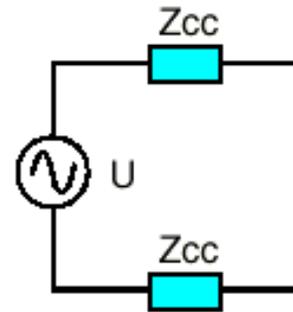
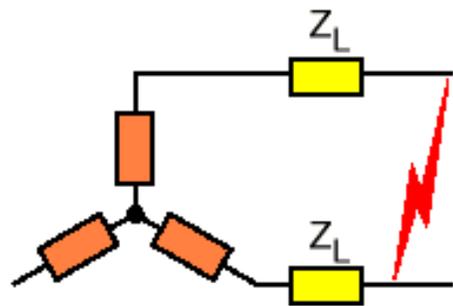
# Cálculo

Defecto trifásico



$$I_{cc_3} = \frac{U / \sqrt{3}}{Z_{cc}}$$

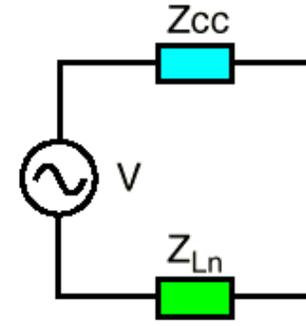
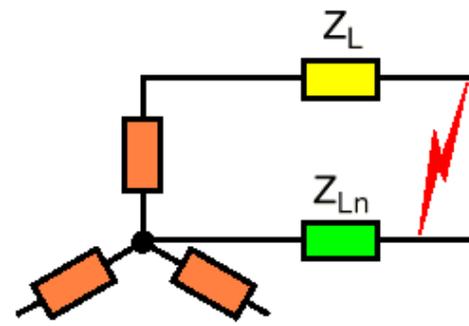
Defecto bifásico



$$I_{cc_2} = \frac{U}{2 \cdot Z_{cc}}$$

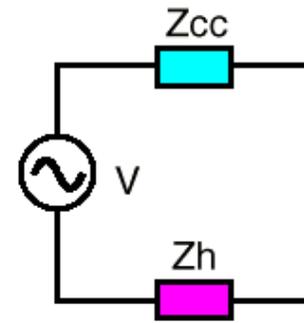
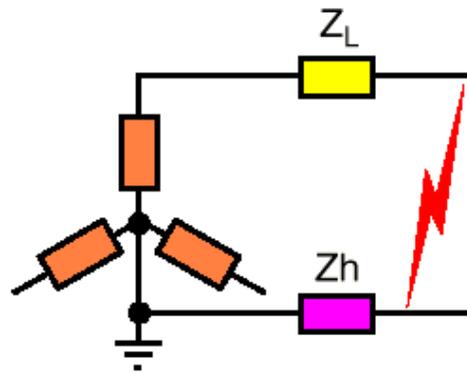
# Cálculo

Defecto monofásico



$$I_{cc_1} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_{Ln}}$$

Defecto a tierra



$$I_{cc_h} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_h}$$

# Causas de las fallas



# Anormalidades en instalaciones de distribución

## Sobreintensidades

- Calentamientos anómalos de los conductores y máquinas
- Reducción de la vida de la máquina y / o instalación por envejecimiento prematuro de los aislantes

## Cortocircuitos

- Calentamiento brusco e intenso
- Esfuerzos electrodinámicos deformación de los conductores activos o embarrados

# Anormalidades en instalaciones de distribución

## Sobretensiones

Solicitud anómala del material aislante.

- Reducción de la vida de la aparamenta y equipos del circuito.
- Evoluciona siempre hacia un defecto polifásico.

# Causas



Impacto de rayo en línea de alta tensión

TIPO	DESCRIPCIÓN
I	Fenómenos Naturales
IA	Descargas Atmosféricas
II	Condiciones Ambientales
III	Equipos, Materiales
IV	Error Humano
V	Terceros
VI	Otras Causas

Fuente: CIER

# Defectos en instalaciones de distribución

<b>TIPO DE DEFECTO</b>	<b>Redes aéreas</b>	<b>Redes subterráneas</b>
<b>Fallo de aislamiento</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>Contacto accidental de conductores</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>Sobretensiones atmosféricas</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>Sobretensiones de maniobra</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>Rotura mecánica</b>	<b>x (42 %)</b>	<b>x</b>
<b>Trabajos en los alrededores de línea en</b>	<b>x</b>	<b>x (30 %)</b>

# Estadística de fallas en distribución

Se adjunta tabla con los porcentajes de defectos clasificados por la permanencia y dentro de las tres clases, por la cantidad de fases involucradas:

		<b>Monofásico a tierra</b>	<b>Polifásico</b>	<b>Polifásico a tierra</b>
<b>Transitorios</b>	<b>91%</b>	<b>84%</b>	<b>13%</b>	<b>3%</b>
<b>Semipermanentes</b>	<b>6%</b>	<b>54%</b>	<b>38%</b>	<b>8%</b>
<b>Permanentes</b>	<b>3%</b>	<b>44%</b>	<b>50%</b>	<b>6%</b>

Fuente: CIER

# Probabilidad de ocurrencias



TIPOS DE CORTO-CIUITOS	% DE OCURRENCIAS
3Ø	06 %
2Ø	15 %
2Ø – Tierra	16 %
1Ø – Tierra	63 %

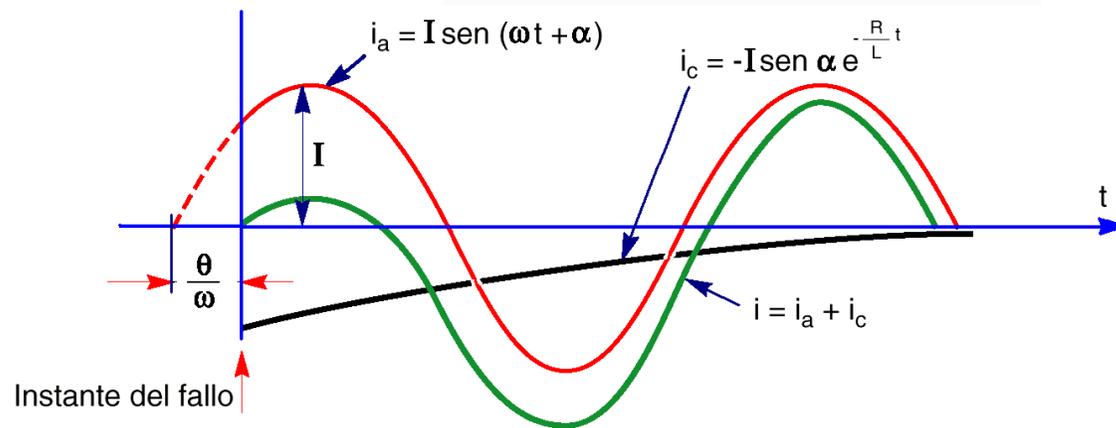
Fuente: Curto-Circuito, Geraldo Kinderman

SISTEMA DE PROTECCIÓN	
Equipos	Tasa de falla
Interruptor	47.16 %
TC y TP	0.47 %
Relé	4.74 %
Batería	47.16 %
Circuito	0.47 %

Fuente: Protección de SEP, Geraldo Kinderman



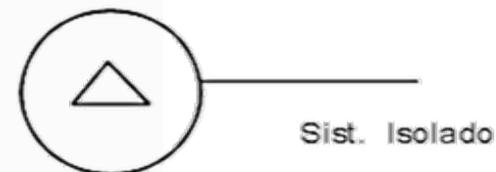
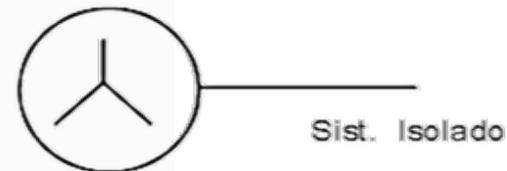
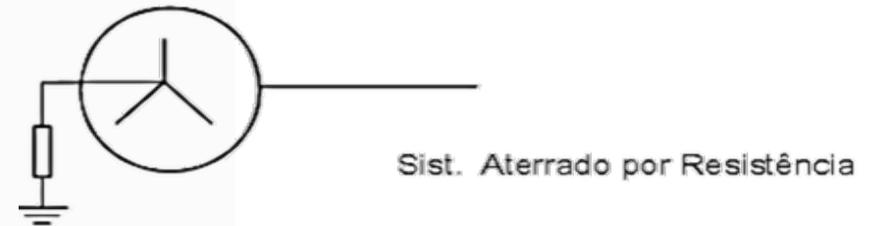
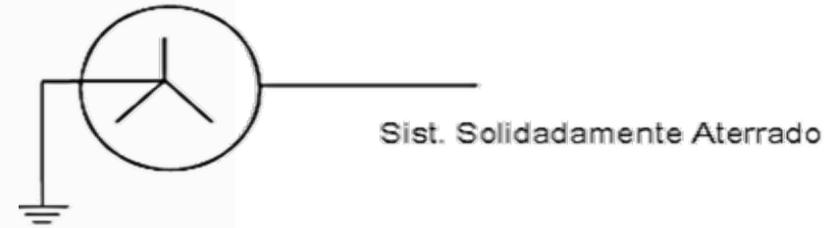
# Análisis de Fallas



# TRATAMIENTO DEL NEUTRO

- Sistema sólidamente aterrado
- Sistema aterrado a través de resistencia
- Sistema aterrado a través de reactancia
- Sistema aislado

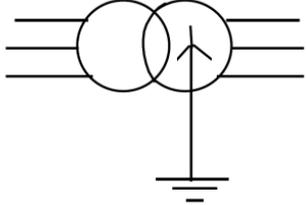
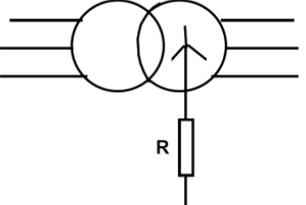
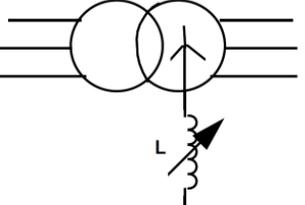
*El punto de aterramiento puede ser provisto por un generador, un transformador o un transformador de aterramiento.*



# Regímenes de neutro

Régimen de neutro	Aplicaciones más comunes
<b>Aislado</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Procesos de producción continua: cementeras, petroquímicas...</li><li>- Centrales nucleares</li></ul>
<b>A tierra directo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- En sistemas con conductor de neutro distribuido</li></ul>
<b>A tierra por resistencia</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- En sistemas de distribución públicos e industriales en Media Tensión</li><li>- Ciclos combinados</li><li>- Cogeneraciones</li></ul>
<b>A tierra por reactancia</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- En sistemas de distribución públicos e industriales en Media Tensión de amplio rango de tensiones</li></ul>
<b>A tierra compensado</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- En sistemas de distribución públicos e industriales en Media Tensión con una gran corriente capacitiva</li></ul>

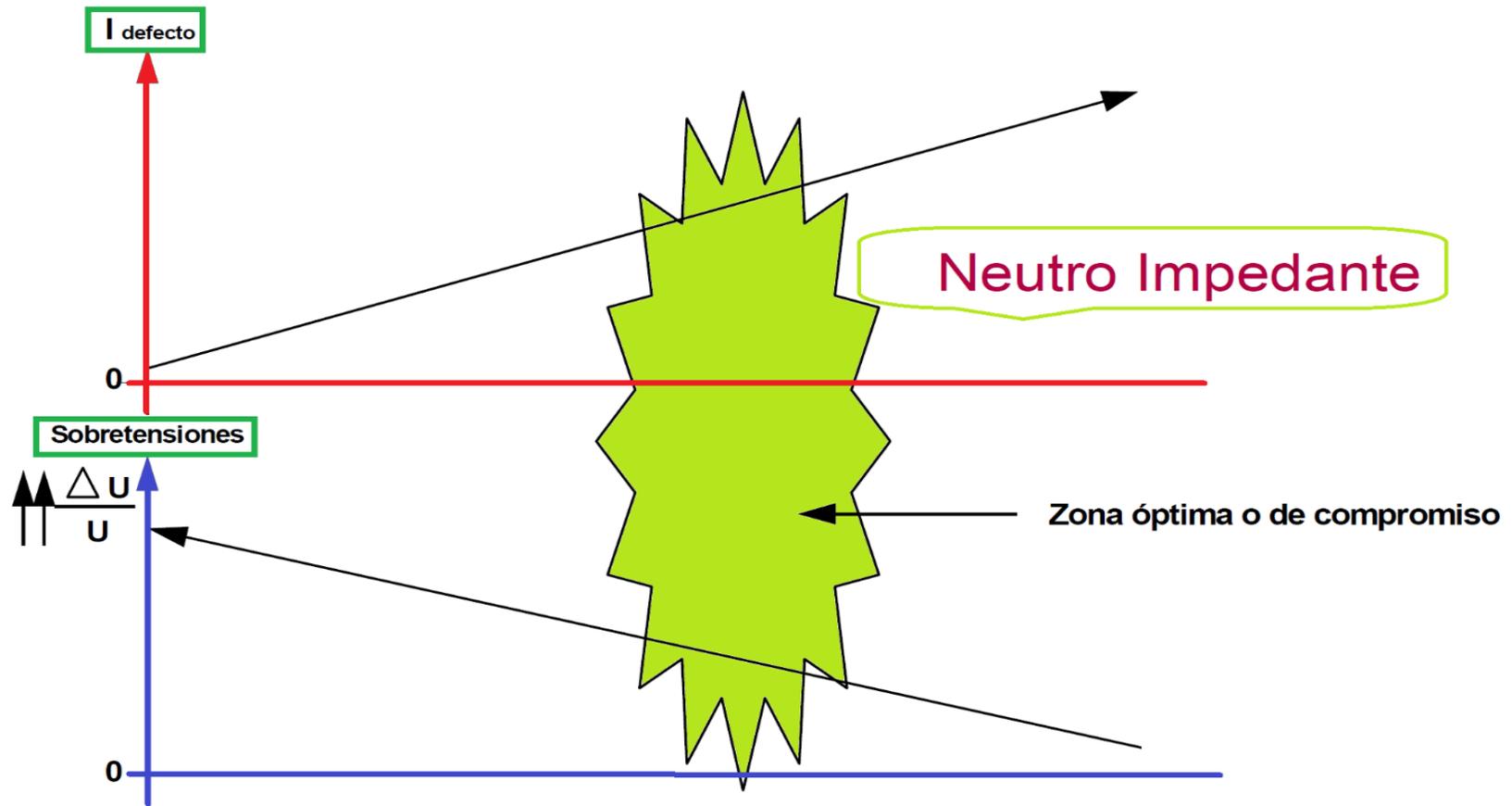
# Regímenes de neutro

País				
R.d.n.	Rígido a tierra	Resistencia	Bobina Petersen	Aislado
Australia				
Canada				
USA				
G.Bretaña	●			
España	●	●		●
Francia		●		
Italia				●
Alemania			●	
Japón				●

# Regímenes de neutro

Neutro aislado

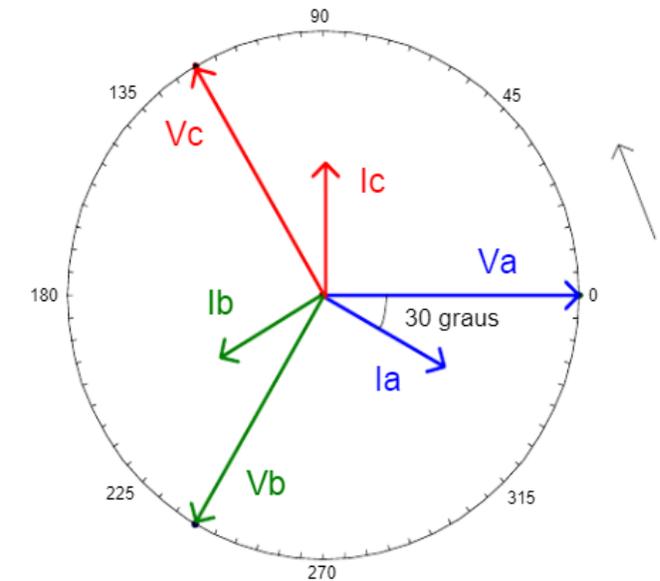
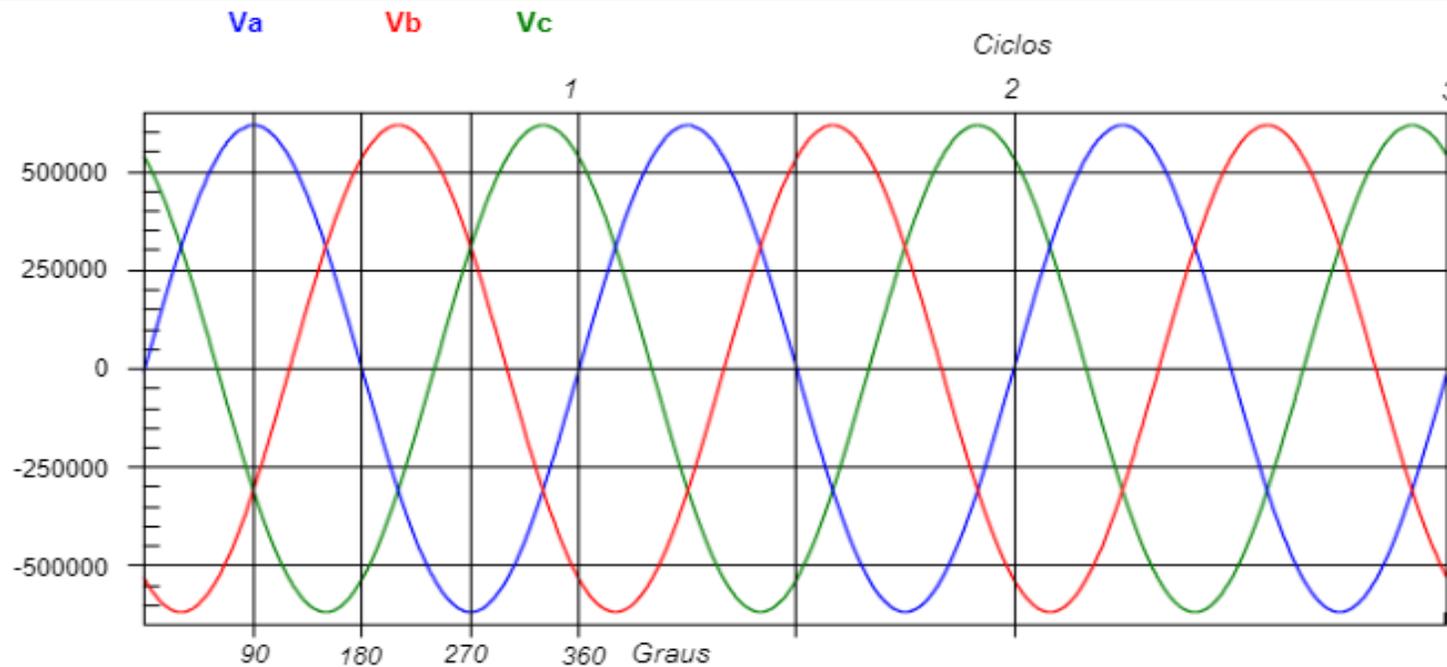
Neutro directo a tierra



# CONDICIÓN NORMAL DE OPERACIÓN

## Condición de Equilibrio (Carga Normal)

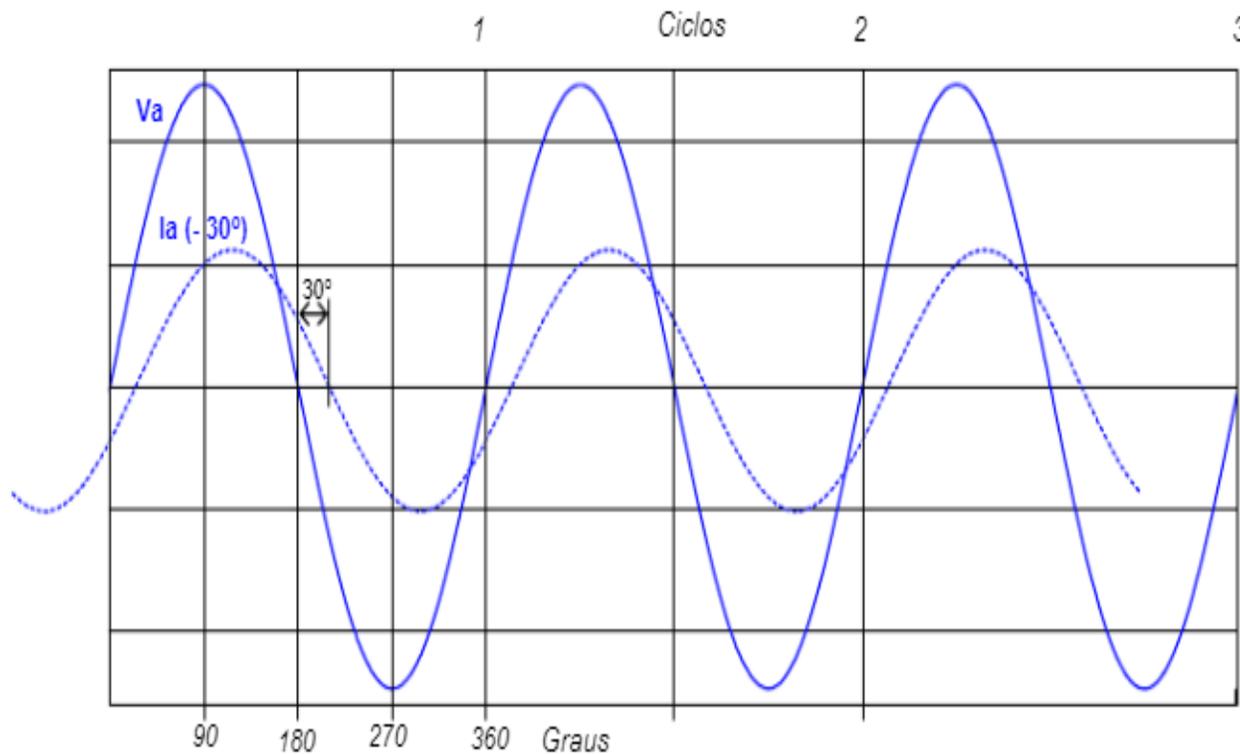
Se representa un sistema trifásico equilibrado.



Representación Fasorial

# CONDICIÓN NORMAL DE OPERACIÓN

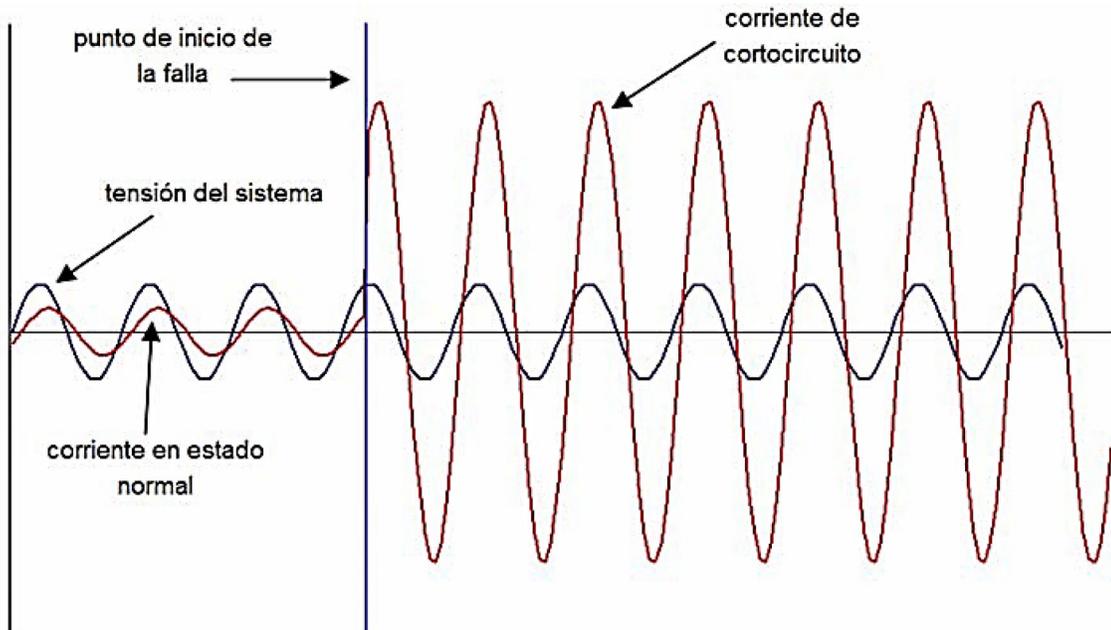
Tensión y Corriente de la fase **A**, con carga inductiva (corriente en atraso)



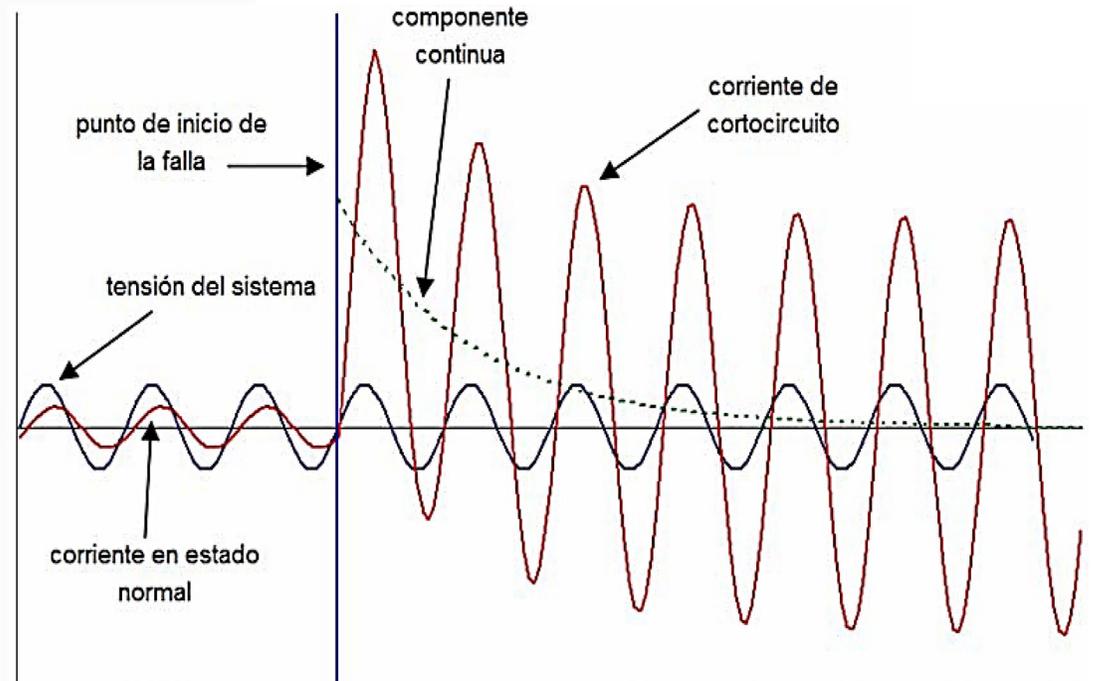
Por lo general en equilibrio y principalmente característica de la Alta Tensión, donde las formas de onda son bastante aproximadas a lo mostrado, es decir con bajísimo desequilibrio

# Cortocircuito trifásico

## SIMÉTRICO

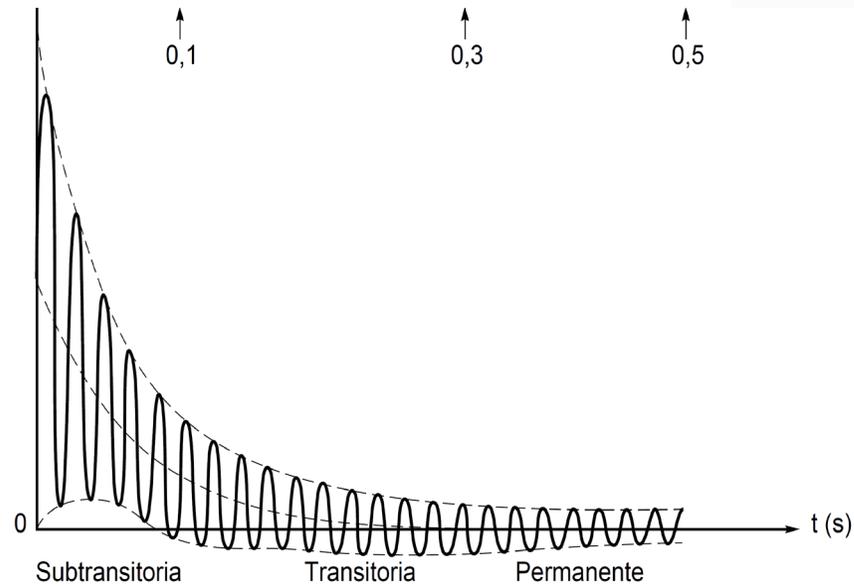


## ASIMÉTRICO

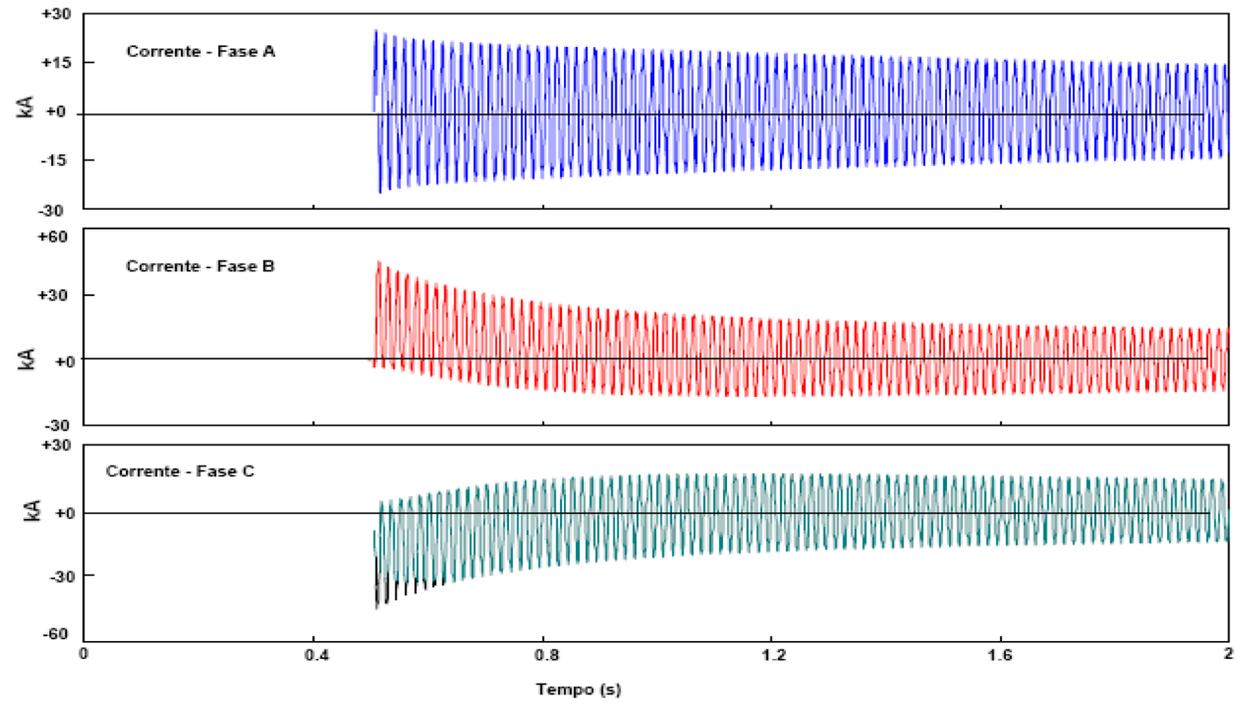


# Cortocircuito trifásico

## PRÓXIMO A LA GENERACIÓN



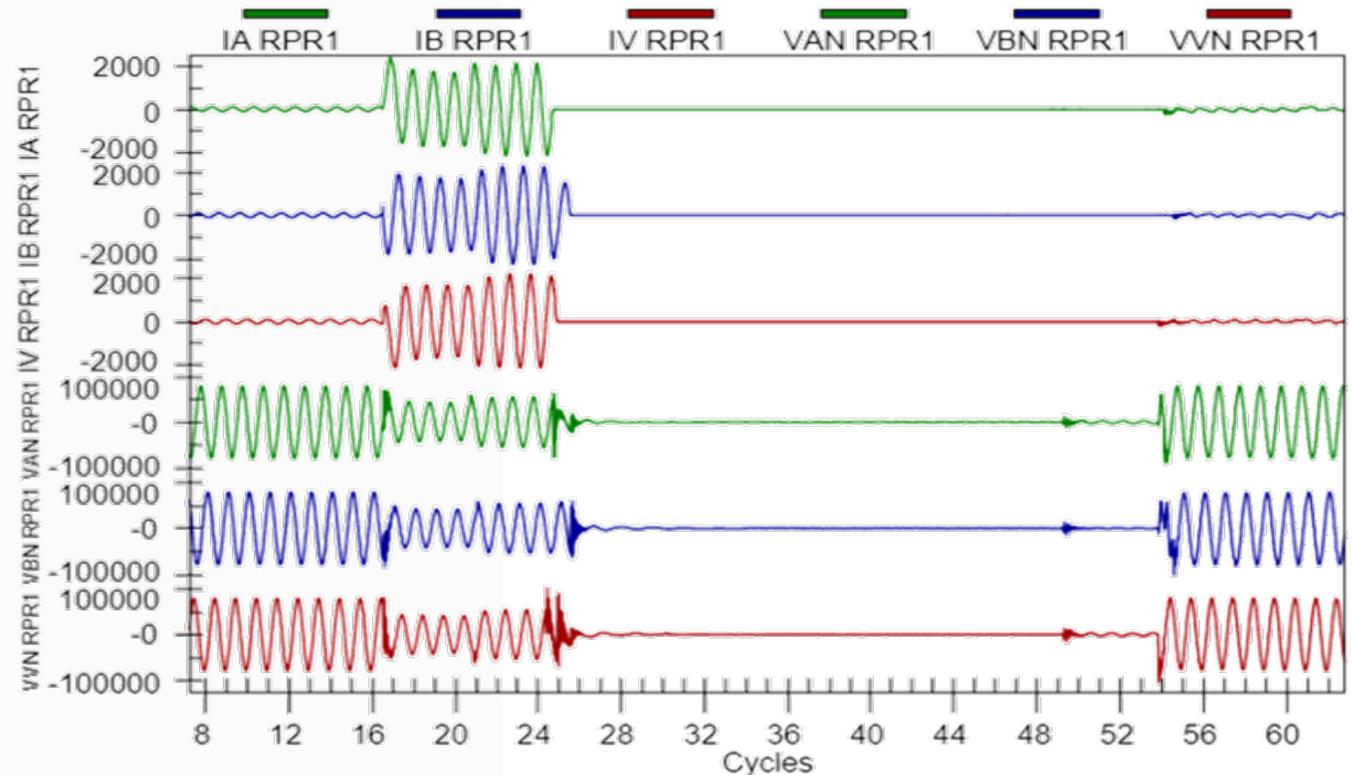
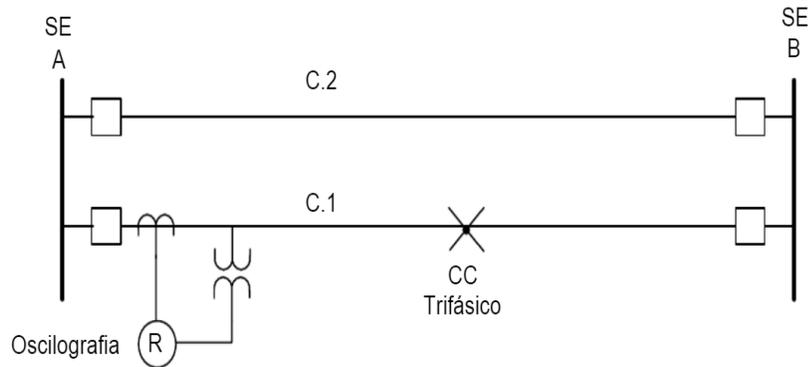
## EN UNA RED ALEJADO DE LA GENERACIÓN



# Ejemplo 1: Oscilograma real de cortocircuito trifásico - Con recierre automático

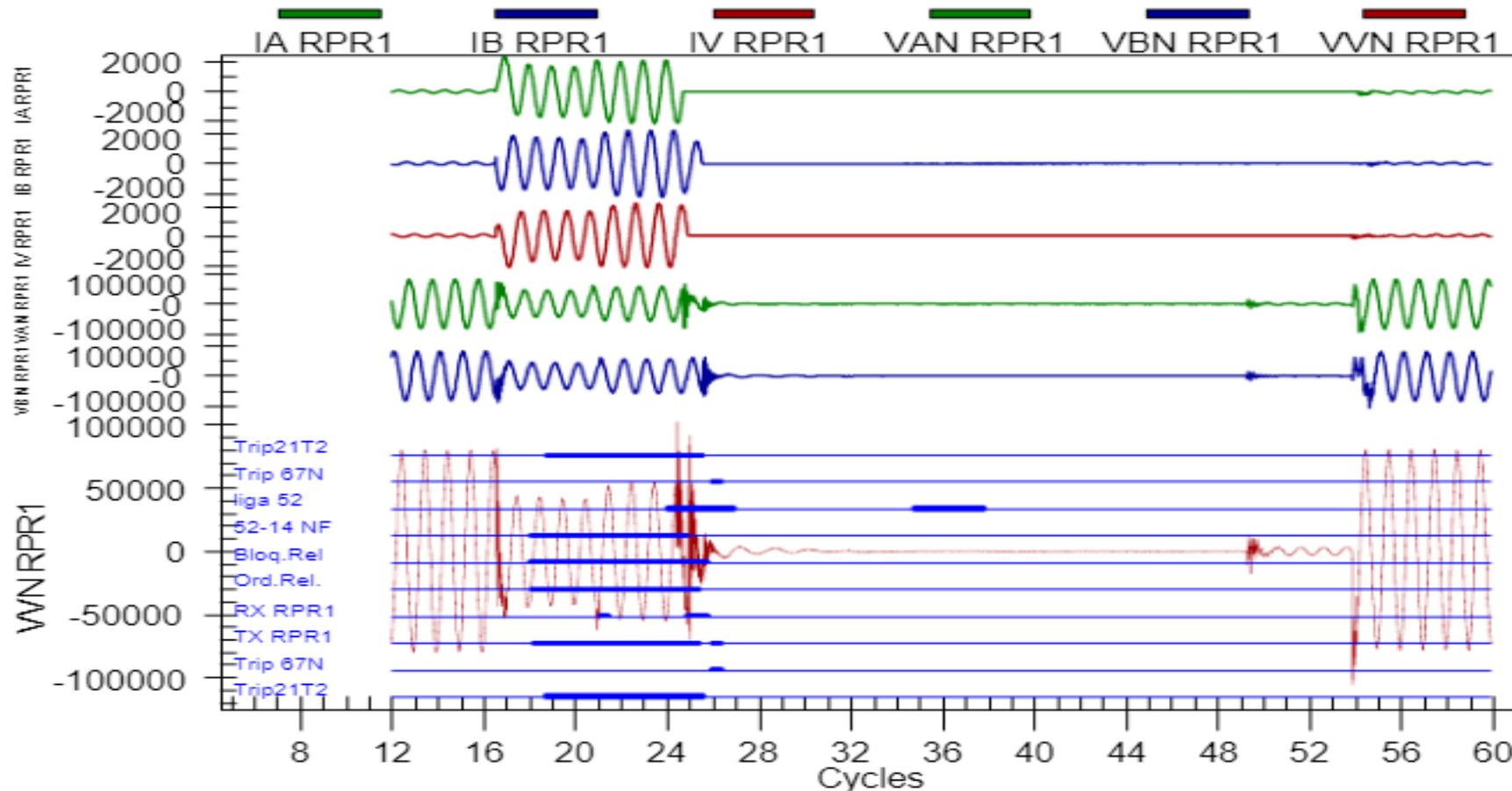
El siguiente ejemplo muestra un oscilograma de cortocircuito trifásico en línea de transmisión de 138 kV. El oscilograma muestra todavía el recierre automático tripolar de este circuito.

Se observa transitorios en las formas de ondas de las tensiones, debido a oscilaciones del circuito LC. Se trata del oscilograma de un registrador “stand alone”

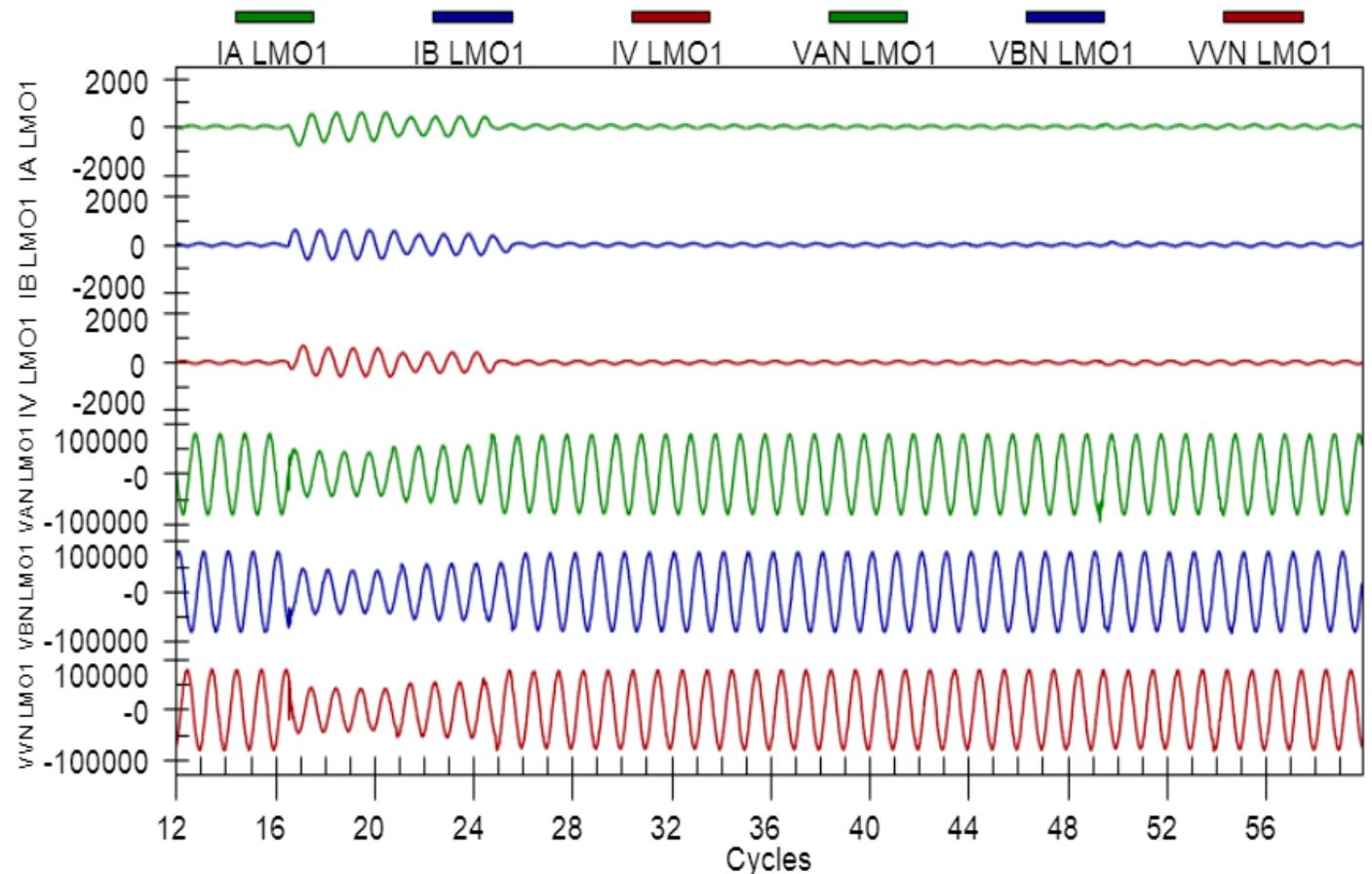
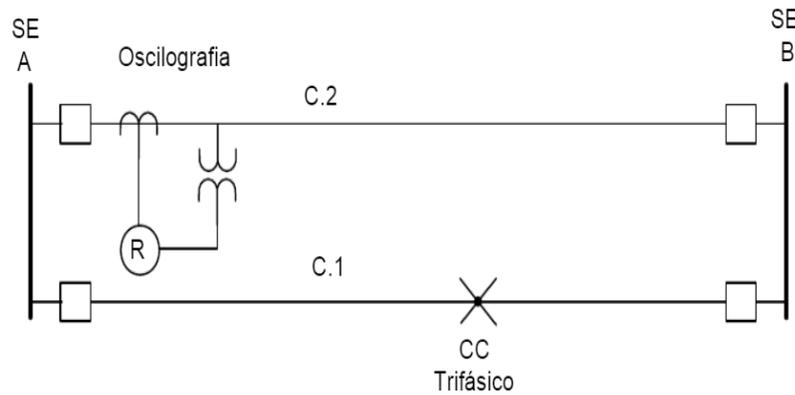


## Ejemplo 2: Mismo Oscilograma con eventos

Los oscilogramas mostrados se refieren a uno de los dos circuitos de una línea de circuito doble.



### Ejemplo 3: Oscilograma de circuito paralelo para la misma ocurrencia



Se observa el comportamiento del circuito para las corrientes de cortocircuito y las caídas de tensión en las fases A, B y V

## 3. Transformadores de distribución

- INRUSH
- Norma IEC 60076
- Norma IEEE C37.91

# INRUSH

Los factores que influyen en la duración y magnitud de la corriente de magnetización son la capacidad de transformador, la localización, la capacidad del sistema de potencia, la resistencia en el sistema de potencia desde la fuente al transformador, el tipo de hierro usado en el núcleo del transformador y su densidad de saturación, el nivel de flujo residual del transformador y la forma en que es energizado, entre otros factores.

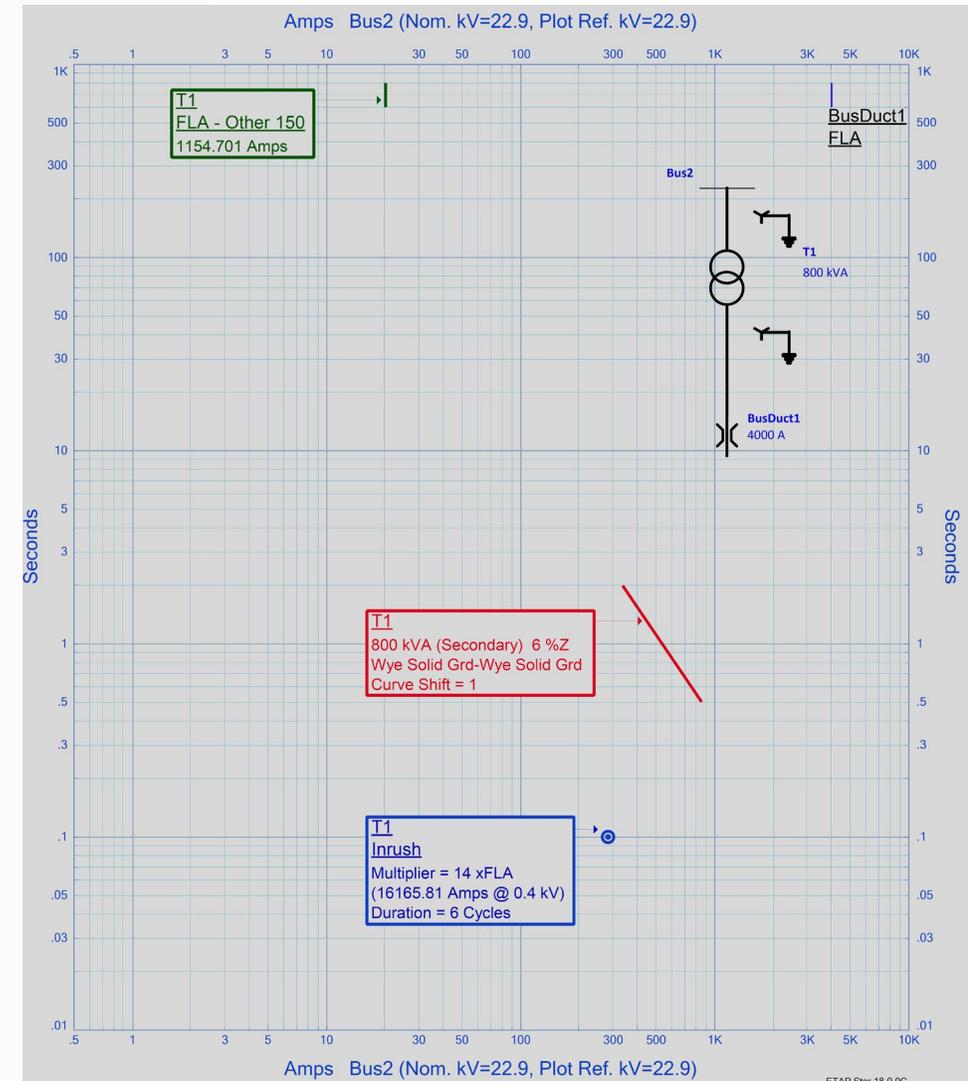
Cuando el transformador es energizado por vez primera se pueden alcanzar valores de 8 a 30 veces la corriente nominal, se recomienda bloquear las funciones de instantáneo de fases en el esquema de protección 50H, después de esa acción se podrá habilitar normalmente.

# Curva de daño del transformador

Es la máxima capacidad que puede soportar el transformador sin dañarse cuando es sometido a esfuerzos mecánicos y térmicos ocasionados por un cortocircuito.

## Referencias:

- IEC 60076
- ANSI C57.12.00-2000.

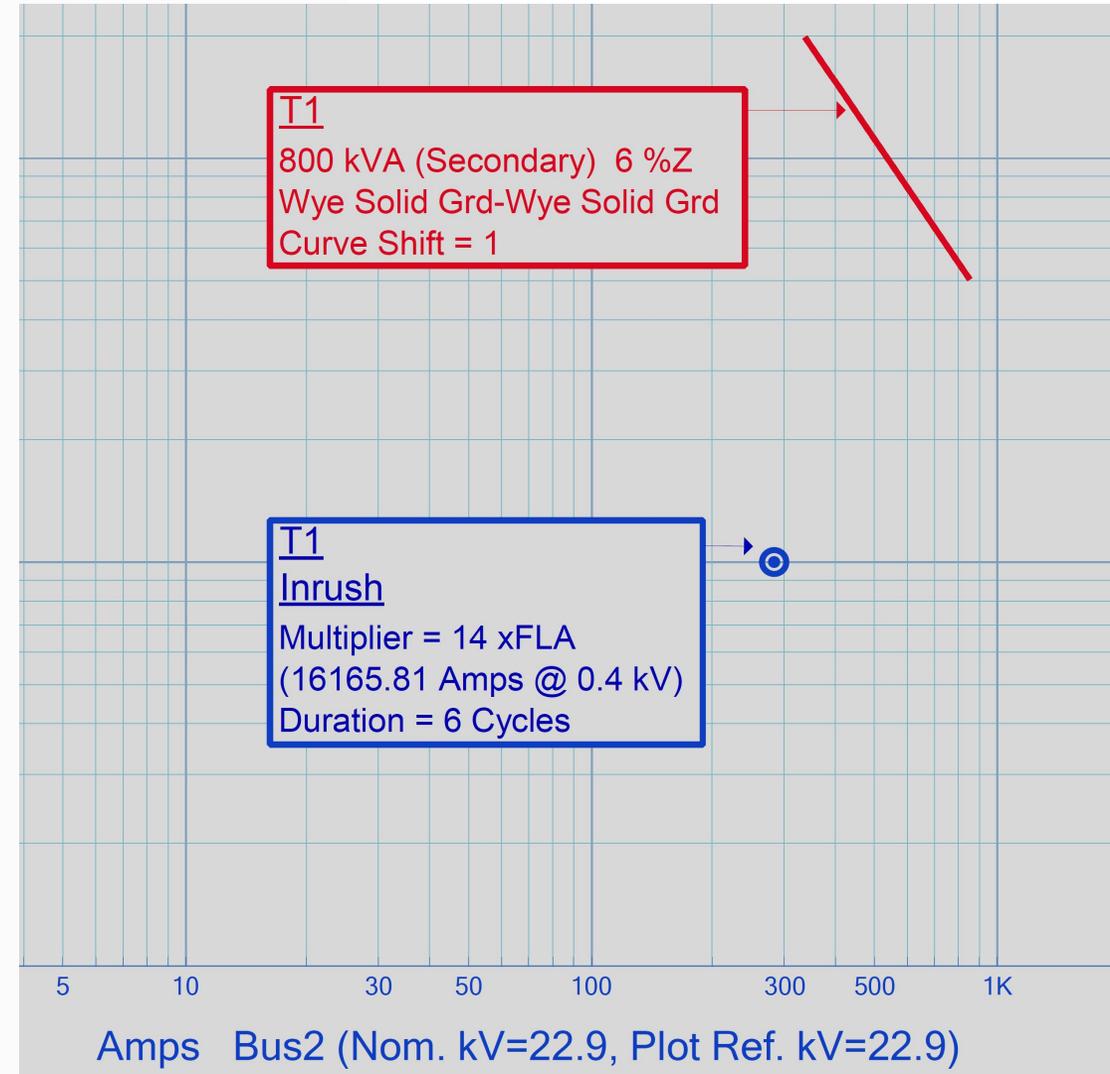


# Curva de daño del transformador

Es la máxima capacidad que puede soportar el transformador sin dañarse cuando es sometido a esfuerzos mecánicos y térmicos ocasionados por un cortocircuito.

## Referencias:

- IEC 60076
- ANSI C57.12.00-2000.



# CATEGORÍA DE TRANSFORMADORES – IEC 60076-5

Los transformadores, junto con todo el equipo y sus accesorios, deben ser diseñados y construidos para soportar sin daño los efectos térmicos y dinámicos producidos por cortocircuitos externos. Estos cortocircuitos no pueden ser fallas entre dos fases, entre dos fases y tierra, y entre fase y tierra. La norma establece la aptitud de los transformadores a soportar cortocircuitos.

CATEGORÍA	POTENCIA
I	25 kVA – 2500 kVA
II	2501 kVA – 100 MVA
III	MAYOR A 100 MVA

**Nota: Definición de Categorías para Transformadores Inmersos en Aceite y Transformadores Secos**

# Curva de daño

## Categoría I

Los efectos son térmicos y mecánicos.

El daño que ocurre como consecuencia de estos efectos acumulativos es una función de la magnitud y la duración de la corriente así como del número total de fallas.

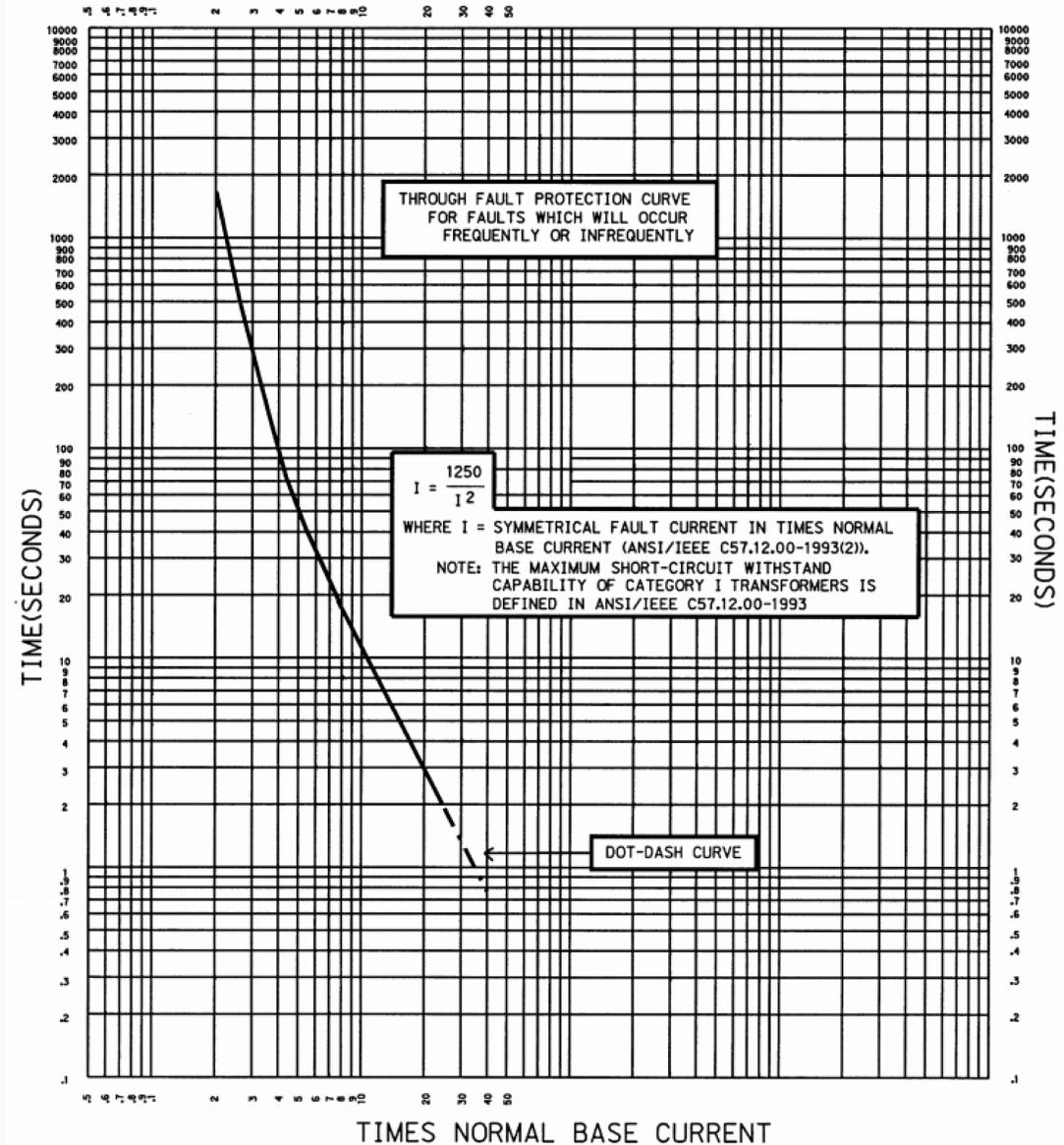


Figure A.1: Category 1 transformers:  
5-500 kVA single-phase;  
15-500 kVA three-phase

# Capacidad de sobrecarga

## tabla 2 norma IEC 60076-7:2017

**Table 2 – Límites de temperatura máximos permisibles aplicables a cargas por arriba de los valores asignados en datos de placa**

Tipos de cargabilidad	Small transformers	Large and medium power transformers
<b>Carga cíclica normal</b>		
Temperatura del punto caliente del arrollamiento y de las partes metálicas en contacto con material aislante celulósico (°C)	120	120
Temperatura del punto caliente de otras partes metálicas (en contacto con aceite, papel aramida, material de fibra de vidrio) (°C)	140	140
Temperatura del punto caliente del núcleo interno (°C)	130	130
Temperatura del aceite superior (°C)	105	105
<b>Carga cíclica de emergencia de larga duración</b>		
Temperatura del punto caliente del arrollamiento y de las partes metálicas en contacto con material aislante celulósico (°C)	140	140
Temperatura del punto caliente de otras partes metálicas (en contacto con aceite, papel aramida, material de fibra de vidrio) (°C)	160	160
Temperatura del punto caliente del núcleo interno (°C)	140	140
Temperatura del aceite superior (°C)	115	115
<b>Short-time emergency loading</b>		
Temperatura del punto caliente del arrollamiento y de las partes metálicas en contacto con material aislante celulósico (°C)	See 7.3.1	160
Temperatura del punto caliente del arrollamiento y de las partes metálicas en contacto con material aislante celulósico (°C)	See 7.3.1	180
Temperatura del punto caliente del núcleo interno (°C)	See 7.3.1	160
Temperatura del aceite superior (°C)	See 7.3.1	115
NOTA Para obtener más información sobre la temperatura del núcleo, consulte el Anexo B.		

Para corrientes mayores a la nominal, no se debe exceder ninguno de los límites individuales establecidos en la Tabla 2, además debe tenerse en cuenta las limitaciones específicas dadas en 7.3 a 7.5.

# Capacidad de sobrecarga

## tabla 2 norma IEC 60076-7:2017

**Tabla 3 - Límites de corriente recomendados aplicables a la carga**  
mayores a la corriente nominal

Tipos de carga	transformadores pequeños	transformadores de mediana potencia	transformadores de gran potencia
<b>Carga cíclica normal</b>			
Corriente (pu)	1,5	1,5	1,3
<b>Carga de emergencia de larga duración</b>			
Corriente (pu)	1,8	1,5	1,3
<b>Carga cíclica de emergencia de corta duración</b>			
Corriente (pu)	2,0	1,8	1,5

# Capacidad de sobrecarga de transformadores

Temperatura del sistema de aislamiento (UNE 20-178) °C	Temperatura del punto caliente del arrollamiento asignada máxima admisible		Límite de calentamiento medio de los arrollamientos a la intensidad asignada (calentamiento máximo) (UNE 20-178) $\Delta\theta_{WR}$
	$\theta_c$	$\theta_{cc}$	
105 (A)	95	140	60
120 (E)	110	155	75
130 (B)	120	165	80
155 (F)	145	190	100
180 (H)	175	220	125
220 (C)	210	250	150

# Capacidad de sobrecarga de transformadores

**Apartado 4.2.2.** El parámetro  $\theta_c$  se utiliza para calcular el consumo de vida normal. Bajo ciertas circunstancias de funcionamiento en las que está permitido sobrepasar el consumo de vida normal se pueden aplicar fuertes sobrecargas que produzcan una temperatura del punto caliente considerablemente mayor que  $\theta_c$ . En tales casos se ha utilizado el parámetro  $\theta_{cc}$  que representa el límite absoluto de la temperatura del punto caliente. Esta temperatura es tal que por encima de la misma la velocidad de degradación del aislamiento llega a ser inadmisibles.

Se puede interpretar lo anterior de la forma siguiente:

- En un determinado ciclo de carga la intensidad no debe exceder 1,5 veces la nominal.
- Su duración debe ser tal que no se exceda el valor de  $\theta_{cc}$  dado la tabla anterior

# Guía de carga – transformador seco – IEC 60076-12

Establece los límites de sobrecarga y de temperatura admisibles, en función del tipo de aislamiento sólido

Clase térmica del aislamiento (°C)	105 (A)	120 (E)	130 (B)	155 (F)	180 (H)	200	220
Corriente de sobrecarga (p.u.)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Máxima temperatura del punto caliente (°C)	130	145	155	180	205	225	245

*Nota 1.* No se entiende que los límites de temperatura y de corriente sean válidos simultáneamente. La corriente se puede limitar a un valor más bajo que el indicado para satisfacer el requisito de limitación de temperatura. Recíprocamente, la temperatura se puede limitar a un valor más bajo que el indicado para satisfacer el requisito de limitación de corriente.

*Nota 2.* A la máxima temperatura del punto caliente indicado en la tabla, los cálculos muestran que la duración de vida de un transformador nuevo es solo de pocos miles de horas.

# Valores máximos admisibles de la temperatura media de cada arrollamiento después del cc– IEC 60076

soportar una CC simétrica durante **2 segundos**, manteniendo la Temp. media de cada arrollamiento

Tipo de transformador	Clase térmica del aislamiento (°C)	Valor máximo de la temperatura (°C)	
		Cobre	Aluminio
Sumergido en aceite	105 (A)	250	200
Seco	105 (A)	180	180
	120 (E)	250	200
	130 (B)	350	200
	155 (F)	350	200
	180 (H)	350	200
	200	350	200
	220	350	200

*Nota 1.* En el caso de arrollamientos construidos con aleaciones de aluminio de alta resistencia a la tracción, se pueden permitir valores máximos de temperatura más altos por acuerdo entre fabricante y comprador, pero que no superen los correspondientes al cobre.

*Nota 2.* Cuando se utilicen otros sistemas de aislamiento diferentes de la clase térmica A en transformadores sumergidos en aceite, se pueden permitir valores de temperatura máxima diferentes por acuerdo entre fabricante y comprador.



### T60, T35, 845 Transformer Protection Systems

Delivering fast, adaptive, sensitive and secure protection for small, medium and large power transformer applications. Multi-line protection relays include advanced Health Diagnostics capabilities, coupled with advanced communications including IEC 61850 for remote data and engineering access to increase asset life and improve quality of service.

Transformer Protection



# CRITERIOS DE PROTECCIÓN FRENTE A CORTOCIRCUITOS



#### Internal Short Circuit

- Fast tripping with unrestrained differential element
- Enhanced selectivity with double break point transition characteristic
- Sensitive ground current differential element



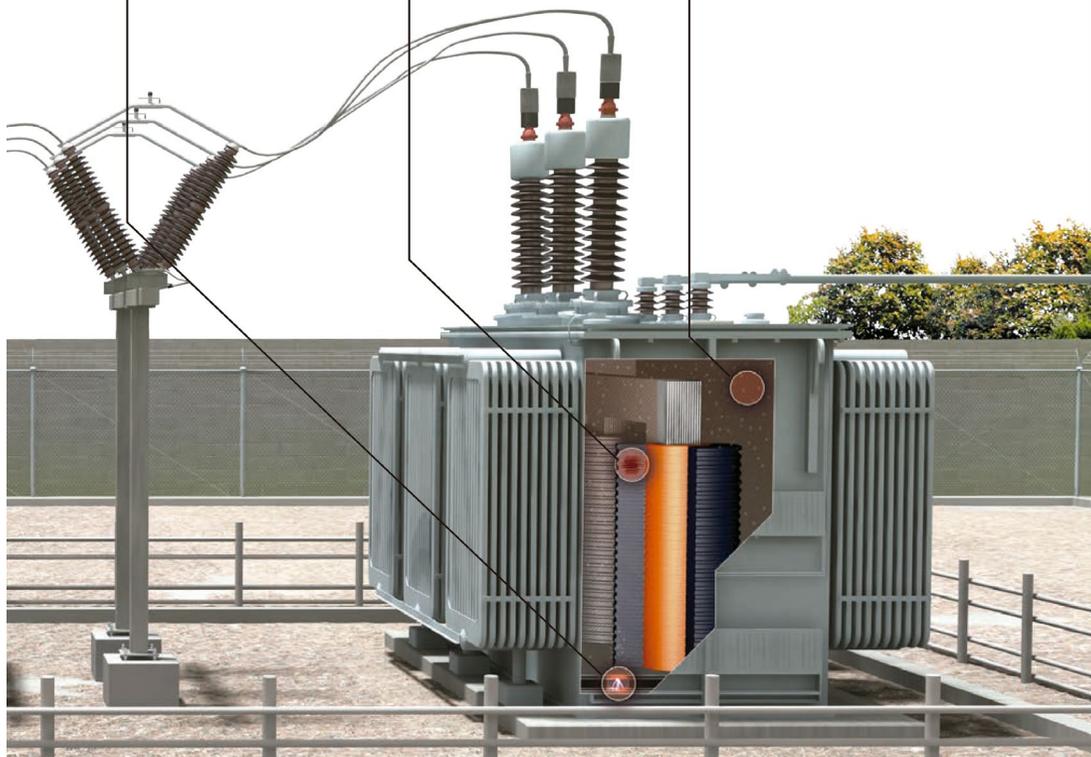
#### Winding Hot Spots

- Advanced algorithm based on IEEE C57.91-1995 and C57.96-1989
- Constant, value-based monitoring of winding temperatures
- Flexlogic for control of cooling fans



#### Top Oil Temperature

- Improve maintenance through oil temperature monitoring
- Detection of oil aging to avoid isolation faults
- Monitoring and alarming easily integrated with substation SCADA systems



La IEC 60076-5 proporciona el criterio a tener en cuenta para proteger térmicamente al transformador frente a los cortocircuitos externos que deben ser soportados durante 2 segundos. Suponiendo que el proceso de calentamiento del transformador es adiabático, es decir, sin transmisión de calor desde los arrollamientos y aislantes al medio refrigerante, se puede establecer la capacidad térmica del transformador mediante la característica:

$$I^2 \cdot t = I_{CC-max}^2 \cdot 2s = CTE$$



## CRITERIOS DE PROTECCIÓN SEGÚN IEC

Referencia	Actuación	Sobrecorriente	Observación
IEC 60076-7	NO TRIP	$I = 1,5 I_N$	Cíclica normal
IEC 60076-7	NO TRIP	$I = 1,8 I_N$	Emergencia de larga duración
IEC 60076-7	TRIP	$I = 2 I_N$	$t_{TRIP} < 1800 \text{ s}$
IEC 60076-5	TRIP	$I^2 \cdot t < (I_{cc-max})^2 \cdot 2$	

# Norma IEEE C37.91

- IEEE C37.91-2008 Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.
- IEEE C57.109-1993 Guide for Liquid-Immersed Transformer Through-Fault Current Duration.



## IEEE Guide for Protecting Power Transformers

IEEE Power Engineering Society

Sponsored by the  
Power System Relaying Committee



IEEE  
3 Park Avenue  
New York, NY 10016-5997, USA

30 May 2008

IEEE Std C37.91™-2008  
(Revision of  
IEEE Std C37.91-2000)

C37.91™

# CATEGORÍA DE TRANSFORMADORES – ANSI

## C57.12.00-2015

Para calcular la curva ANSI es necesario clasificar a los transformadores sumergidos en aceite, en categorías como se muestra en la Tabla 2.

<b>kVA NOMINALES DE PLACA (Devanado Principal)</b>		
<b>CATEGORÍA</b>	<b>MONOFÁSICOS</b>	<b>TRIFÁSICOS</b>
<b>I</b>	5-500	15-500
<b>II</b>	501-1,667	501-5,000
<b>III</b>	1,668-10,000	5,001-30,000
<b>IV</b>	arriba de 10,000	arriba de 30,000

Tabla 2. Categoría de transformadores para curvas de daño

# IEEE C57.12.01 : 2015 General requirements for dry-type distribution and power transformers

## Definición de Categorías para Transformadores Secos

**Table 14—Dry-type transformer rating<sup>10</sup> categories**

<b>Category<sup>a</sup></b>	<b>Single-phase (kVA)</b>	<b>Three-phase (kVA)</b>
I	1–500	15–500
II	501–1 667	501–5 000
III	1 668–10 000	5 001–30 000

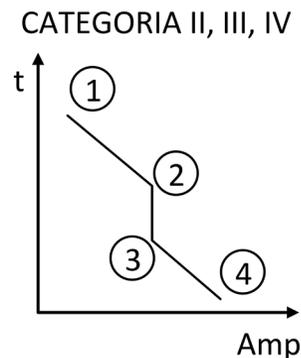
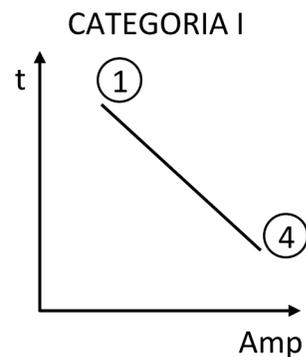
<sup>a</sup>Autotransformers of 500 kVA or less (equivalent two-winding) shall be included in Category I even though their nameplate power rating may exceed 500 kVA.

# Protección del transformador frente a sobrecargas y cortocircuitos externos – IEEE Std C37.91-2008

La “*Guide for Protecting Power Transformers*” establece las curvas Intensidad – Tiempo admisibles en los transformadores sumergidos en aceite, con el fin de evitar daños mecánicos y térmicos por efecto de sobrecargas o cortocircuitos , ocasionados en los circuitos, alimentados por el transformador.

La categoría del transformador define a forma de la forma de la curva ANSI y los puntos deben calcular como se indica en la *Tabla 3*.

**Tabla 3. Determinación de puntos coordinados t-i para definir la curva ANSI de un transformador**



PUNTO	CATEGORIA	TIEMPO	CORRIENTE
1	I	$T = 1250(Zt)^2$	$I = \frac{\ln}{Zt}$
	II, III, IV	$T = 2$	
2	II	$T = 4.08$	$I = \frac{\ln}{Zt} \times 0.7$
	III, IV	$T = 8.0$	$I = \frac{\ln}{Zt + Zs} \times 0.5$
3	II	$T = 2551 \times (Zt)^2$	$I = \frac{\ln}{Zt} \times 0.7$
	III, IV	$T = 5000 \times (Zt + Zs)^2$	$I = \frac{\ln}{Zt + Zs} \times 0.5$
4	I, II, III, IV	$T = 50$	$I = \ln \times 5$
PARTE DE LA CURVA TERMICA	I, II, III, IV	$T = 60$	$I = \ln \times 4.75$
		$T = 300$	$I = \ln \times 3$
		$T = 1800$	$I = \ln \times 2$

# Determinación de puntos coordinados t-i para definir la curva ANSI de un transformador

- T tiempo en segundos
- I corriente en amperes
- $Z_t$  impedancia del transformador referida a su capacidad OA, expresada en p.u.
- $Z_s$  impedancia equivalente del sistema hasta el punto de conexión de este con el transformador, referida a la capacidad OA del transformador y expresada en p.u.
- $I_n$  corriente nominal del transformador en su capacidad OA, expresada en amperes

# Impedancia mínimo para curvas de daño

Al calcular los puntos de la curva ANSI es necesario verificar que la impedancia del transformador no sea menor a las indicadas en la Tabla 4, además, dependiendo de la conexión del transformador los valores de las curvas se deben multiplicar por el factor ANSI de la Tabla 5.

<b>IMPEDANCIAS MÍNIMAS</b>		
<b>Monofásico kVA</b>	<b>Trifásico kVA</b>	<b>Impedancia mínima <math>Z_t</math> en por unidad en base a los kVA del transformador.</b>
5-25	15-75	0.0250
37.5-100	112.5-300	0.0286
167-500	500	0.0400

Tabla 4. Impedancias mínimas para curva de daño





# PROTECCIÓN DE SUBESTACIÓN AÉREA



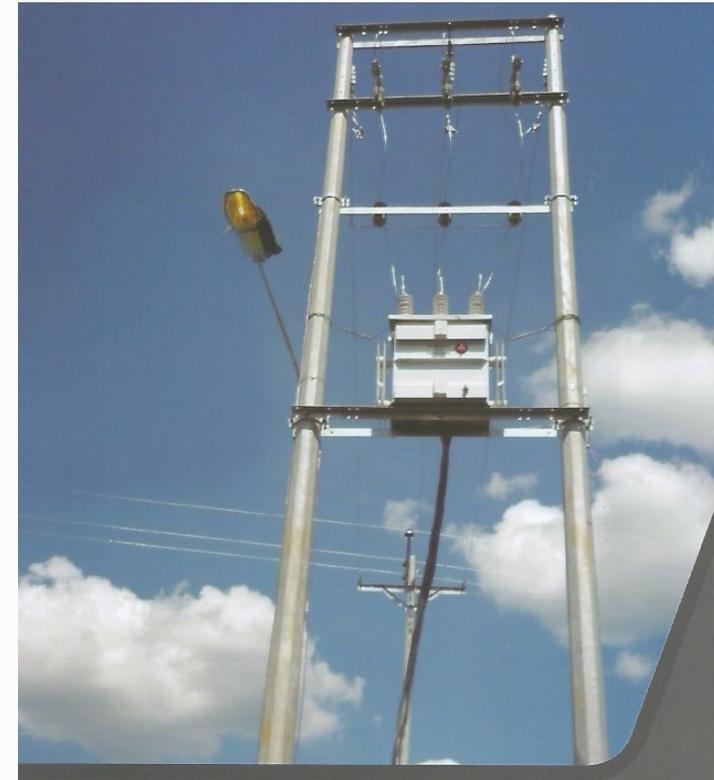
- Protección contra cortocircuitos en MT.
- Protección de BT.

# Protección de subestación aérea

## Protección de MT contra cortocircuitos



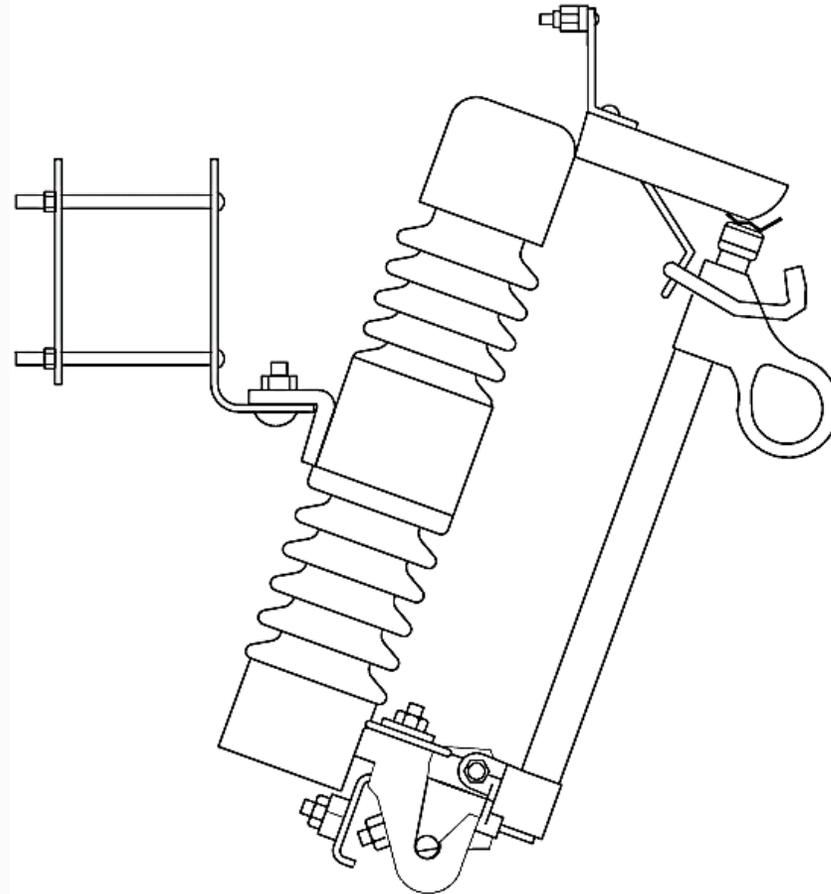
20 amp, Type K (ANSI) Cutout fuse link



# Fusible de expulsión (Fuse Link)

Constituido: por elemento fusible, alojado en el interior de un tubo protector aislante. Al producirse el arco que provocan gases que soplan el arco y lo extinguen.

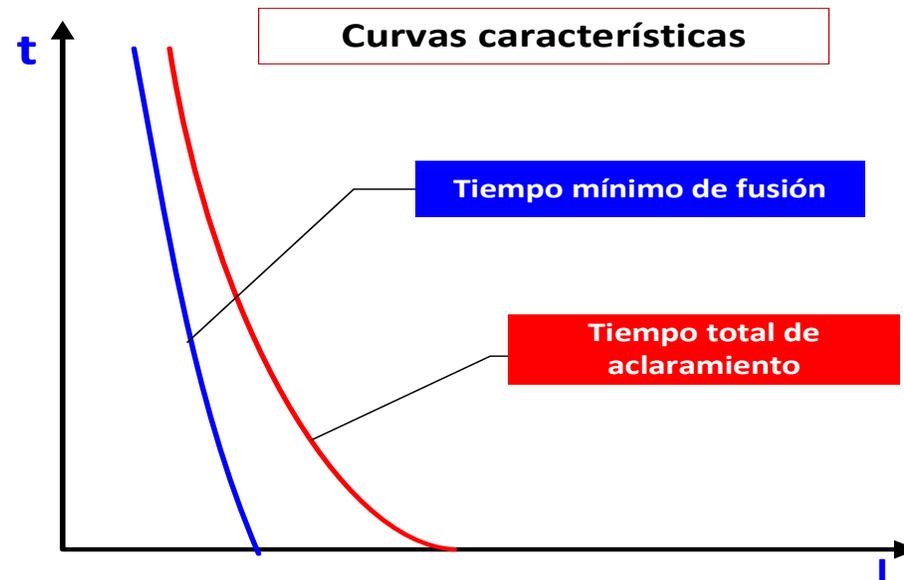
<u>CARACTERISTICAS BASICAS</u>	<u>CORROSION MODERADA</u>
TENSION NOMINAL DE LINEA	22,9 kV
CORRIENTE NOMINAL	100A
CAPACIDAD DE INTERRUPCION	
– SIMETRICA	8 kA r.m.s.
– ASIMETRICA	10 kA r.m.s.
NIVEL BASICO DE AISLAMIENTO (BIL)	150 kV
LINEA DE FUGA (MAYOR O IGUAL A...)	600 mm
LA BASE PORTAFUSIBLE TRABAJA CON LOS FUSIBLES DE CABEZA REMOVIBLE (NORMA PE-7-314)	



# Fusible de expulsión (Fuse Link)

Después de la fusión aparece un arco en el punto de interrupción.

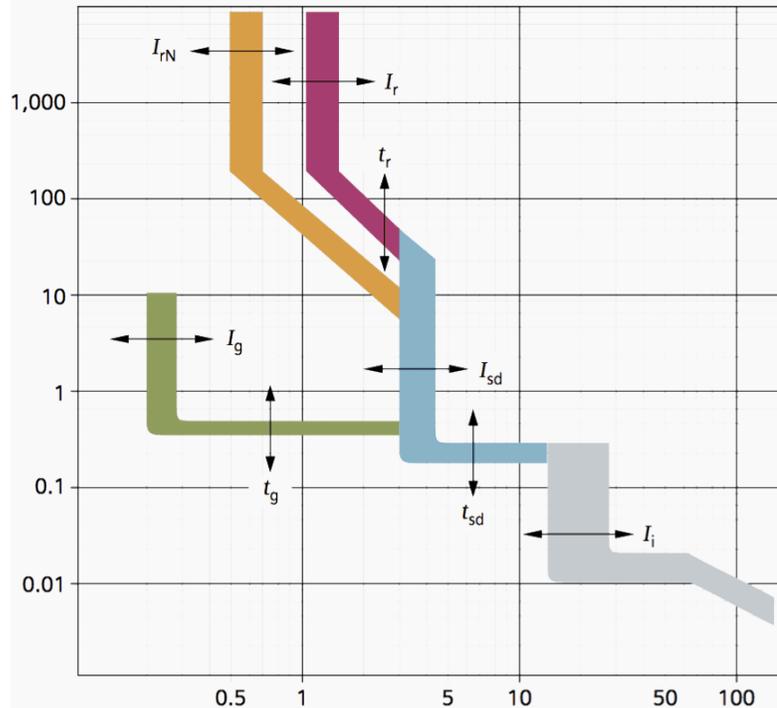
La interrupción de la corriente se da cuando el arco se extingue



# Capacidad de corriente permanente Fuse Link

H Rating	Continuous Current (A)	N Rating	Continuos Current (A)	EEI-NEMA K or T Rating	Continuous Current (A)	EEI-NEMA K or T Rating	Continuos Current (A)
1H	1	25	25	6	9	40	60*
2H	2	30	30	8	12	50	75*
3H	3	40	40	10	15	65	95
5H	5	50	50	12	18	80	120+
8H	8	60	60	15	23	100	150+
		75	75	20	30	140	190
<b>N Rating</b>		85	85	25	38	200	200
5	5	100	100	30	45		
8	8	125	125				
10	10	150	150	* Only when used in a 100- or 200-ampere cutout.			
15	15	200	200	+ Only when used in a 200-ampere cutout.			
20	20			Limited by continuous current rating of cutout.			

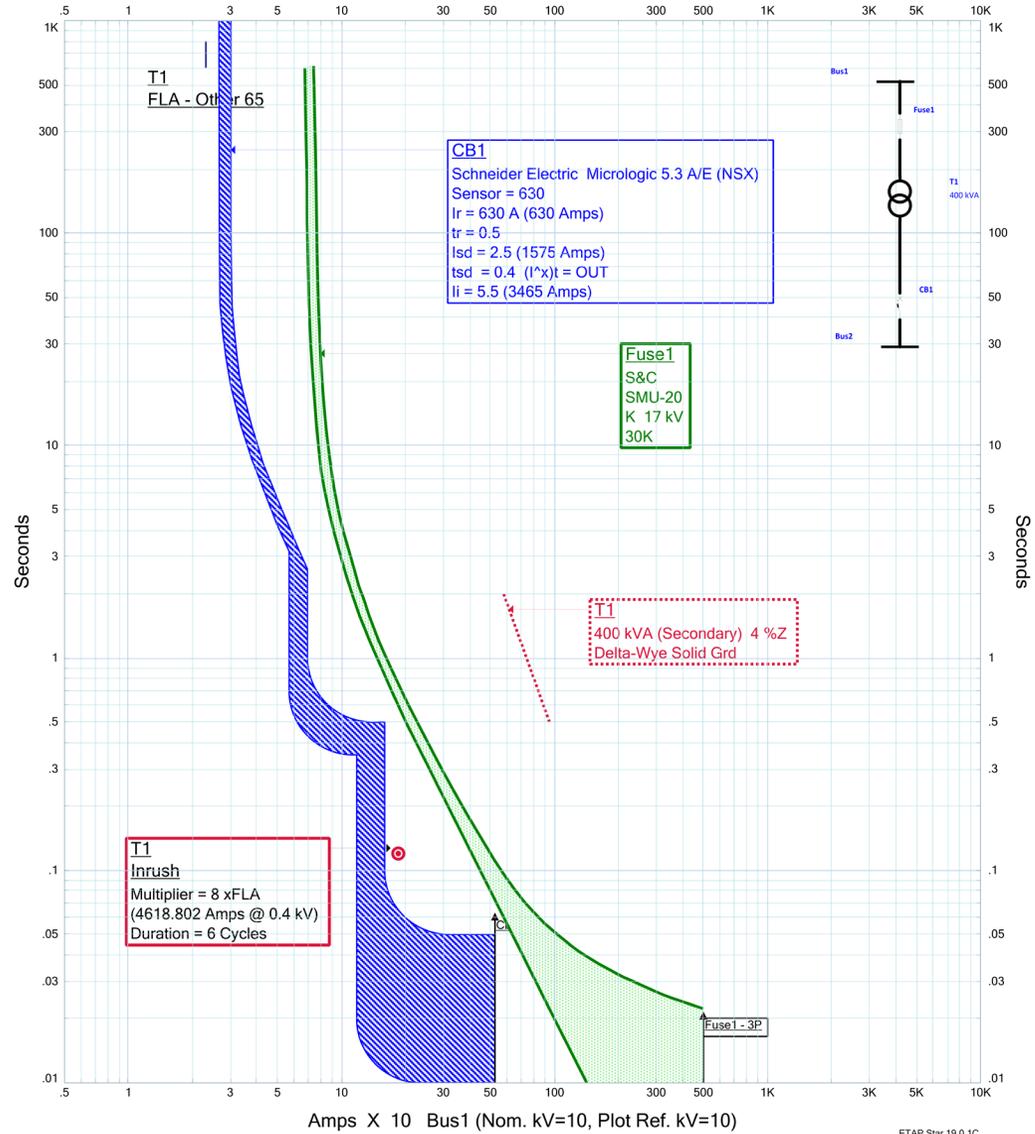
# Interruptor termomagnético



- L** **Overcurrent release "L"**  
Standard  $I^2t$   
optional  $I^4t$
- S** **Short-time delayed short-circuit release "S"**  
Standard  $t_{sd}$   
optional  $I^2t$
- I** **Instantaneous short-circuit release "I"**  
Standard On  
optional Off
- N** **Neutral conductor protection "N"**  
Standard  $0,5-1 \cdot I_r$   
optional Off
- G** **Earth-fault release**  
Standard  $t_E$   
optional  $I^2t$



Amps X 10 Bus1 (Nom. kV=10, Plot Ref. kV=10)





# Protección de subestaciones tipo caseta

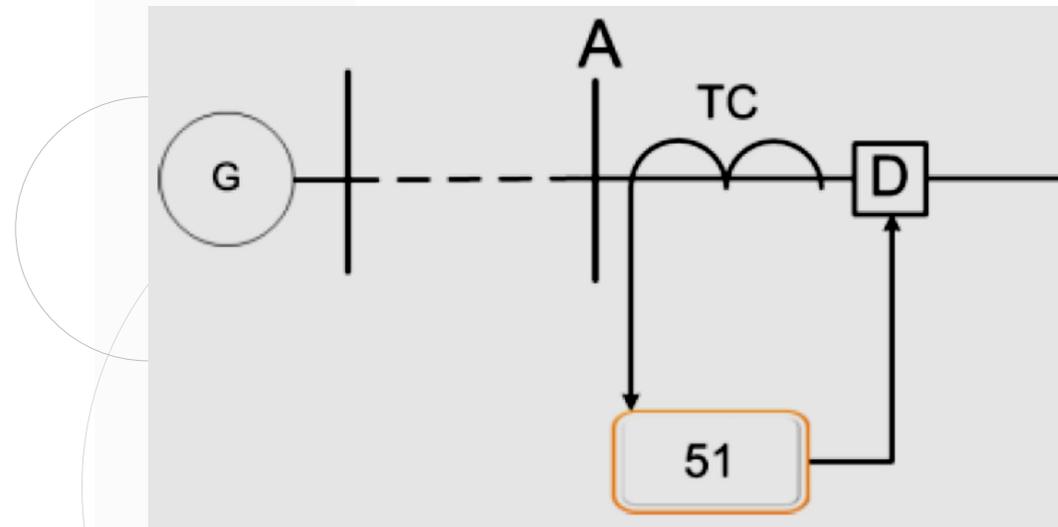
JUNIO

<DATE>



# Dispositivos de protección

- Relés de protección + interruptor automático.
- Seccionador bajo carga + Fusible.
- Fusible.



# Protección en MT

***Disyuntores y fusibles***

***Actuación***

***Relés / SCADA***

***Detección y toma de decisiones***

***Transformadores de instrumentación TP y TC***

***Adquisición y acondicionamiento de señales de tensión y corriente***



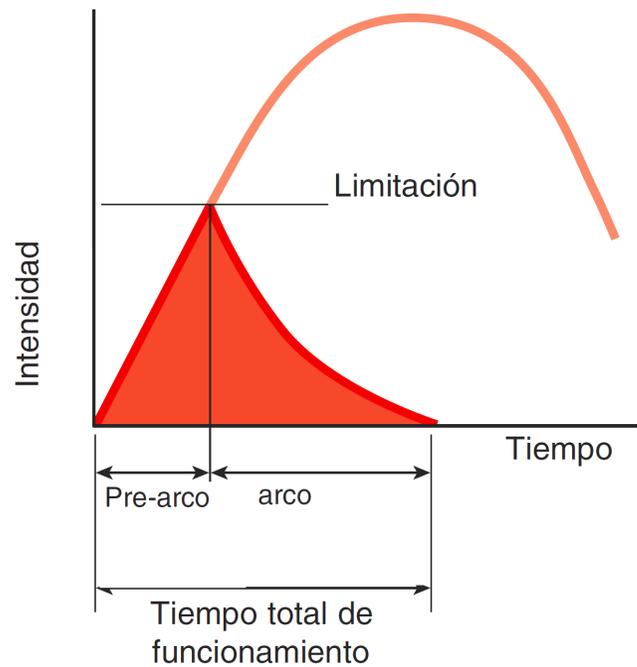
# Fusibles limitadores

---



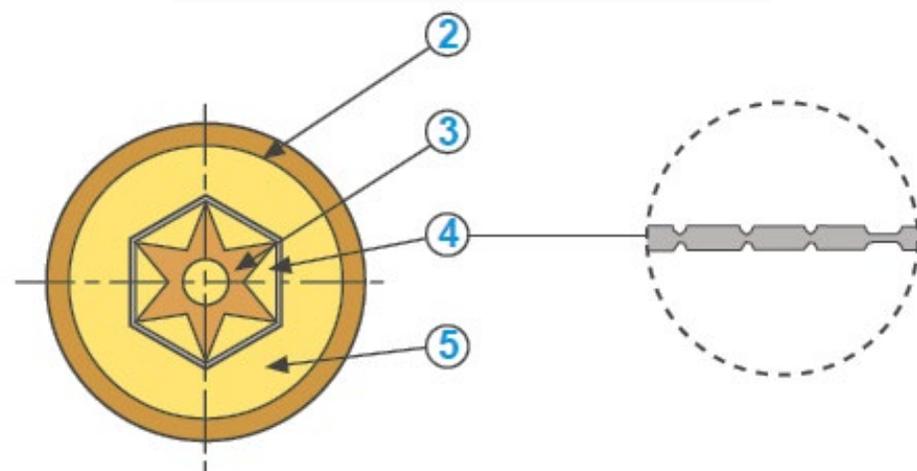
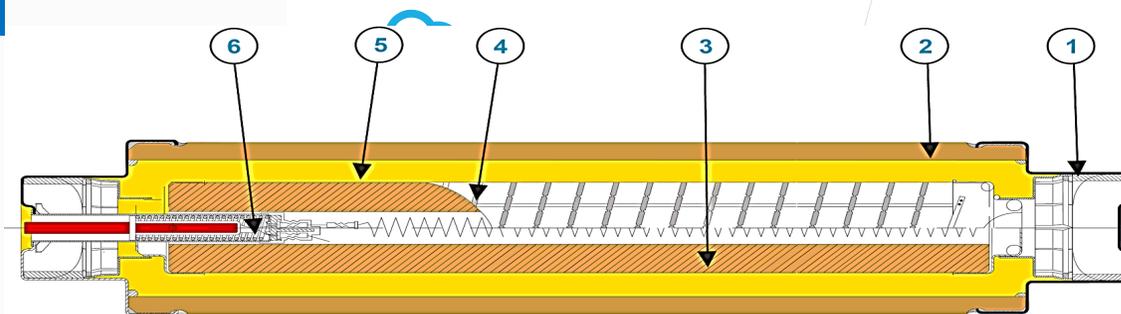


# Fusible



Proteger contra cortocircuito

## FUSIBLE LIMITADOR

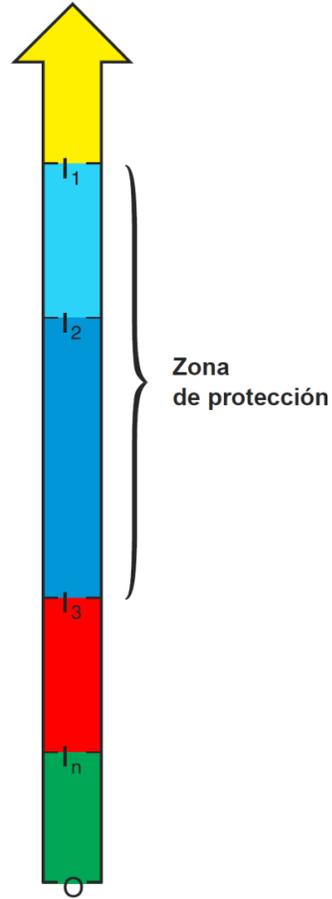


- 1 - caperuzas
- 2 - tubo exterior
- 3 - nucleo
- 4 - elemento fusible
- 5 - arena de extinción
- 6 - percutor térmico

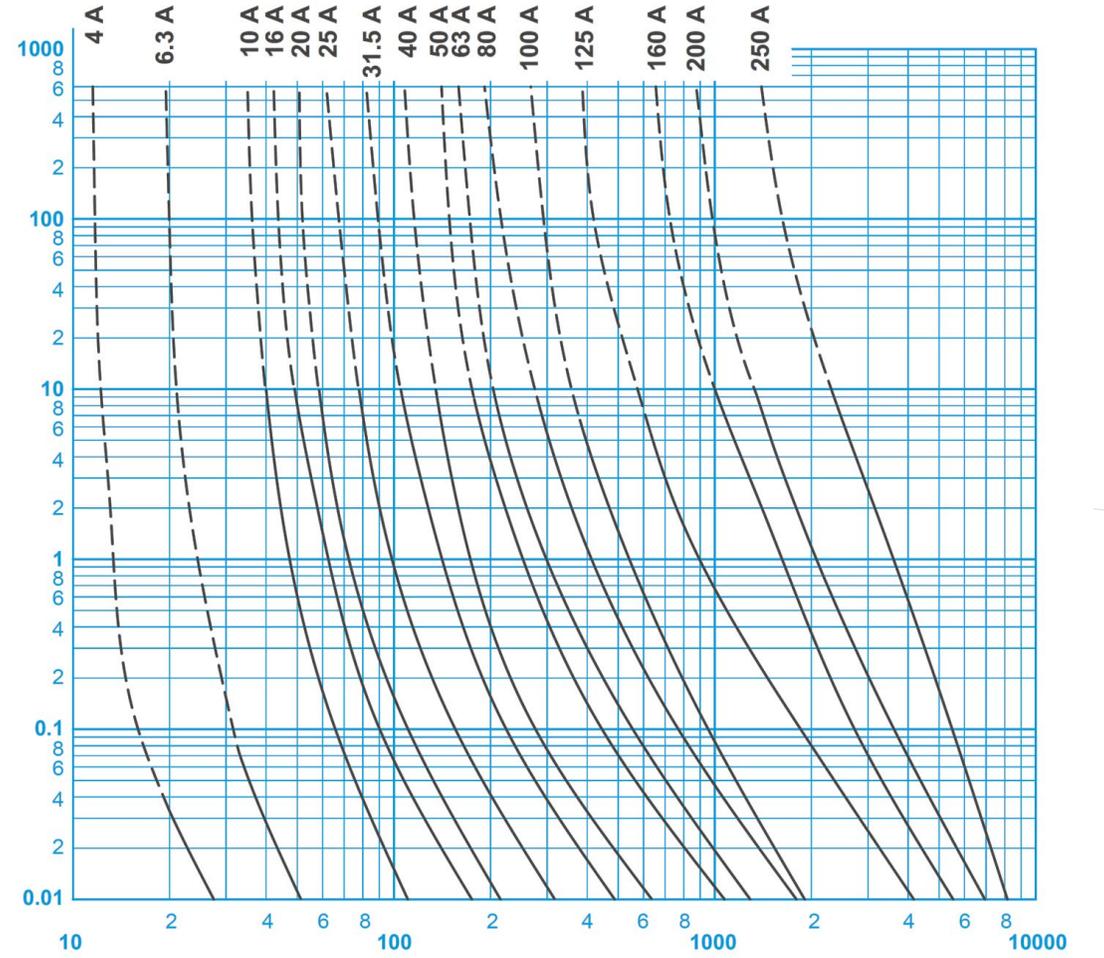
# Fusible

## Proteger contra cortocircuito

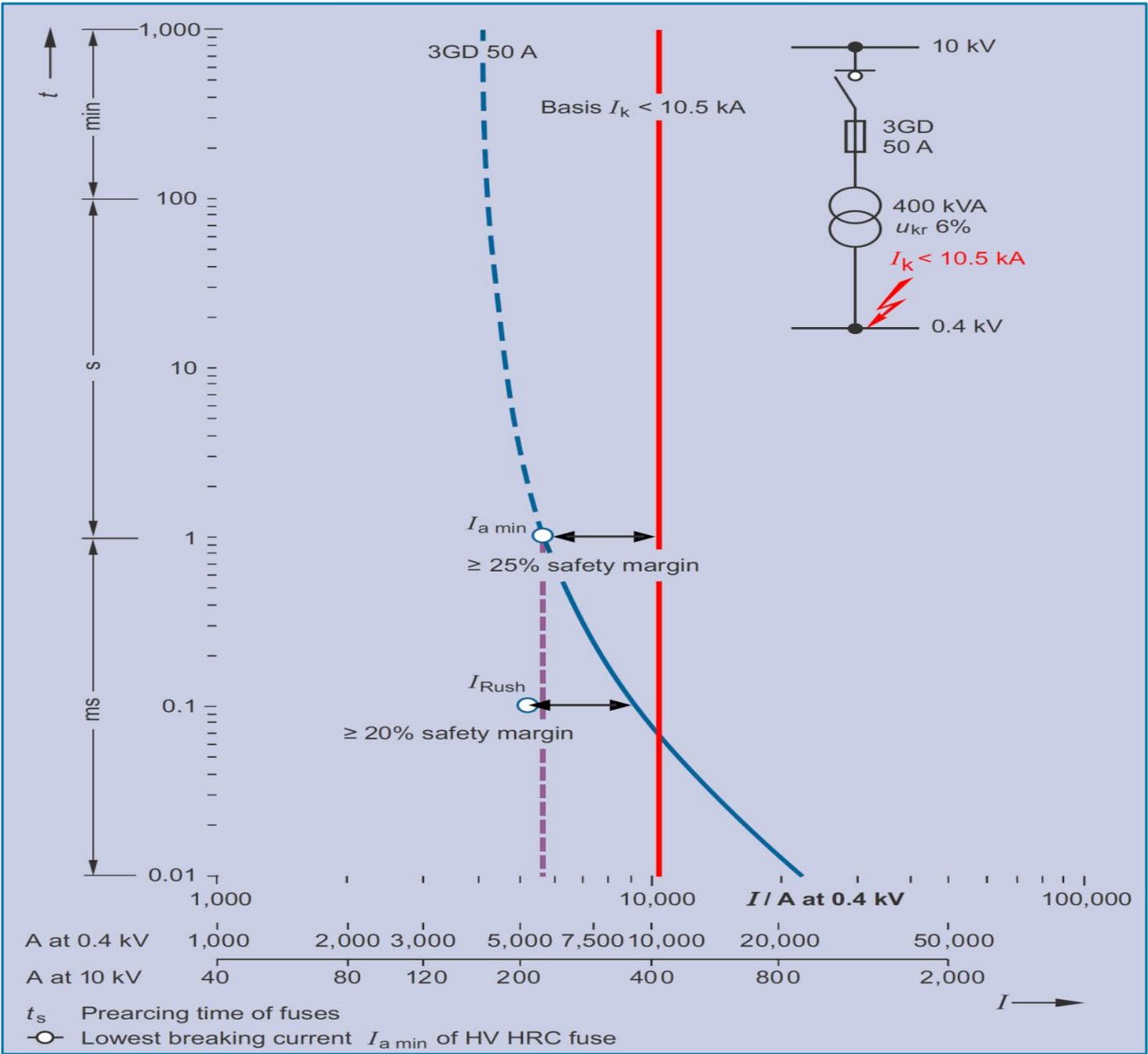
### FUSIBLE LIMITADOR



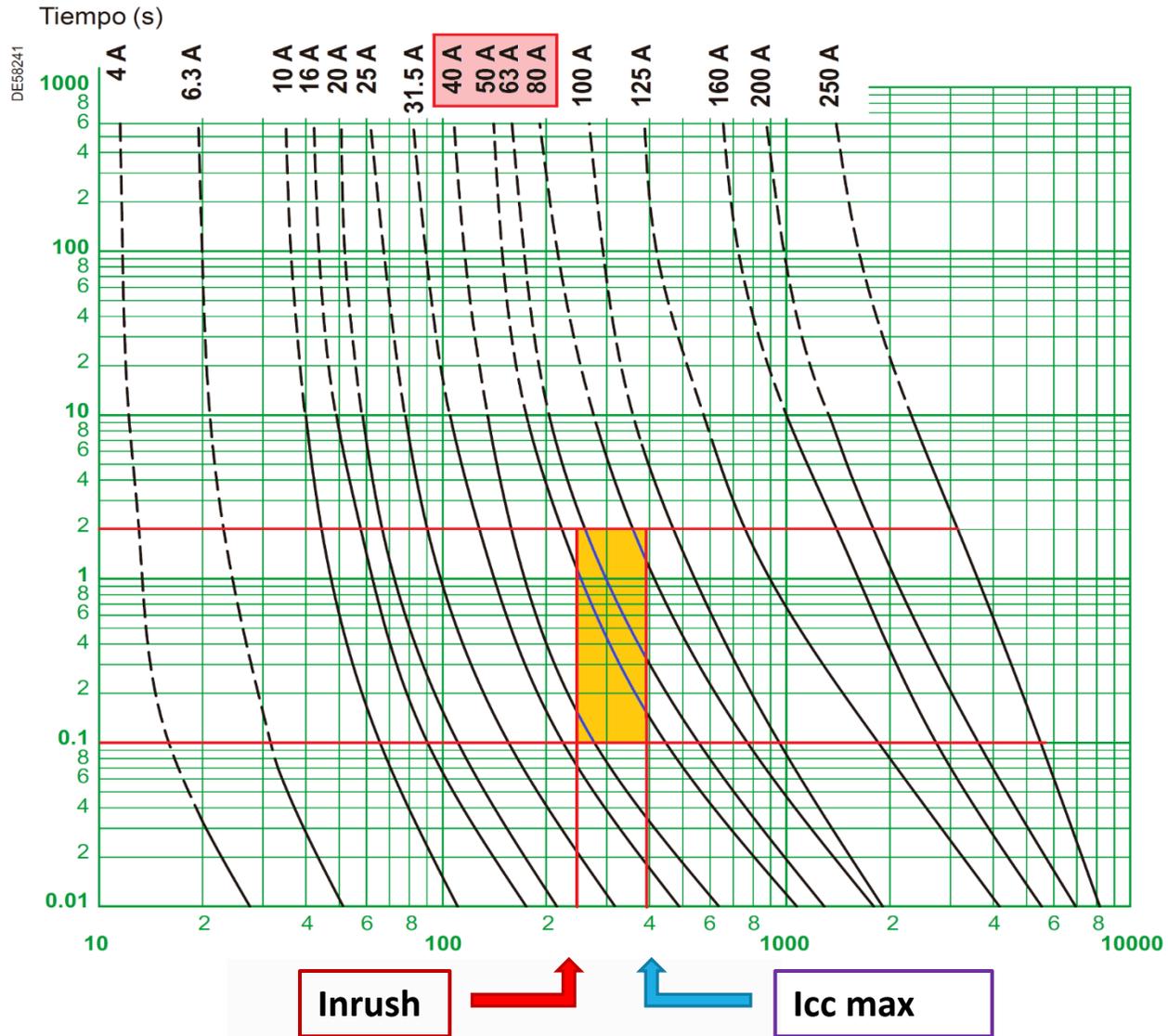
Tiempo (s)



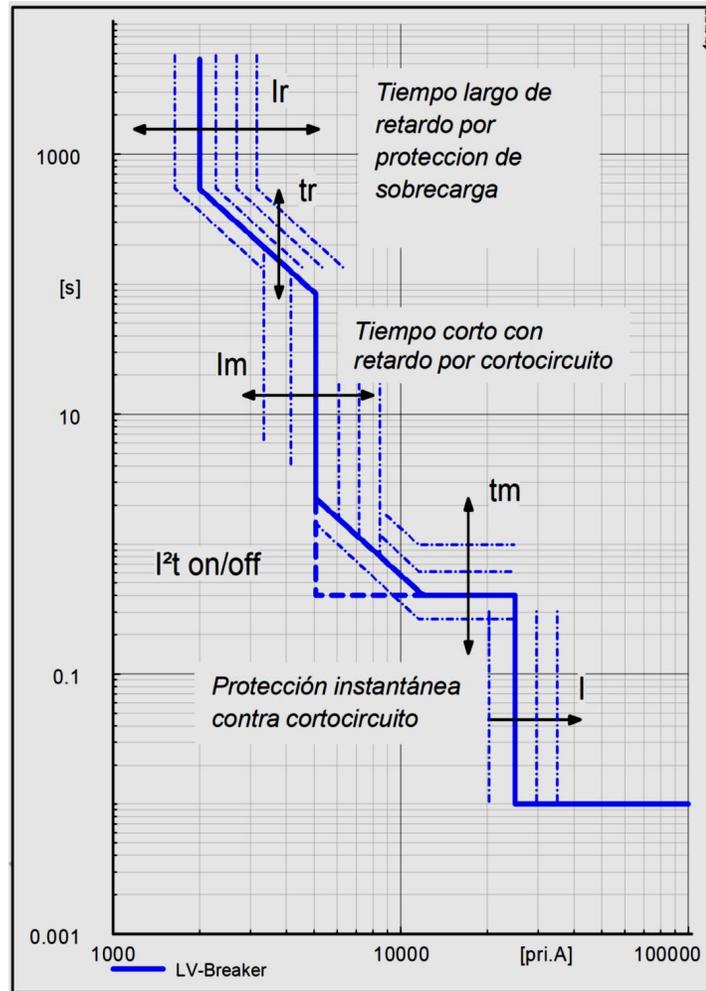
Intensidad (A)



# Curvas características tiempo-intensidad 3,6-7,2-12-17,5-24-36 kV

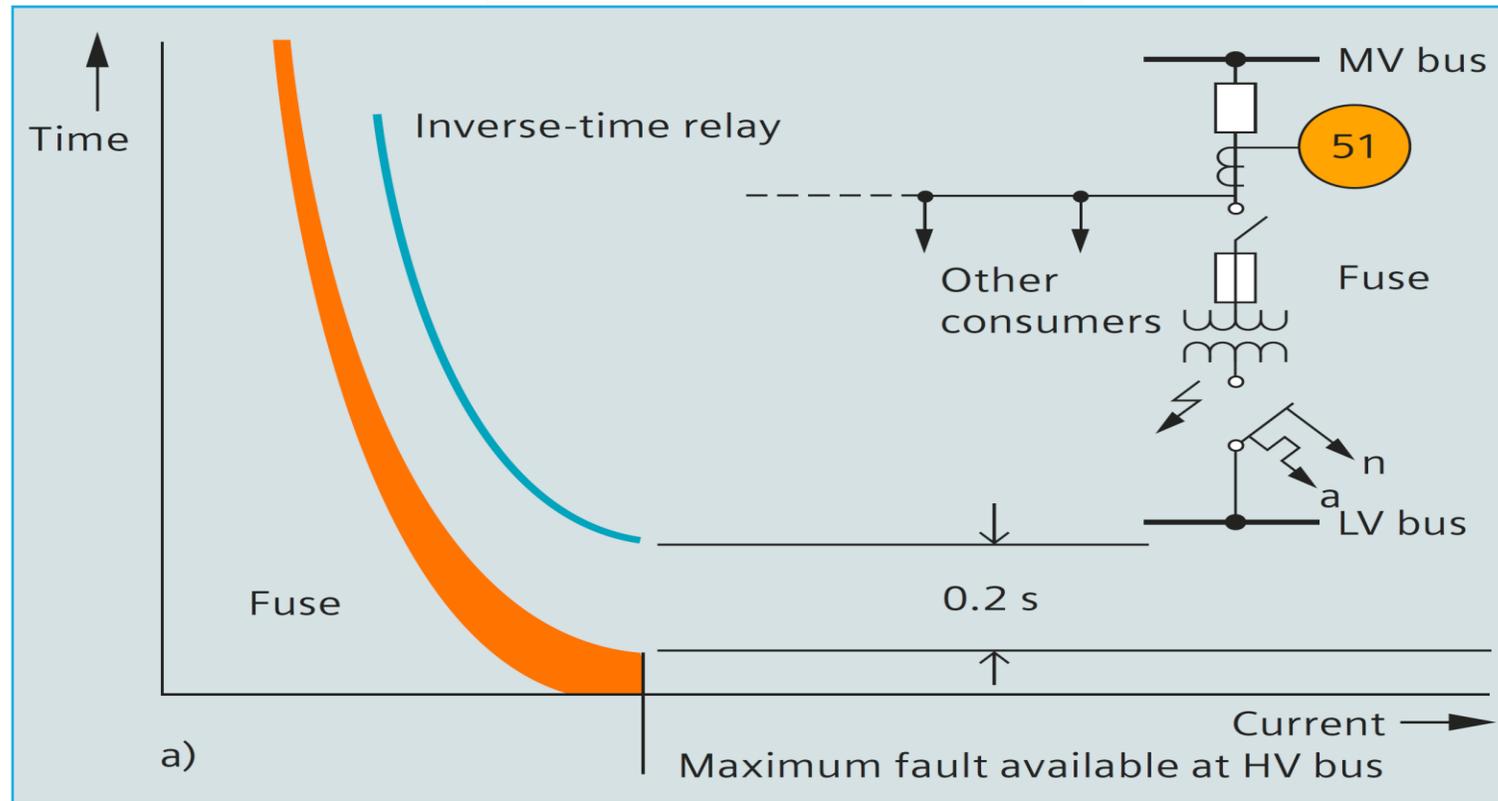


# Interruptores de bt

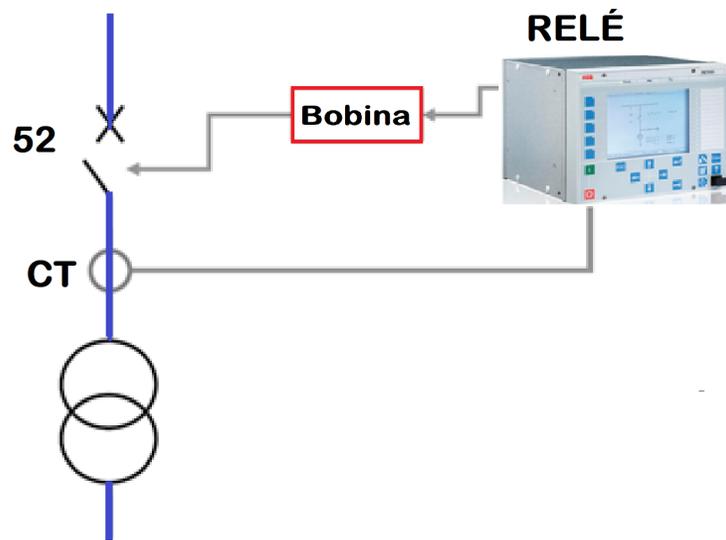


- *Tiempo largo (L) con retardo por protección de sobrecarga*
- *Tiempo con corto retardo (S) por cortocircuito –con o sin característica  $I^2t$*
- *Protección instantánea (I) contra cortocircuito.*

# Coordinación mt - bt



# Relés de sobrecorriente



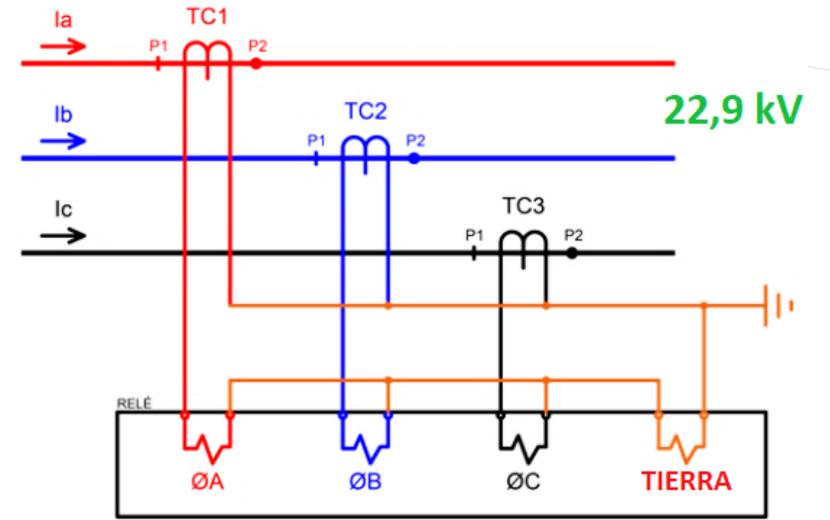
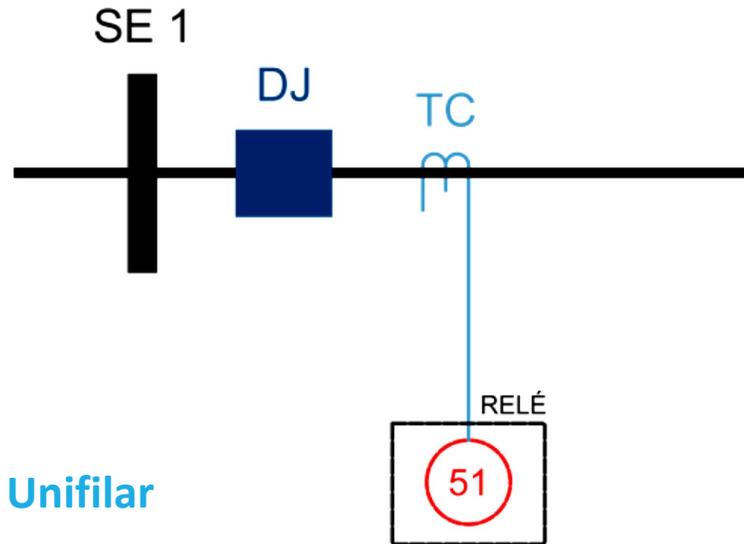
# Protección con relés

# Protección en un red Estrella 22,9 kV

Funciones de protección básicas recomendadas:  
contra sobre cargas (51P), cortocircuitos (50), fallas a tierra (50N/51N), desbalance (46).



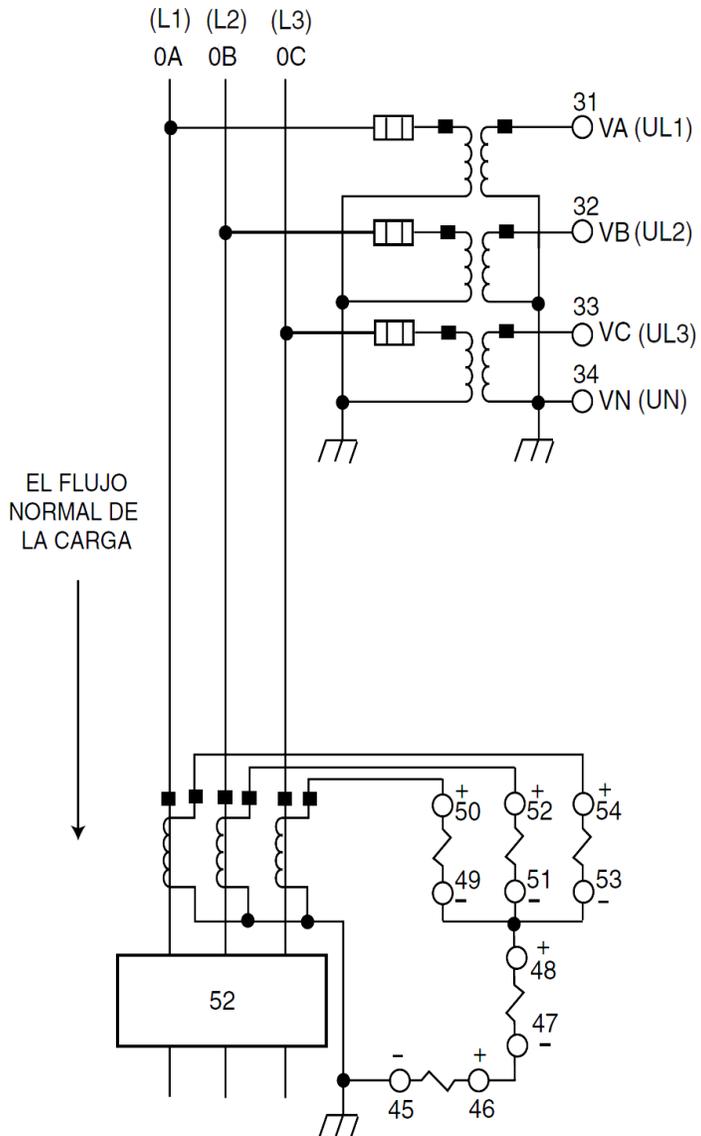
Deseable 67N



Multifilar

# Protección en un red Estrella 22,9 kV

## Recomendadas



USAR SENSIBLE DE FALLA A TIERRA  
LA CONEXIÓN RESIDUAL DE CTS

**51 P** : protección de sobrecorriente de fase con retardo en el disparo.

**50 P** : protección de sobrecorriente de fase sin retardo en el disparo.

**51 N** : protección de sobrecorriente de tierra con retardo en el disparo.

**50 N** : protección de sobrecorriente de tierra sin retardo en el disparo.

**46** : protección de sobrecorriente contra desbalance.

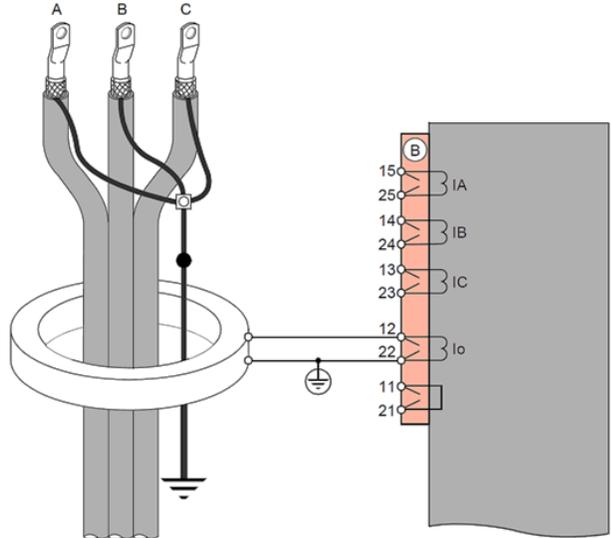
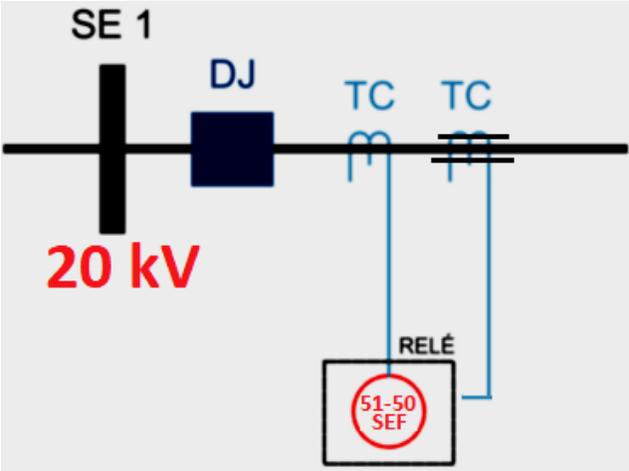
# Protección con relés

# Protección en un red Delta 20 / 10 kV



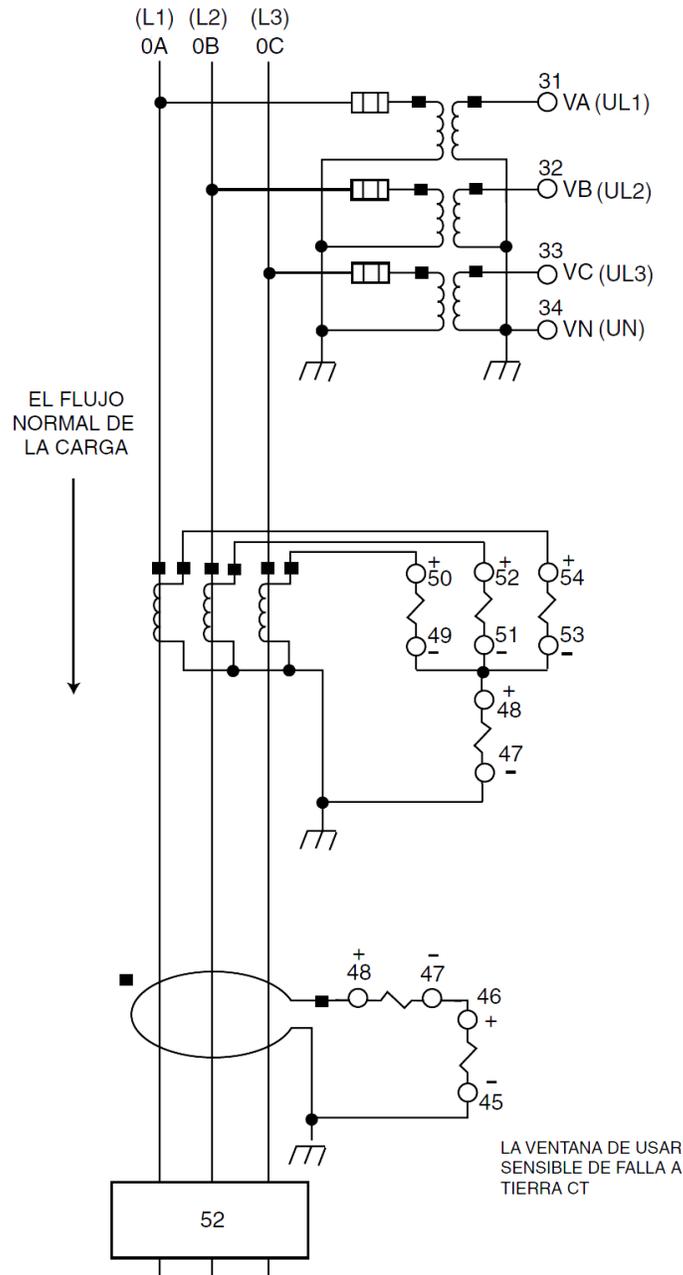
Unifilar

Multifilar



# Protección en un red Delta 20/10 kV

## Recomendadas



**51 P** : protección de sobrecorriente de fase con retardo en el disparo.

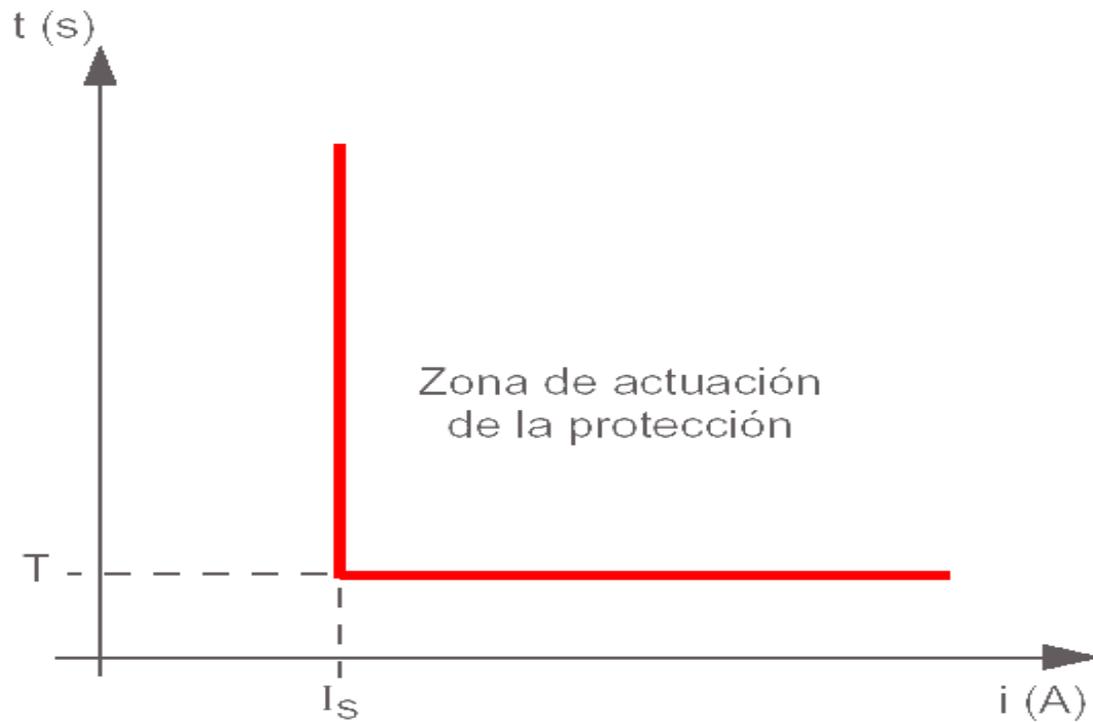
**50 P** : protección de sobrecorriente de fase sin retardo en el disparo.

**46** : protección de sobrecorriente contra desbalance.

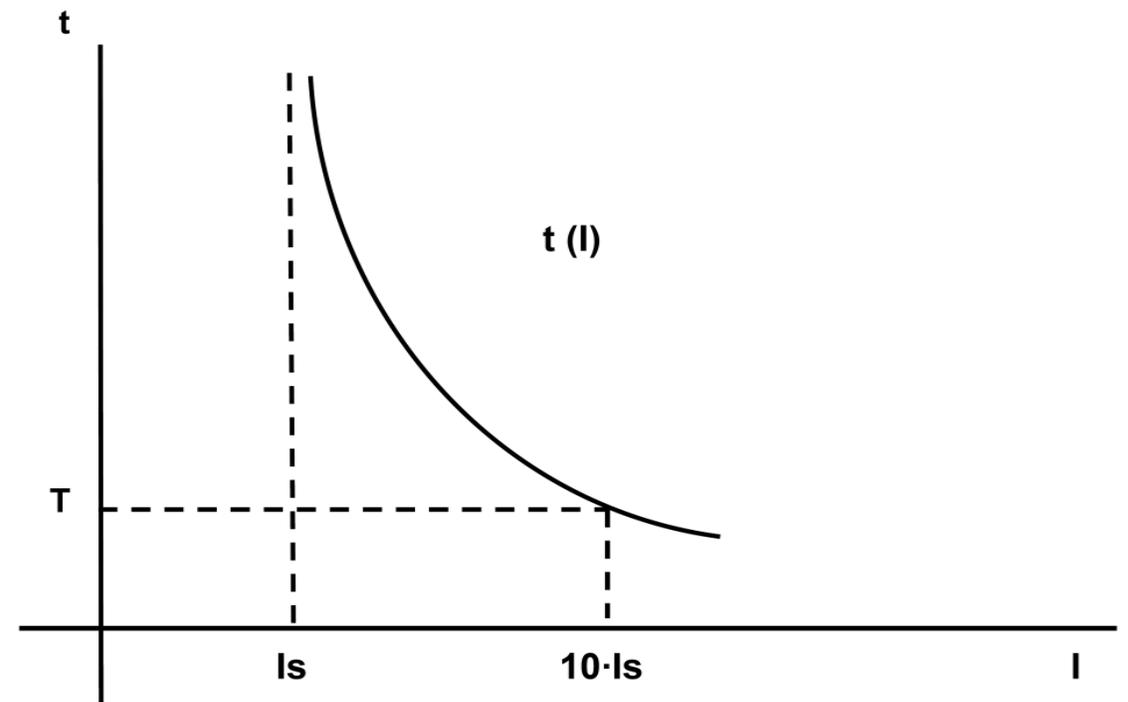
**SEF** : función sensitiva a tierra

# Características de operación de los relés

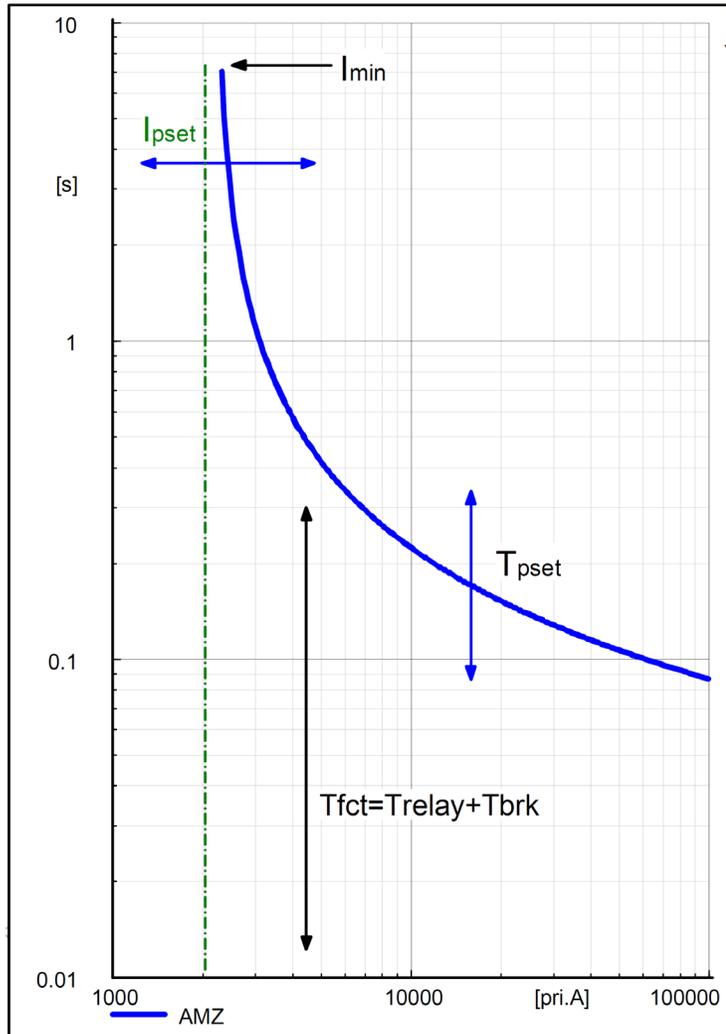
## TIEMPO DEFINIDO



## TIEMPO INVERSO



# Relés de sobrecorriente



- Tiempo total de limpieza de falla ( $T_{cf}$ ):

$$T_{fc} = T_{relay} + T_{brk}$$

$T_{relay}$ : tiempo de disparo del rele

$T_{brk}$ : Tiempo de disparo del interruptor

- Tiempo de disparo del rele ( $T_{relay}$ ):

$$T_{relay} = T_s + T_{set}$$

$T_s$ : tiempo de arranque

$T_{set}$ : tiempo ajustado

- Ajuste de corriente

$I_{pset}$ : rango de corriente ajustada

$I_{min}$ : Corriente de arranque

# NORMAS IEC

**NORMAL INVERSE** (Type A)

$$t = \frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02} - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

**VERY INVERSE** (Type B)

$$t = \frac{13.5}{(I/I_p)^1 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

**EXTREMELY INV.** (Type C)

$$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

**LONG INVERSE** (Type B)

$$t = \frac{120}{(I/I_p)^1 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

For All Characteristics

t	trip time in seconds
$T_p$	setting value of the time multiplier
I	fault current
$I_p$	setting value of the pickup current

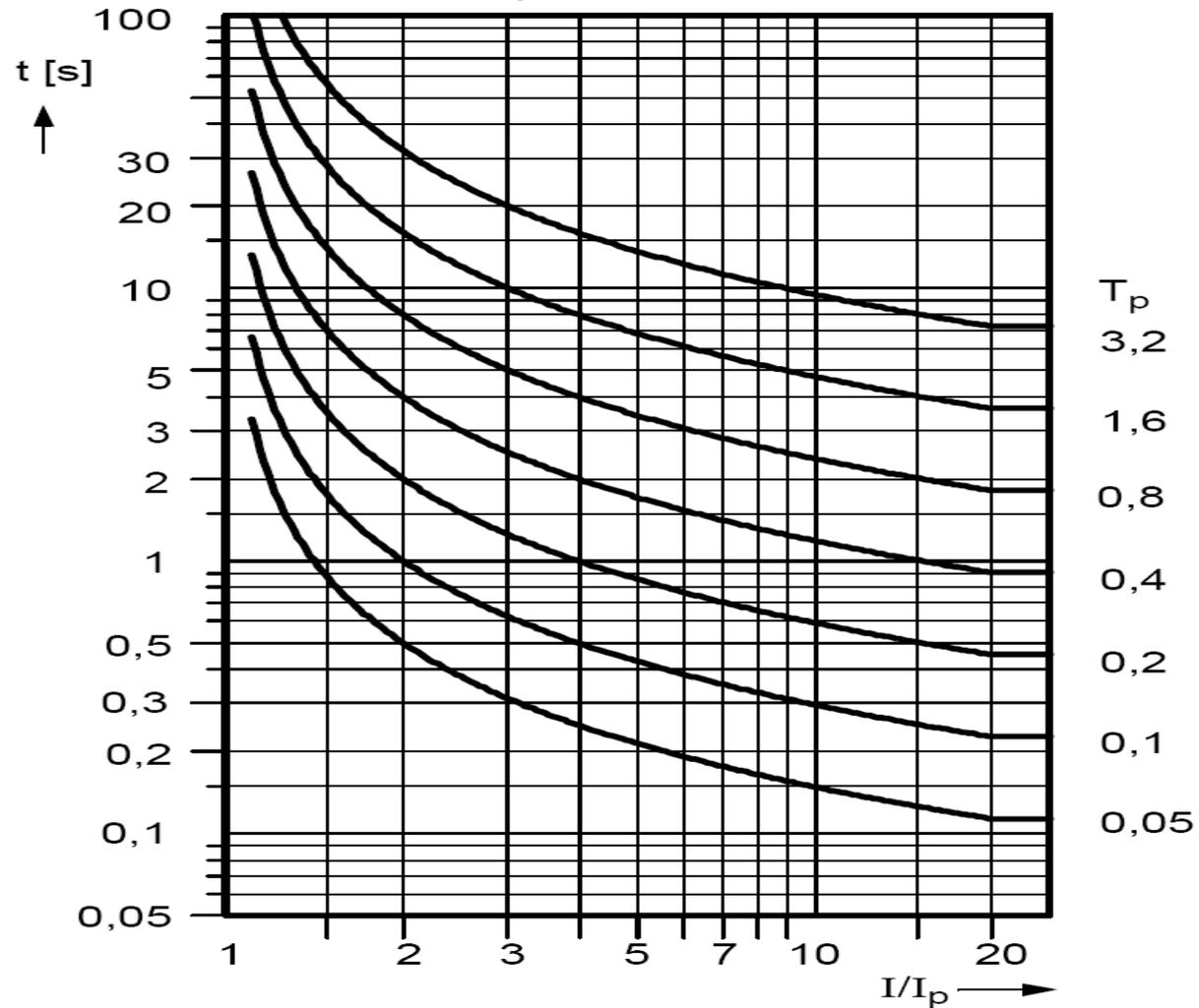
The trip times for  $I/I_p \geq 20$  are identical to those for  $I/I_p = 20$ .

Pickup threshold

approx.  $1.10 \cdot I_p$

**Según IEC 60255-3, Section 3.5.2 o BS 142**

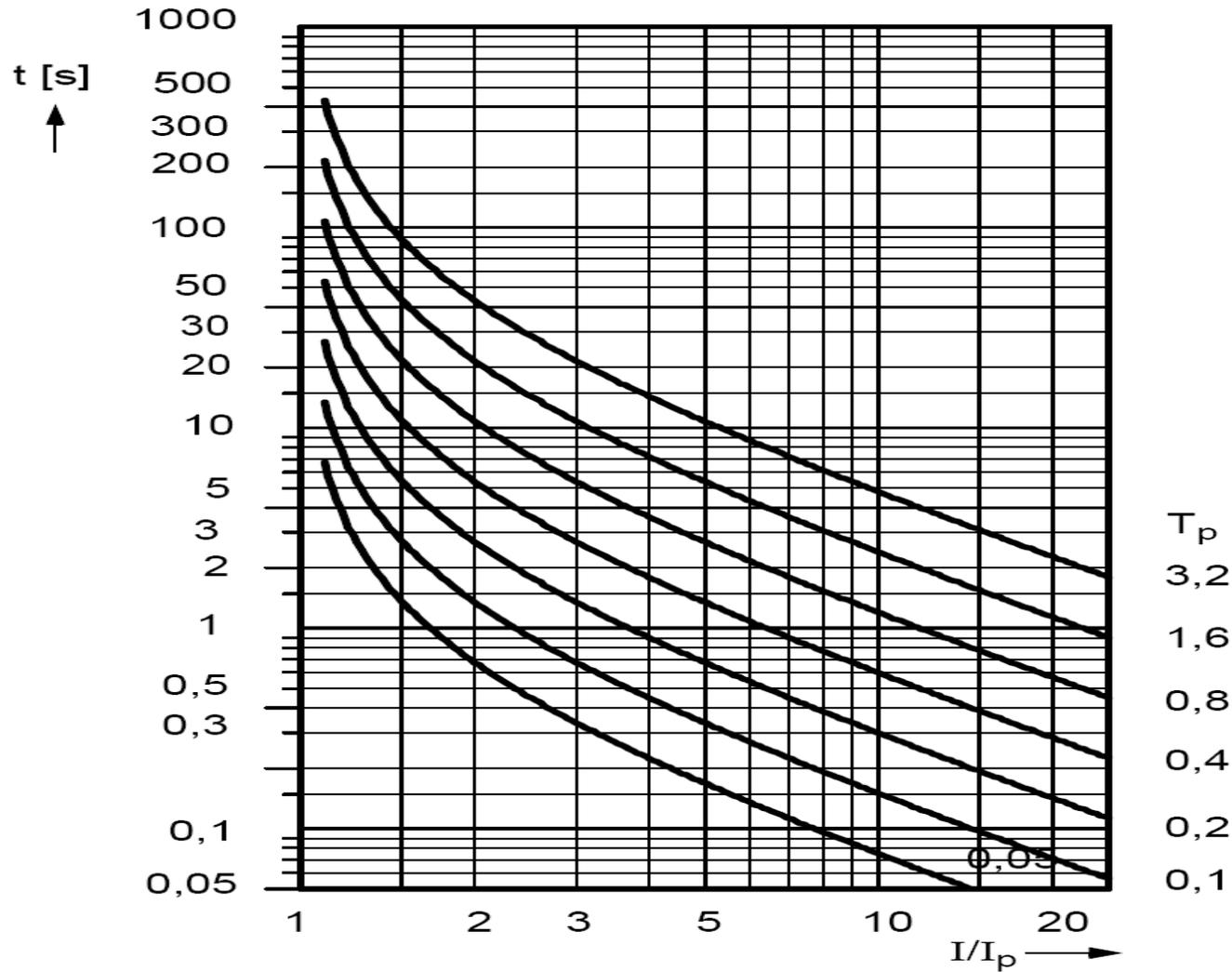
# Normalmente inversa IEC



Normal inverse:  
(Type A)

$$t = \frac{0,14}{(I/I_p)^{0,02} - 1} \cdot T_p \quad [s]$$

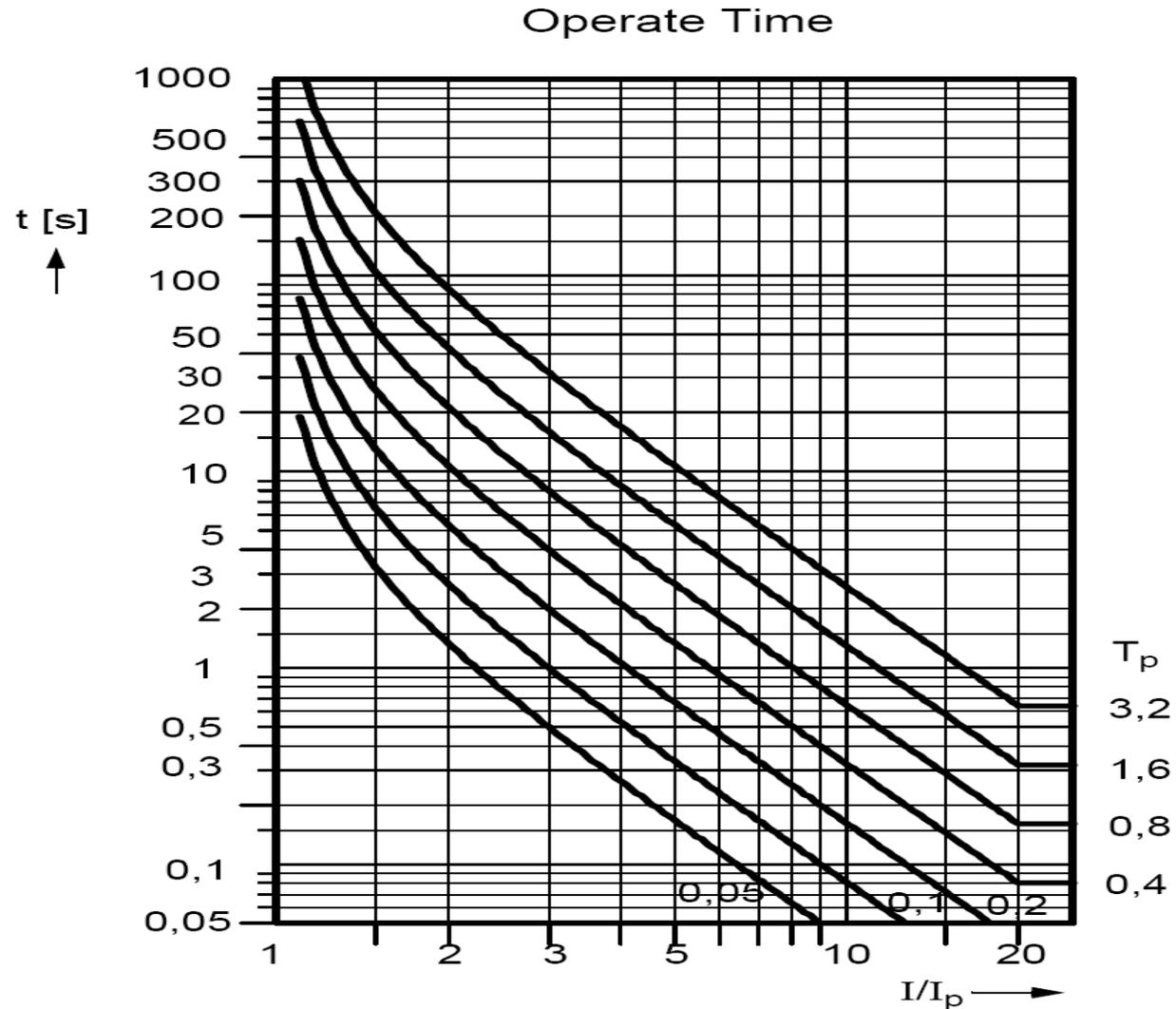
# Muy inversa IEC



**Very inverse:  
(Type B)**

$$t = \frac{13,5}{(I/I_p)^1 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

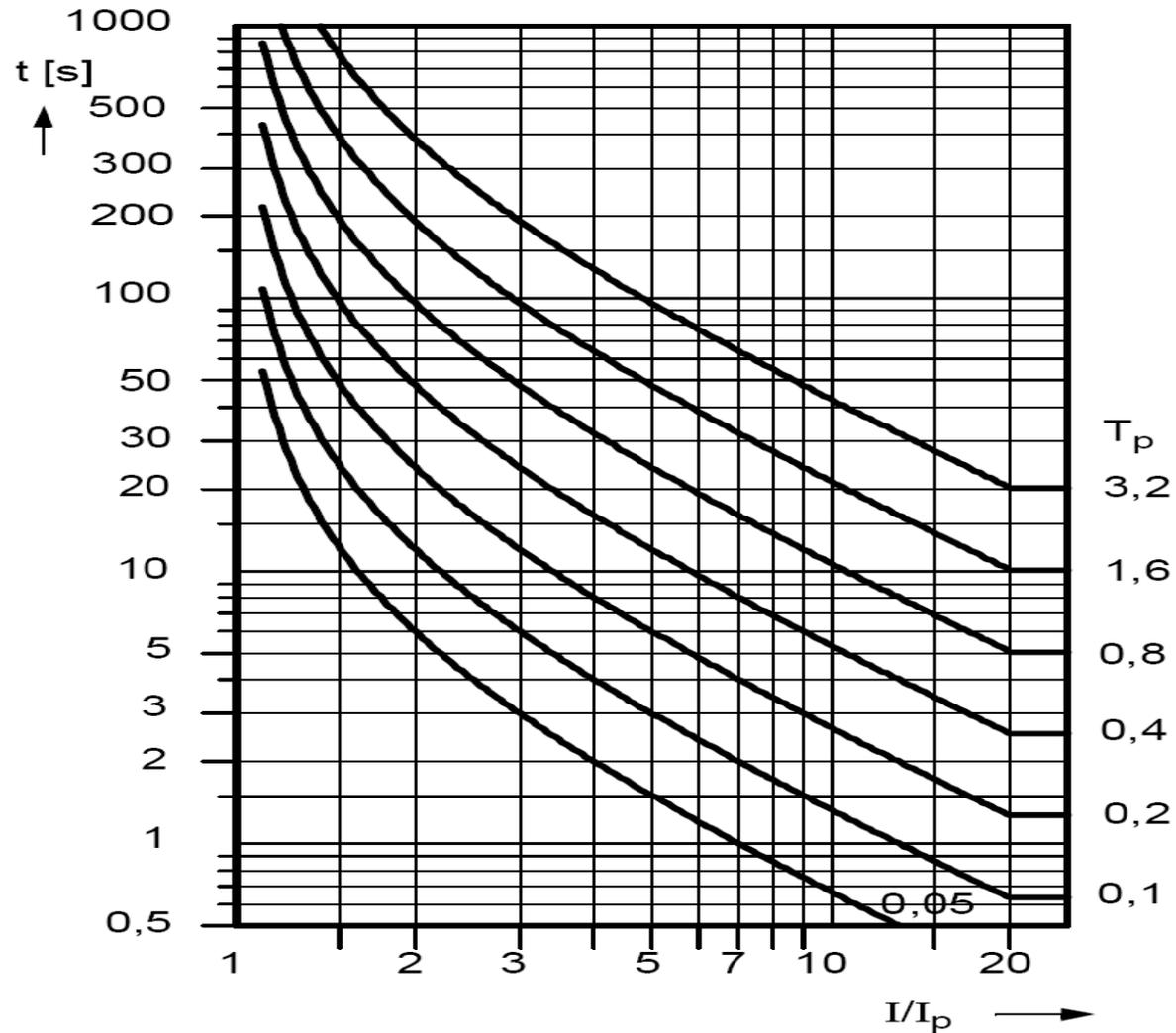
# Extremadamente inversa IEC



**Extremely inverse:  
(Type C)**

$$t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} \cdot T_p \text{ [s]}$$

# Inverso tiempo largo



Long inverse:  
(Type B)

$$t = \frac{120}{(I/I_p)^1 - 1} \cdot T_p \quad [\text{s}]$$

# Características de tiempo de disparo

## ANSI/IEEE C37.112

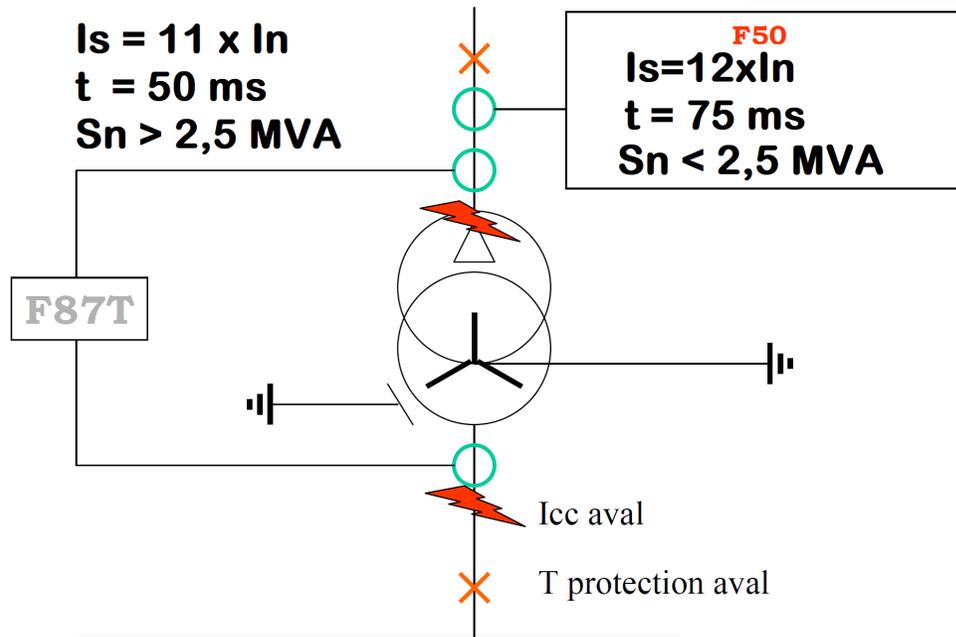
Equations Associated with U.S. Curves

Curve Type	Operating Time	Reset Time
U1 (Moderately Inverse)	$t_p = TD \cdot \left( 0.0226 + \frac{0.0104}{M^{0.02} - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left( \frac{1.08}{1 - M^2} \right)$
U2 (Inverse)	$t_p = TD \cdot \left( 0.180 + \frac{5.95}{M^2 - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left( \frac{5.95}{1 - M^2} \right)$
U3 (Very Inverse)	$t_p = TD \cdot \left( 0.0963 + \frac{3.88}{M^2 - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left( \frac{3.88}{1 - M^2} \right)$
U4 (Extremely Inverse) <sup>a</sup>	$t_p = TD \cdot \left( 0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left( \frac{5.67}{1 - M^2} \right)$
U5 (Short-Time Inverse)	$t_p = TD \cdot \left( 0.00262 + \frac{0.00342}{M^{0.02} - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left( \frac{0.323}{1 - M^2} \right)$

**tp** = Tiempo de operación en segundos  
**tr** = Tiempo de reposición en segundos (emulando un relé de disco)  
**TD** = Multiplicador de tiempo  
**M** = Corriente aplicada (número de veces de la I nominal)

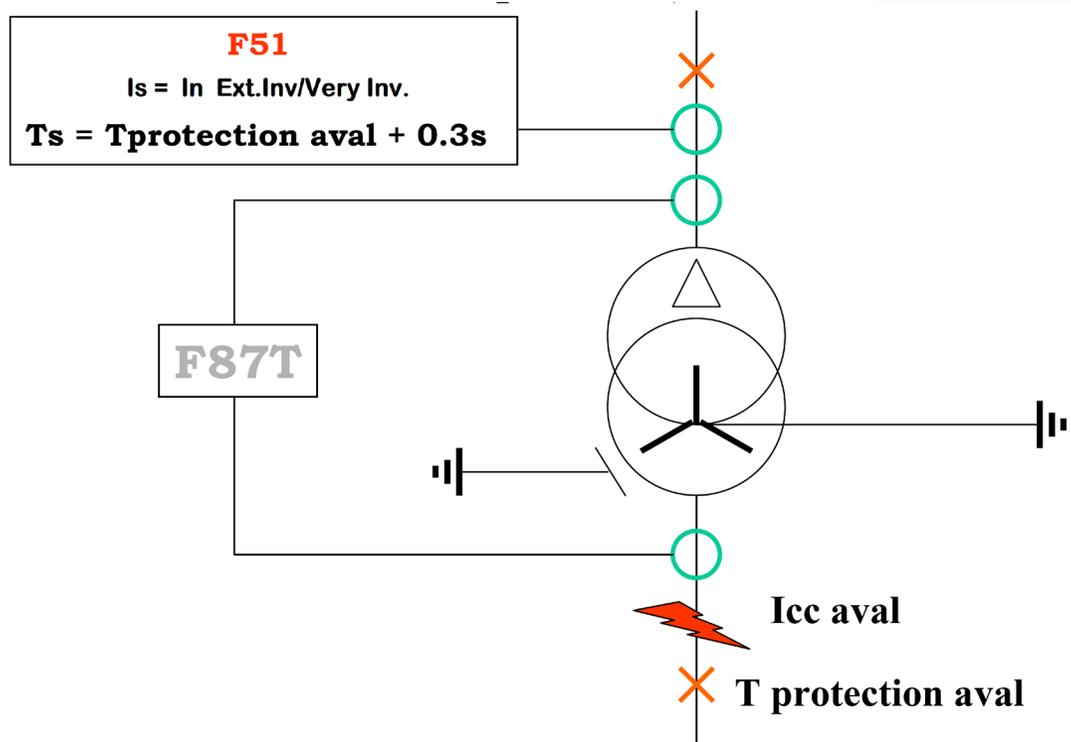
IEEE C37.112 - 2018, *IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays*

# DetECCIÓN DE CORTOCIRCUITOS ENTRE FASES (F50)



- Esta función detectará cortocircuitos entre fases “Aguas arriba” (en el primario del transformador).
- Este umbral se establecerá por encima de la corriente de INRUSH.

# Detección de sobrecargas y cortocircuitos entre fases secundarias (F51)

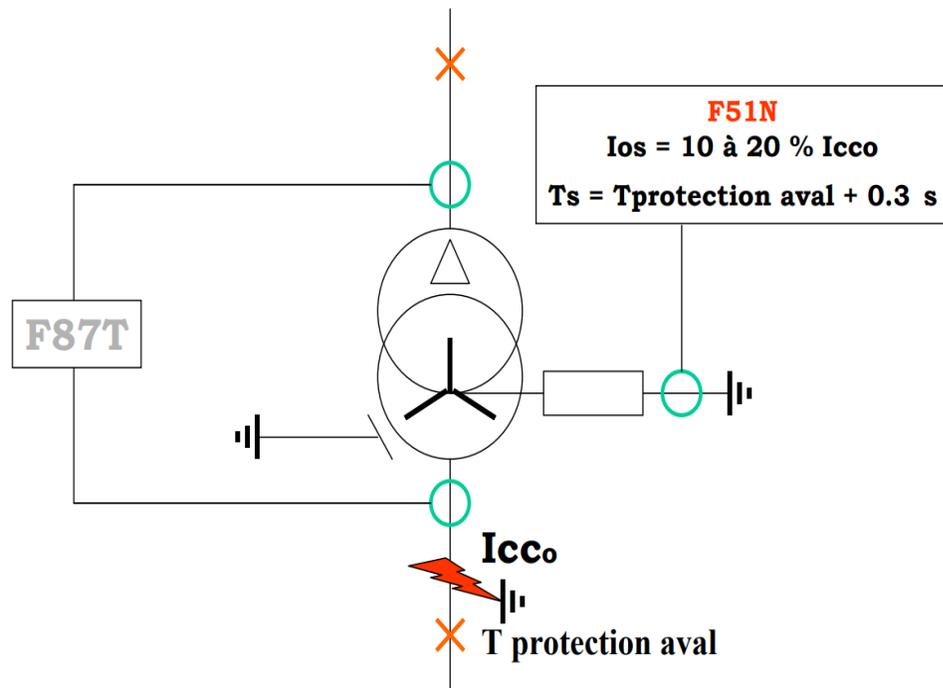


- Esta función detectará cortocircuitos entre fases “aguas abajo” (en transformador, pero medido en el lado primario).
- Este umbral se establecerá a la mitad de la corriente mínima de cortocircuito para un defecto en el procesador secundario

# DetECCIÓN DE CORTOCIRCUITOS ENTRE FASE Y TIERRA (F50N)

<b>Protección para regimenes de neutro:</b> - Neutro directo a tierra - Neutro a tierra por resistencia - Neutro a tierra por reactancia	<b>Transformador de Distribución (&lt;2,5 MVA)</b>	<b>Transformador de Potencia (&gt;2,5 MVA)</b>
<b>ANSI 51N (Sobrecarga con transformadores de intensidad, TI's)</b>	$10\% I_{TI} < I_S < 20\% I_{DEFECTO}$ $T = 275 \text{ ms}$	$10\% I_{TI} < I_S < 20\% I_{DEFECTO}$ $T = 475 \text{ ms}$
<b>ANSI 51N (Sobrecarga con toroidal)</b>	$I_S < 20\% I_{DEFECTO}$ $T = 275 \text{ ms}$	$I_S < 20\% I_{DEFECTO}$ $T = 475 \text{ ms}$
<b>ANSI 50 (Cortocircuito)</b>	Curva de tiempo independiente (Tiempo constante) $I_s = 4 \cdot I_{S(51N)}$ $T = 75 \text{ ms}$	Curva de tiempo independiente (Tiempo constante) $I_s = 4 \cdot I_{S(51N)}$ $T = 75 \text{ ms}$

# Protección general de tierra (F51N)



- El transformador, con tierra neutra, es un generador de energía homopolar para red en su conjunto, como tal, una protección amperimétrica colocada en el neutro defecto externo y se puede utilizar para proporcionar alivio para las protecciones de red.
- El umbral se establecerá del 10 al 20% en Transformar con un tiempo de 0,3 s más alto que la protección, inmediatamente aguas abajo.

# Gracias

[www.energiaingenieros.com](http://www.energiaingenieros.com)

[cchilet@energiaingenieros.com](mailto:cchilet@energiaingenieros.com)