



Fundamentos de lo moderno

Relé de protección

(Parte 1)

Tus presentadores

Terrence Smith

Terrence.Smith@GE.com

423-304-0843

Craig Wester

Craig.Wester@GE.com

678-591-5018

Agenda del curso

- Puesta a tierra del sistema
- Protección del sistema de energía
 - ¿Por qué proteger?
 - Componentes simétricos
 - Números de dispositivo ANSI/IEEE
- Transformadores de instrumentos
 - Transformadores de corriente
 - Transformadores de voltaje

Agenda del curso

- Fundamentos de retransmisión
- Métodos de protección comunes
- Protección del alimentador
 - Sobrecorriente de tiempo
 - Sobrecorriente instantánea
 - Sobrecorriente direccional
 - Fallo del interruptor
- Protección de autobuses
 - Alta impedancia
 - Baja impedancia
 - Enclavamiento de zona

Agenda del curso

- Protección del transformador
 - Fallas internas y externas
 - Causas de fallas en los transformadores
 - Diferencial porcentual
 - Irrupción del transformador y restricción del segundo armónico
 - Diferencial instantáneo
 - Falla a tierra restringida
 - Protección contra la sobretensión
 - Protección contra sobreexcitación

Agenda del curso

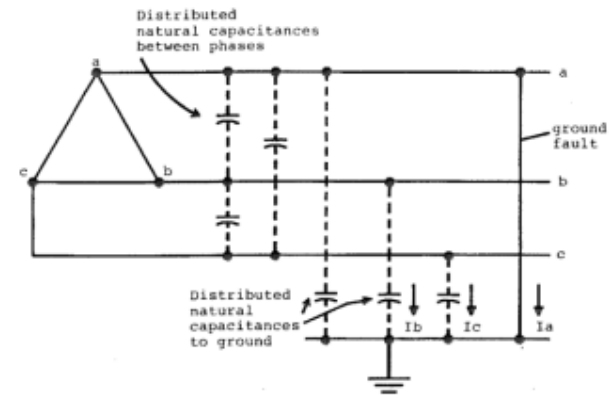
- Protección del motor
 - Tasas de fallas del motor
 - Protección del motor de inducción
 - Sobrecarga térmica
 - Sobretensión y subtensión
 - Desequilibrio actual
 - Falla a tierra
 - Cortocircuito
 - Diferencial
 - Monitoreo/Protección RTD
- Mitigación del arco eléctrico

Puesta a tierra del sistema

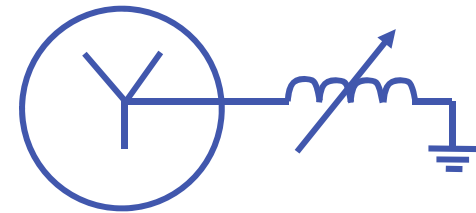
- Limita las sobretensiones
- Limita la diferencia de potencial eléctrico a través de objetos conductores de área local.
- Varios métodos
 - En superficie
 - Reactancia puesta a tierra
 - Conexión a tierra de alta impedancia
 - Conexión a tierra de baja impedancia
 - Sólidamente conectado a tierra

Puesta a tierra del sistema

1. Sin conexión a tierra: No se aplica ninguna conexión a tierra intencional al sistema; sin embargo, está conectado a tierra a través de conexiones naturales.
capacidad.



2. Reactancia conectada a tierra: la capacitancia total del sistema se cancela por una inductancia igual. Esto disminuye la corriente en la falla y limita el voltaje a través del arco en la falla para disminuir el daño.



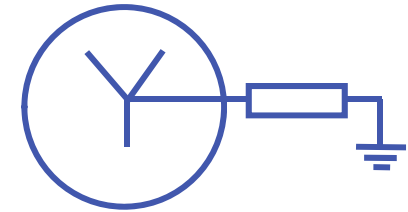
$$X_0 \leq 10 \cdot X_1$$

Puesta a tierra del sistema

3. Conexión a tierra de alta resistencia: limita la corriente de falla a tierra a 5A-10A. Se utiliza para limitar sobretensiones transitorias debidas a fallas a tierra por arco.

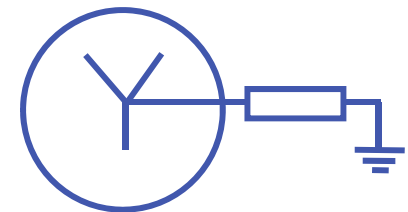
$$R_0 \leq X_{0c}/3, X_{0c} \text{ es cero capacitivo}$$

reactancia de secuencia



4. Conexión a tierra de baja resistencia: para limitar la corriente a 25-400 A.

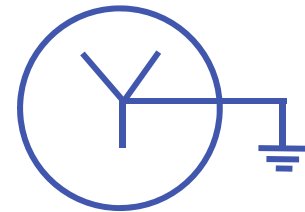
$$R_0 \geq 2X_0$$



Puesta a tierra del sistema

5. Conexión a tierra sólida: Hay una conexión del neutro del transformador o generador directamente a tierra de la estación.

- **Puesta a tierra efectiva:** $R_0 \leq X_1$, $X_0 \leq 3X_1$, donde R es la resistencia a fallas del sistema



Diferencias fundamentales... ¿Por qué?

- Sólidamente conectado a tierra
 - Mucha corriente de tierra (daños)
 - Sin cambio de voltaje neutro
 - Aislamiento línea-tierra
 - Limita los posibles problemas de los pasos
 - El área fallada se borrará
 - Retransmisión económica

Diferencias fundamentales... ¿Por qué?

- Conexión a tierra de alta o baja resistencia
 - Gestionar la corriente de tierra (gestionar daños)
 - Algún cambio de voltaje neutral
 - El área fallada se borrará
 - Más caro que sólido

Diferencias fundamentales... ¿Por qué?

- En superficie
 - No recomiendo su uso
 - Muy poca corriente a tierra (menos daño)
 - Gran cambio de voltaje neutro
 - Debe aislar el voltaje línea a línea.
 - Puede ejecutar el sistema mientras intenta encontrar una falla a tierra
 - Relé más difícil/costoso de detectar y localizar fallas a tierra
 - Si tiene una segunda falla a tierra en la fase adyacente, ¡cuidado!

Protección del sistema de energía

¿Por qué es necesario proteger el sistema eléctrico?

- Reducir el daño al equipo
- Reducir las interrupciones de energía
- Mejorar la calidad de la energía
- Mejorar la seguridad para todos

Causas de fallas

- Iluminación
- Viento
- Tormenta de hielo y nieve
- Objetos voladores
- Contaminación de aisladores
- Contacto físico con animales
- Error humano
- árboles cayendo
- Envejecimiento del aislamiento

Fallo intermitente:



Fallo Permanente:



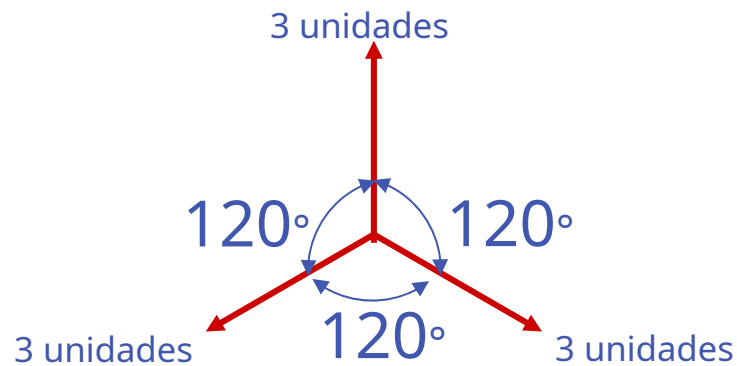
Análisis de fallas



Sistemas simétricos y no simétricos

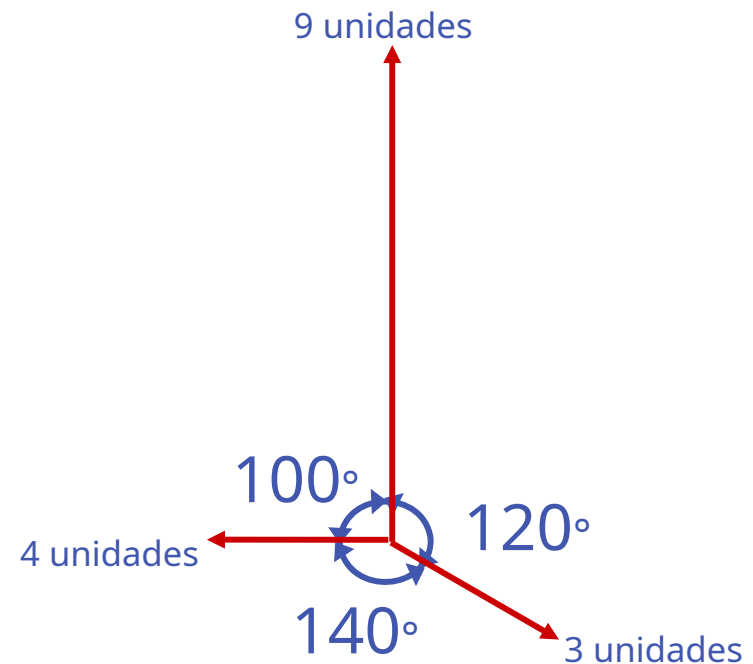
Sistema simétrico:

- Rotación en el sentido contrario a las manecillas del reloj
- Todos los vectores actuales tienen la misma amplitud
- Todos los vectores de fase de voltaje tienen la misma amplitud
- Todos los vectores de corriente y voltaje tienen cambios de fase de 120 grados y una suma de 0.



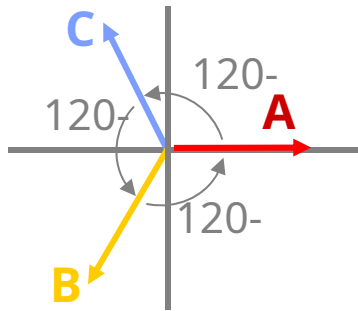
Sistema no simétrico:

- Condición de falla o desequilibrio
- Si no se cumple una o más de las condiciones del sistema simétrico



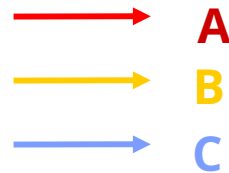
Componentes simétricos

Secuencia Positiva (Siempre presente)



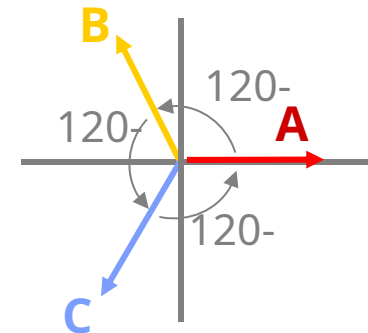
- **A-B-C** En sentido anti-horario rotación de fase
- Todos los fasores con igual magnitud
- Todos los fasores desplazados a 120 grados de distancia

Secuencia cero



- Sin secuencia de rotación
- Todos los fasores con igual magnitud
- Todos los fasores están en fase

Secuencia negativa



- **A-C-B** En sentido anti-horario rotación de fase
- Todos los fasores con igual magnitud
- Todos los fasores desplazados a 120 grados de distancia

Componentes simétricos

Positivo

Secuencia

Componente:

$$I_1 = \frac{1}{3} (y_{0a} + -I_b + -2I_c)$$

$$V_1 = \frac{1}{3} (V_a + -V_b + -2V_c)$$

Negativo

Secuencia

Componente:

$$I_2 = \frac{1}{3} (y_{0a} + -2I_b + -I_c)$$

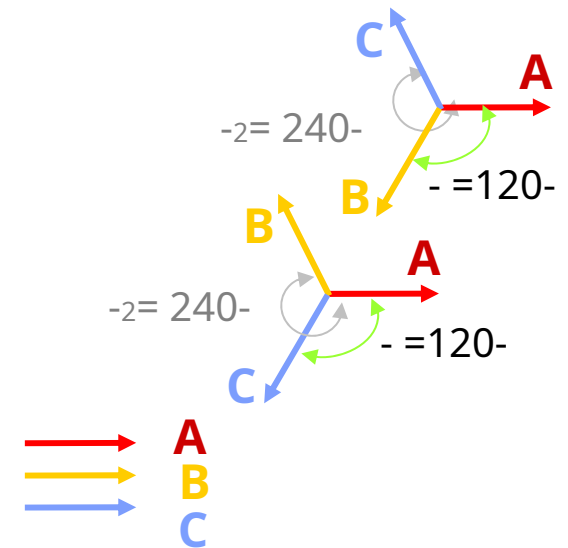
$$V_2 = \frac{1}{3} (V_a + -2V_b + -V_c)$$

Cero Secuencia

Componente:

$$I_0 = \frac{1}{3} (y_{0a} + y_{0b} + y_{0c})$$

$$V_0 = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c)$$



Fasores de línea a neutro desequilibrados:

$$I_a = y_{01} + y_{02} + y_{00}$$

$$V_a = V_1 + V_2 + V_0$$

$$I_b = -2I_1 + -I_2 + y_{00}$$

$$V_b = -2V_1 + -V_2 + V_0$$

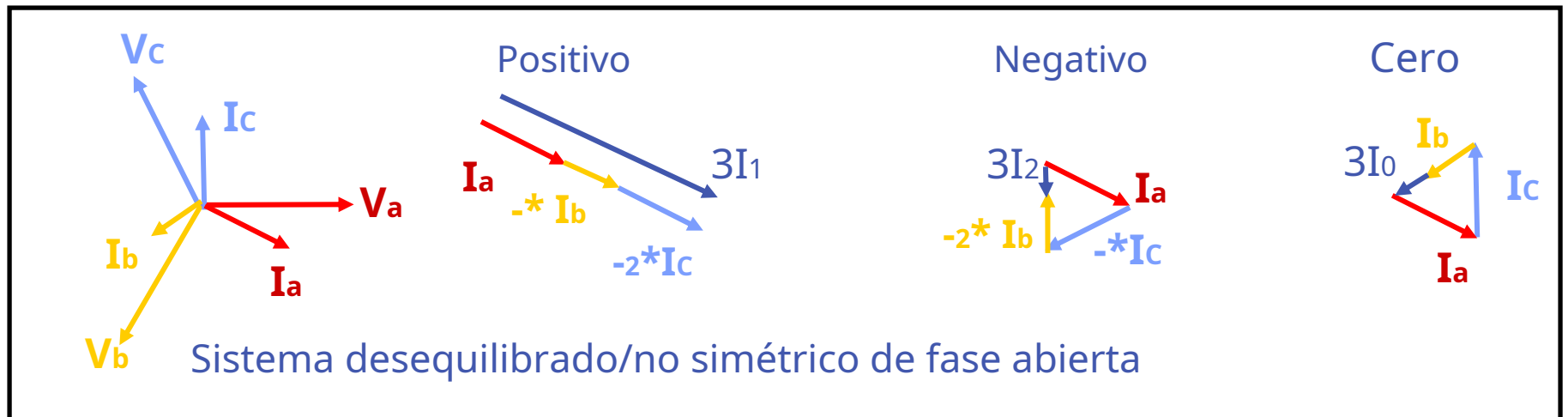
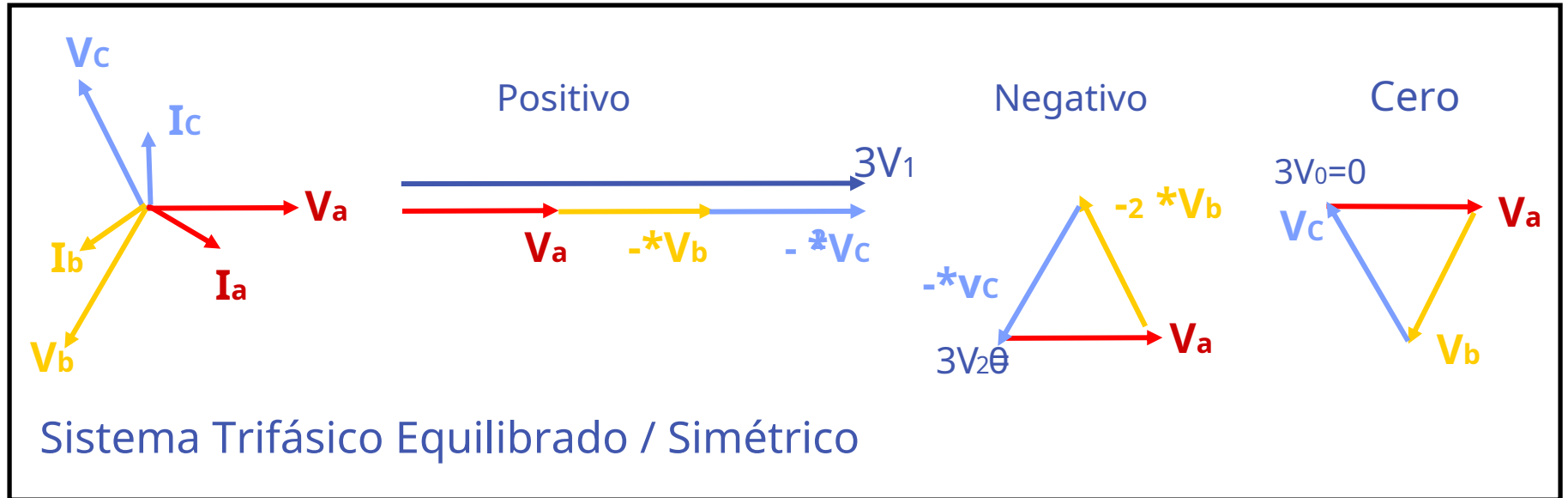
$$I_c = -I_1 + -2I_2 + y_{00}$$

$$V_c = -V_1 + -2V_2 + -V_0$$

- = Fasor @ +120-

-2 = Fasor @ 240-

Calcular componentes simétricos



Componentes simétricos

Ejemplo: Perfectamente equilibrado y rotación ABC

$$I_0 = 1/3(I_a + I_b + I_c)$$

$$V_0 = 1/3(V_a + V_b + V_c)$$

$$I_1 = 1/3(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

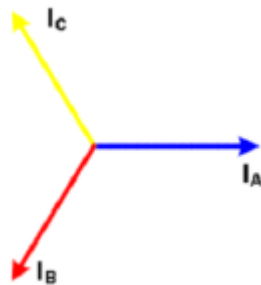
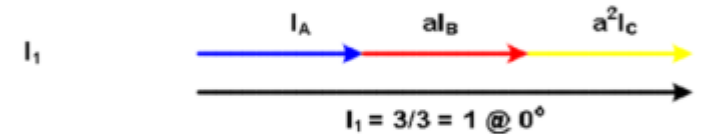
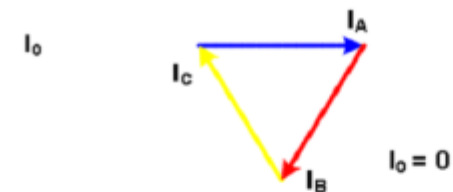
$$V_1 = 1/3(V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$I_2 = 1/3(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

$$V_2 = 1/3(V_a + a^2V_b + aV_c)$$

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$



Resultado: 100 % I1 (componente de secuencia positiva)

Componentes simétricos

Ejemplo: fase B laminada y rotación ABC

$$I_0 = 1/3(I_a + I_b + I_c)$$

$$V_0 = 1/3(V_a + V_b + V_c)$$

$$I_1 = 1/3(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

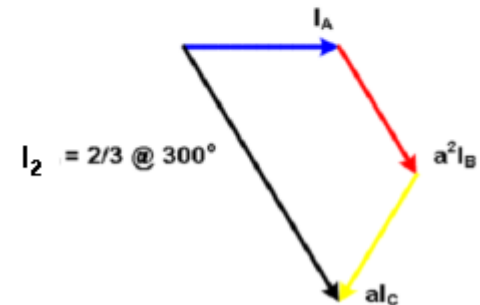
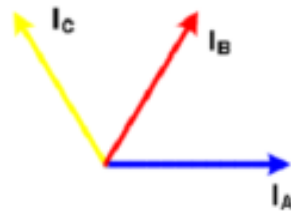
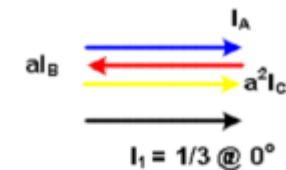
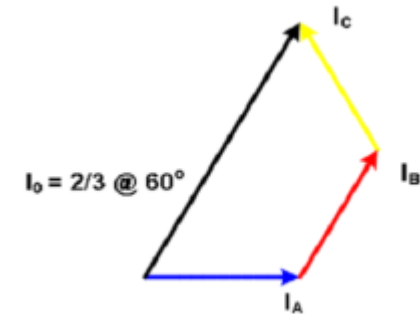
$$V_1 = 1/3(V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$I_2 = 1/3(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

$$V_2 = 1/3(V_a + a^2V_b + aV_c)$$

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$



Resultado: 33% I1, 66% I0 y 66% I2

Componentes simétricos

Ejemplo: Fase B y Fase C laminada y rotación ABC

$$I_0 = 1/3(I_a + I_b + I_c)$$

$$V_0 = 1/3(V_a + V_b + V_c)$$

$$I_1 = 1/3(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

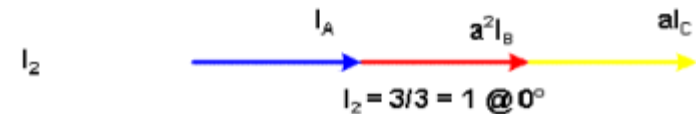
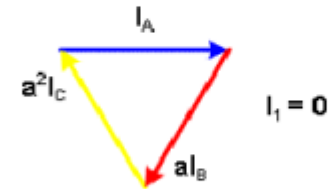
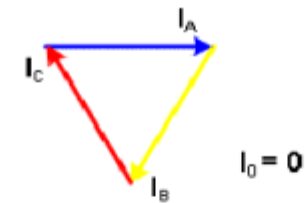
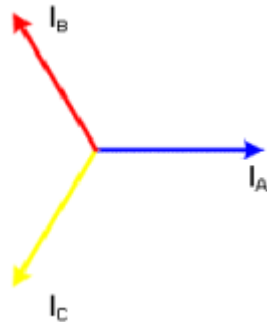
$$V_1 = 1/3(V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$I_2 = 1/3(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

$$V_2 = 1/3(V_a + a^2V_b + aV_c)$$

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

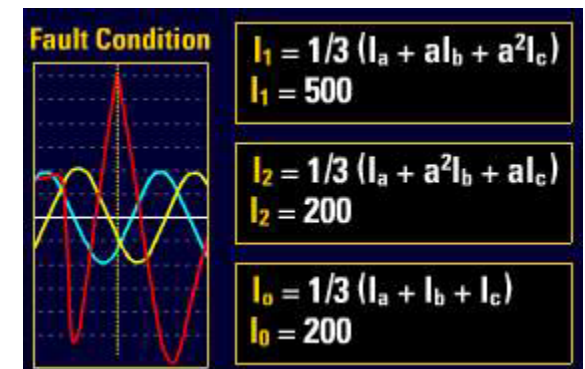
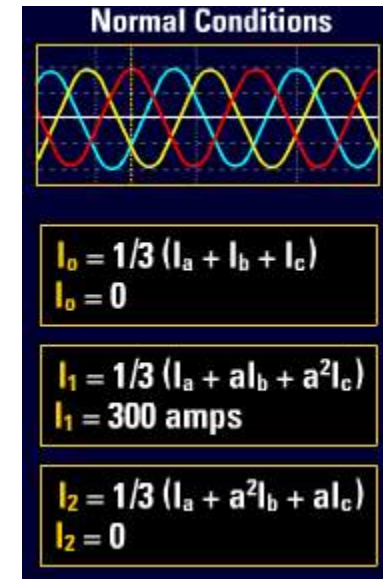
$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$



Resultado: 100 % I2 (componente de secuencia negativa)

Resumen de componentes simétricos

- Debajo de sin culpa condición, se considera que el sistema de energía es esencialmente simétrico por lo tanto, sólo secuencia positiva existen corrientes y voltajes.
- En el momento de una falla, positivo, negativo y posiblemente secuencia cero existen corrientes y voltajes.
 - Todas las corrientes de secuencia positiva, negativa y cero se pueden calcular utilizando voltajes y corrientes de fase del mundo real junto con las fórmulas de Fortescue.
 - $E_n = I_a + I_b + I_c = 3 I_0$



ANSI / IEEE C37.2 - Números de dispositivo

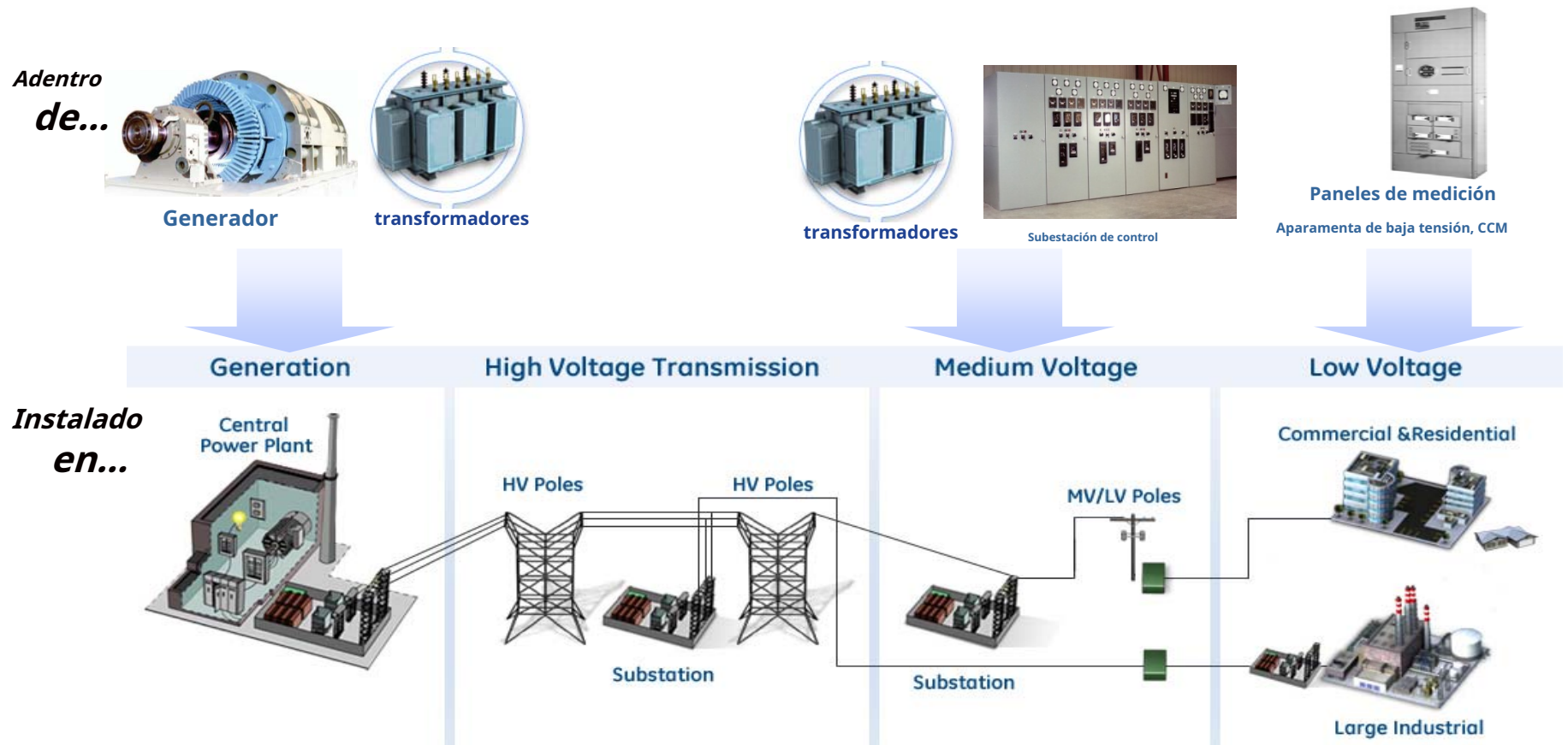
1	Master Element	26	Apparatus Thermal Device
2	Time Delay or Closing Relay	27	Undervoltage Relay
3	Checking or Interlocking Relay	28	Flame Detector
4	Master Contactor	29	Isolating Contactor
5	Stopping Device	30	Annunciator Relay
6	Starting Circuit Breaker	31	Separate Excitation Device
7	Rate of Rise Relay	32	Directional Power Relay
8	Control Power Disconnect	33	Position Switch
9	Reversing Device	34	Master Sequence Device
10	Unit Sequence Switch	35	Brush Operating or Slip Ring Shorting
11	Multifunction Device	36	Polarity or Polarizing Voltage Device
12	Overspeed Device	37	Undercurrent or Underpower Relay
13	Synchronous-Speed Device	38	Bearing Protective Device
14	Underspeed Device	39	Mechanical Condition Monitor
15	Speed or Frequency Matching	40	Field Relay
16	Reserved for Future Use	41	Field Circuit Breaker
17	Shunting or Discharge Switch	42	Running Circuit Breaker
18	Accel or Decel Device	43	Manual Transfer or Selector Device
19	Start to Run Transition Contactor	44	Unit Sequence Starting Relay
20	Electrically Operated Valve	45	Atmospheric Condition Monitor
21	Distance Relay	46	Reverse Phase or Phase Balance Relay(I)
22	Equalizer Circuit Breaker	47	Phase Sequence Voltage Relay
23	Temperature Control Device	48	Incomplete Sequence Relay
24	Volts/Hz Relay	49	Machine or Transformer Thermal Relay
25	Synch Device or Synch Check	50	Instantaneous Overcurrent Relay

ANSI / IEEE C37.2 - Números de dispositivo

51	AC Time Overcurrent Relay	71	Level Switch
52	AC Circuit Breaker	72	DC Circuit Breaker
52a	Contacts Open when Main Contacts Open	73	Load Resistor Contactor
52aa	High Speed a contacts	74	Alarm Relay
52b	Contacts Open when Main Contacts Closed	75	Position Changing Mechanism
52bb	High Speed b contacts	76	DC Overcurrent Relay
53	Exciter or DC Generator Relay	77	Telemetry Device
54	Turner Gear Engaging Device	78	Phase Angle Measuring Relay
55	Power Factor Relay	79	Reclosing Relay
56	Field Application Relay	80	Flow Switch
57	Shorting or Grounding Device	81	Frequency Relay
58	Rectification Failure Relay	82	DC Load Measuring Reclosing Relay
59	Overvoltage Relay	83	Automatic Selective Control or Transfer Relay
60	Voltage or Current Balance Relay	84	Operating Mechanism
61	Density Switch or Sensor	85	Carrier or Pilot Wire Relay
62	Time Delay Stopping or Opening Relay	86	Lockout Relay
63	Pressure Switch	87	Differential Protective Relay
64	Ground Detector Relay	88	Auxiliary Motor or Motor Generator
65	Governor	89	Line Switch
66	Notching or Jogging Device	90	Regulating Device
67	AC Directional Overcurrent Relay	91	Voltage Directional Relay
68	Blocking or Out-of-Step Relay	92	Voltage and Power Directional Relay
69	Permissive Control Device	93	Field Changing Contactor
70	Rheostat	94	Tripping or Trip-Free Relay

Transformadores de instrumentos

Ubicaciones de transformadores de instrumentos



Transformadores de instrumentos

- Suministre cantidades de corriente y voltaje escaladas con precisión para medición mientras aísla el relé del alto voltaje y corriente del sistema de energía.



Definiciones

Referencia IEEE 100:

transformar – un dispositivo que puede aumentar o disminuir el voltaje de CA de la fuente original

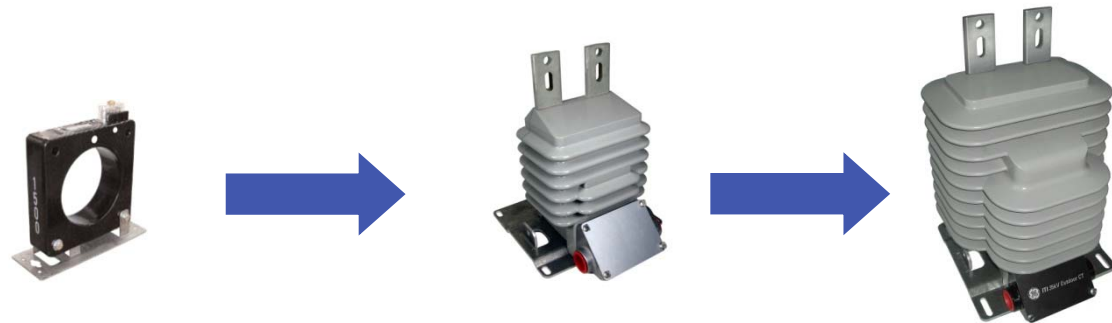
Transformador de corriente–Un transformador destinado a tener su devanado primario conectado en serie con el conductor que transporta la corriente que se va a medir o controlar.

Transformador de voltage–Un transformador destinado a tener su devanado primario conectado en derivación con el voltaje a medir o controlar.

Clases de voltaje estándar

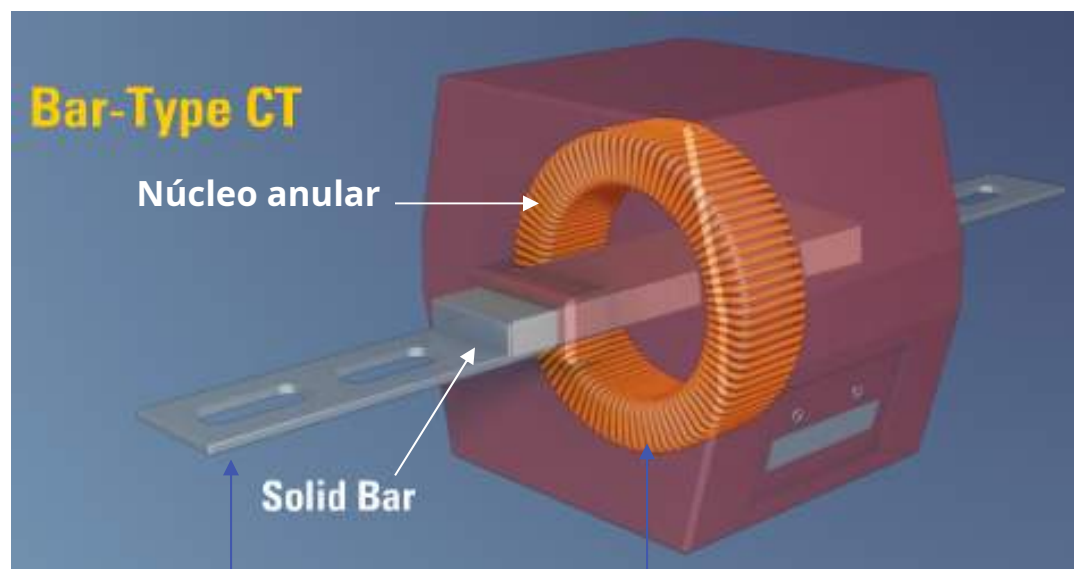


Clase de voltaje V	. sesenta y cinco		8.7	15	25	34,5
Clasificación BIL (BIL)	10	60	75	110	150	200



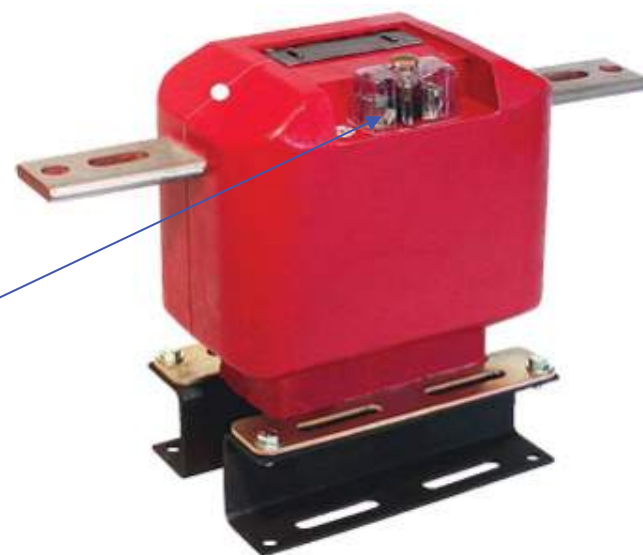
BIL = Nivel de impulso básico

Tipos de transformadores de corriente: barra

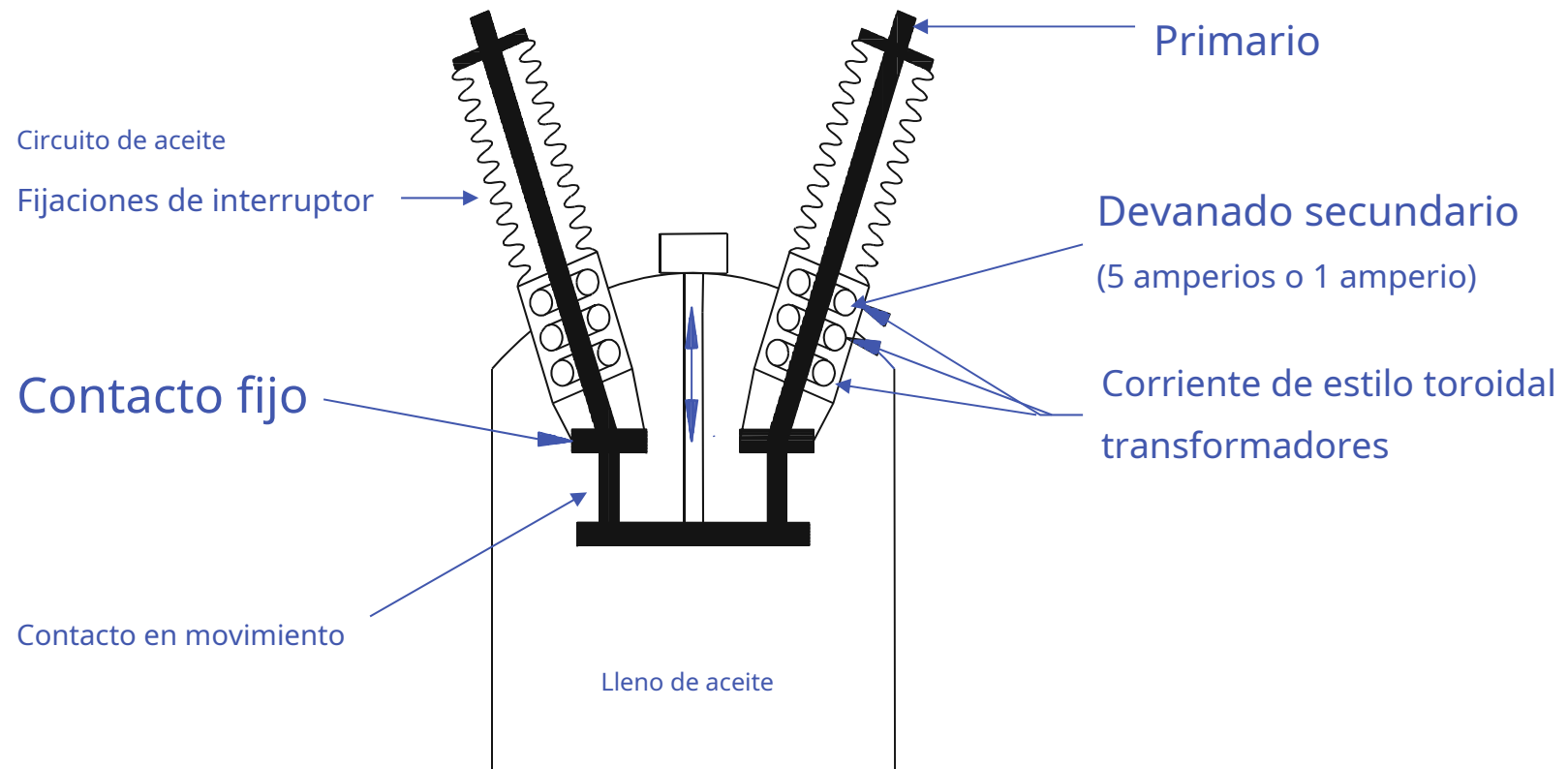


Primario

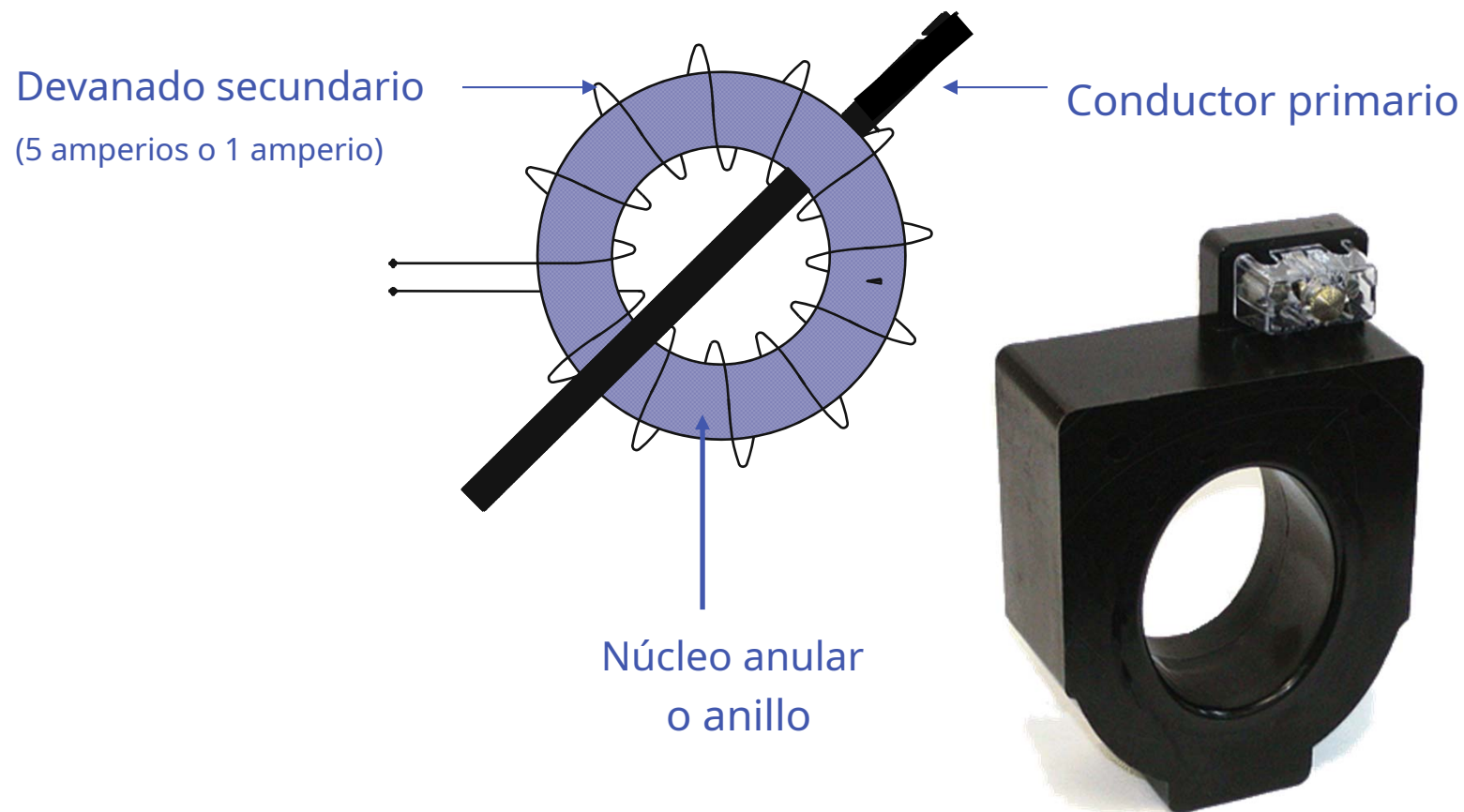
Devanado secundario
(5 amperios o 1 amperio)



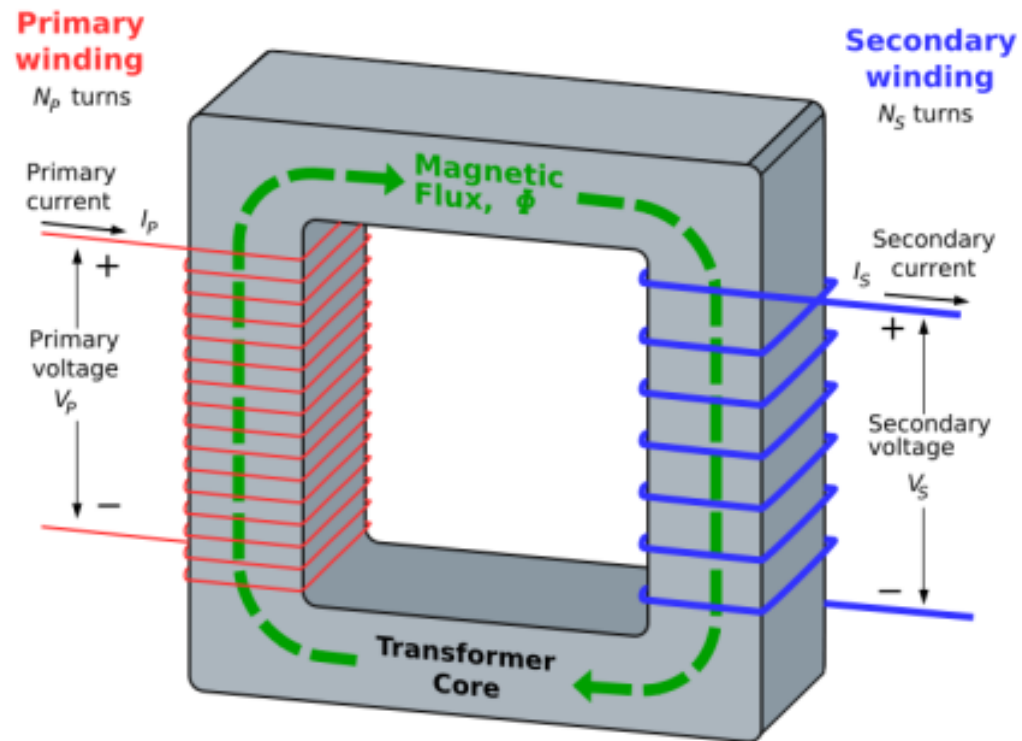
Tipos de transformadores de corriente: casquillos



Tipos de transformadores de corriente: toroidales (donut):



Conceptos básicos del transformador de corriente



$$\int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$$

Relación de Transformación (TR)

Relación del transformador = $\frac{P_{AG_r_i_{metro_a_r_y_e_{tu_r_r_{mi_norte}}}}}{Corriente\ secundaria}$

Corriente primaria
(100 amperios)

Corriente secundaria
(5 amperios)



$$\frac{100}{5} = 100:5 \text{ o } 20:1$$

Relación de vueltas



Formula:
$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

Where:

- I_p – Primary Amperage
- I_s – Secondary Amperage
- N_p – Number of Primary Turns
- N_s – Number of Secondary Turns

Example: A 300:5 Current Transformer –

$$\frac{300 \text{ p}}{5 \text{ s}} = \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ p}}$$

Modificación de la relación de vueltas



Ejemplo: ventana CT enrollada como 300:5

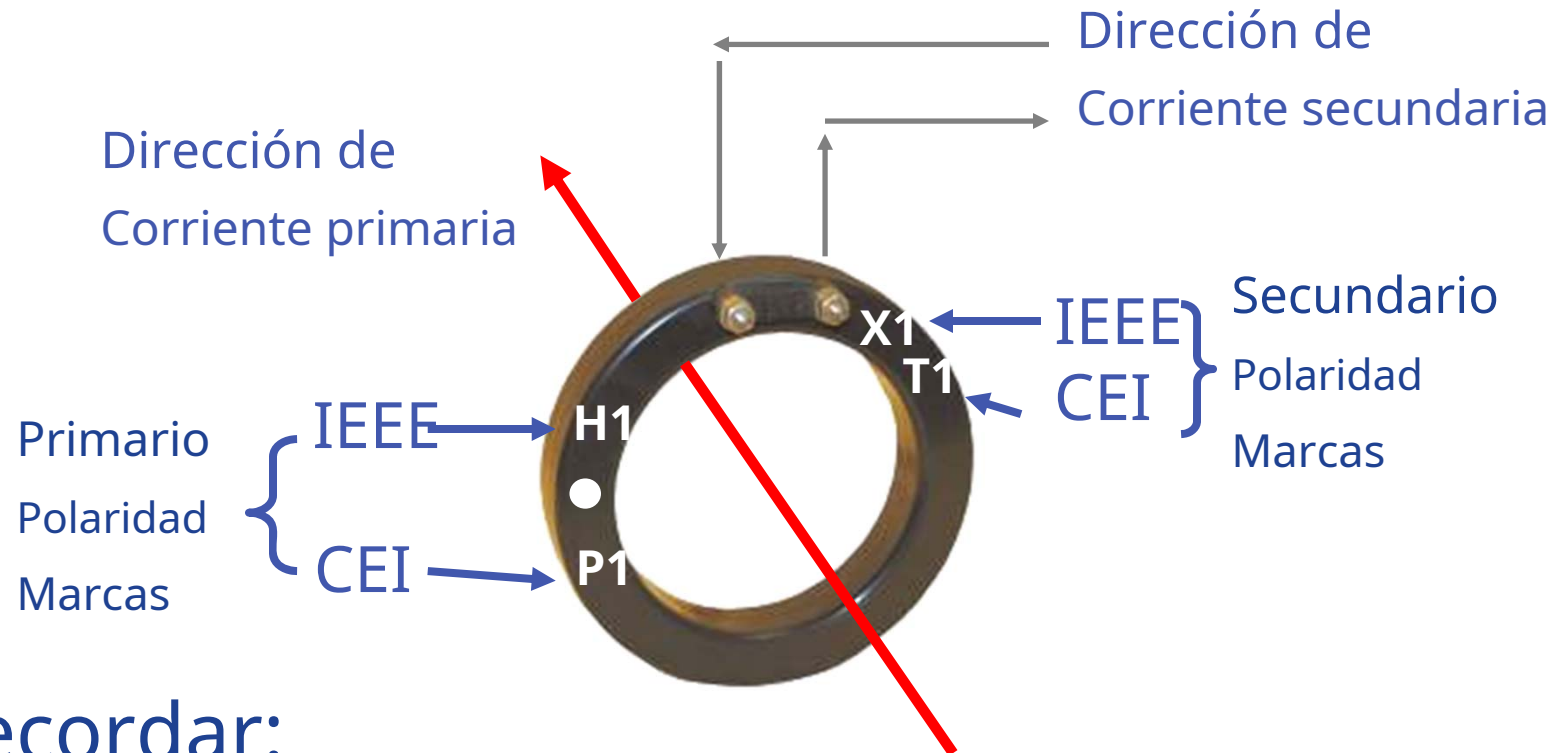
Usar como 300:5 con una vuelta de conductor primario

Usar como 150:5 con dos vueltas de conductor primario

Usar como 100:5 con tres vueltas de conductor primario

Recuerda: $y_{opag} = y_{os} \times N_{pag} / N_{ORTEs}$

Polaridad

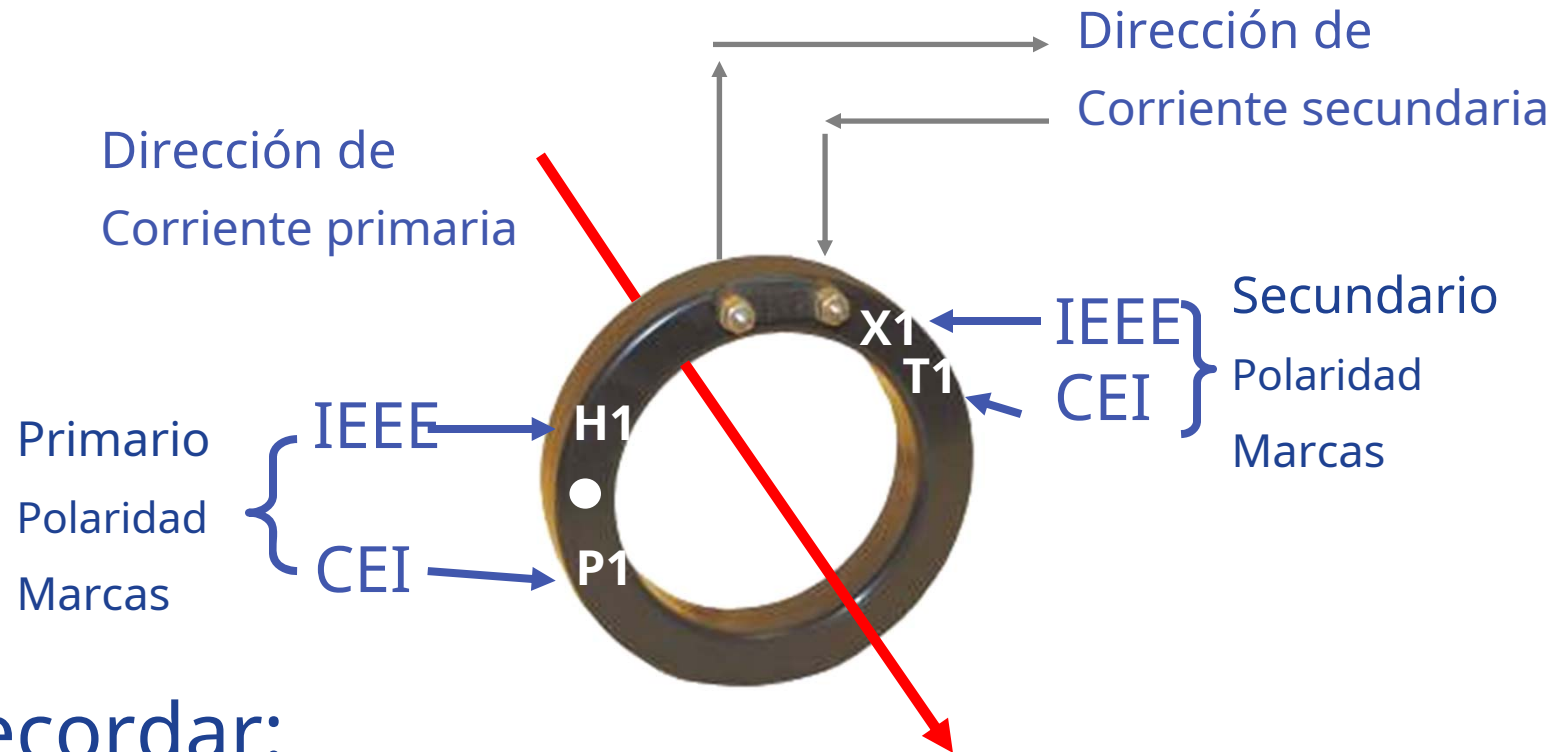


Recordar:

corriente primaria en "polaridad" =

corriente secundaria fuera de "polaridad"

Polaridad

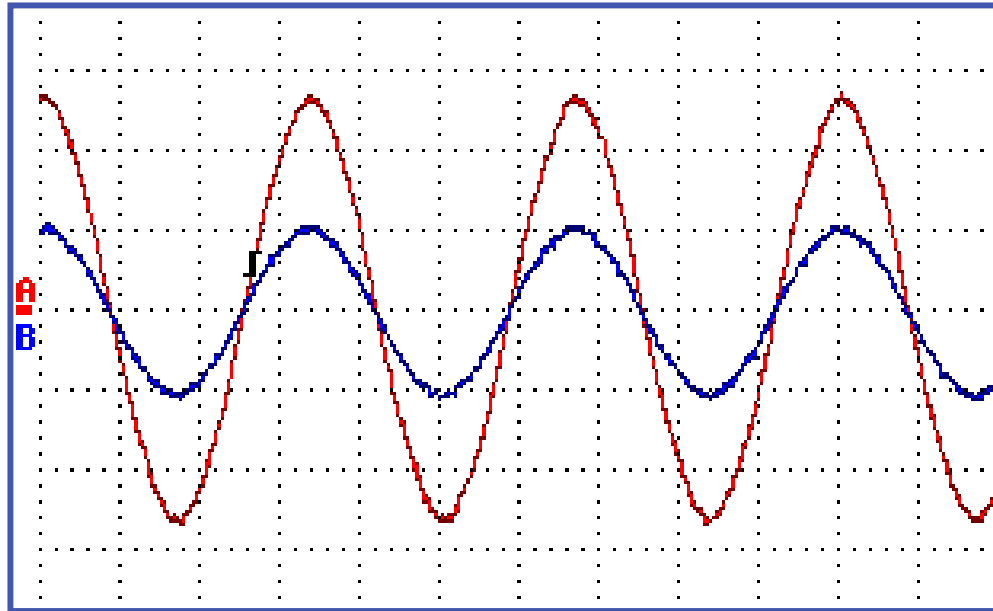


Recordar:

corriente primaria en “no polaridad” =

corriente secundaria fuera de “no polaridad”

Polaridad



Rojo = Corriente primaria
Azul = Corriente secundaria

Nota:

La corriente instantánea que entra en H1 está en fase con la corriente instantánea que sale de X1

Polaridad

¿Por qué es importante la polaridad?

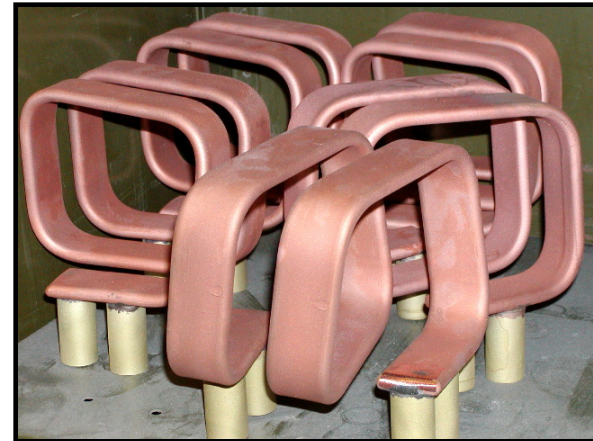
Los medidores y relés de protección pueden detectar la dirección del flujo de corriente/potencia.

¿Qué sucede cuando la polaridad es incorrecta?

El medidor gira hacia atrás indicando generación de energía en lugar de uso de energía, lo que resulta en una disminución de los ingresos.

Los relés detectan que la energía fluye en la dirección equivocada, lo que provoca cortes de energía

Tipo de bobina CT - Devanado primario MV

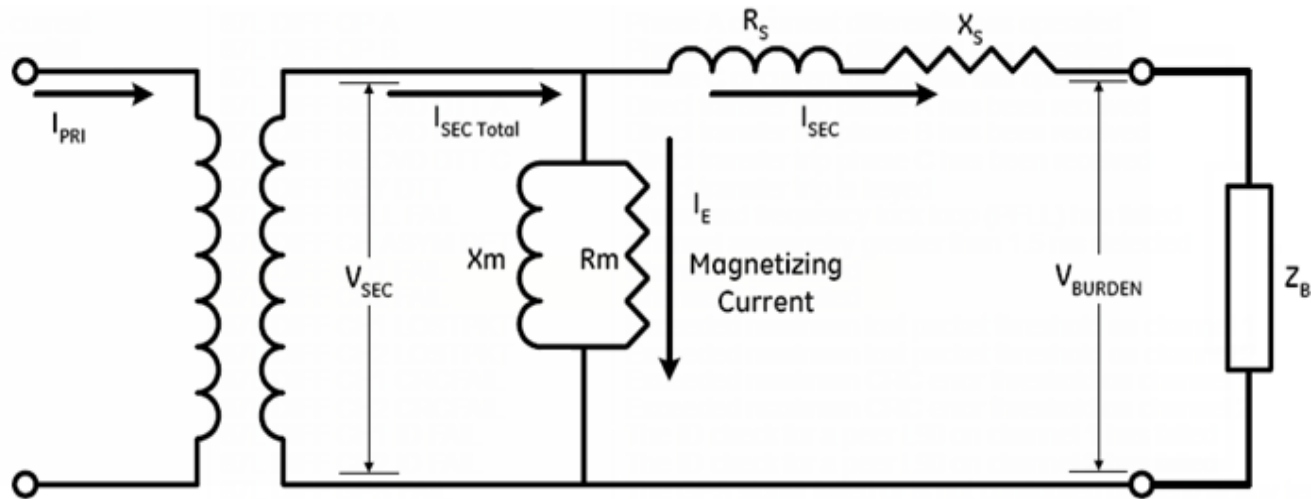


Precisión de la TC

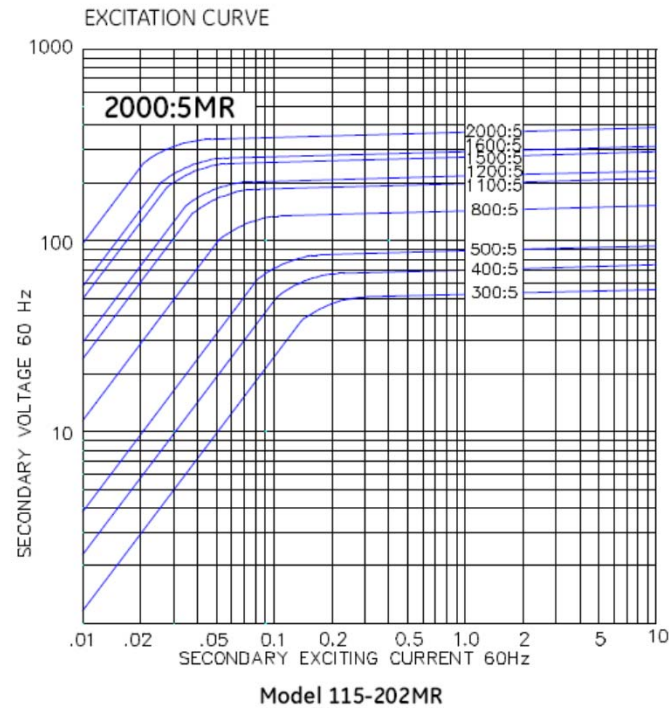
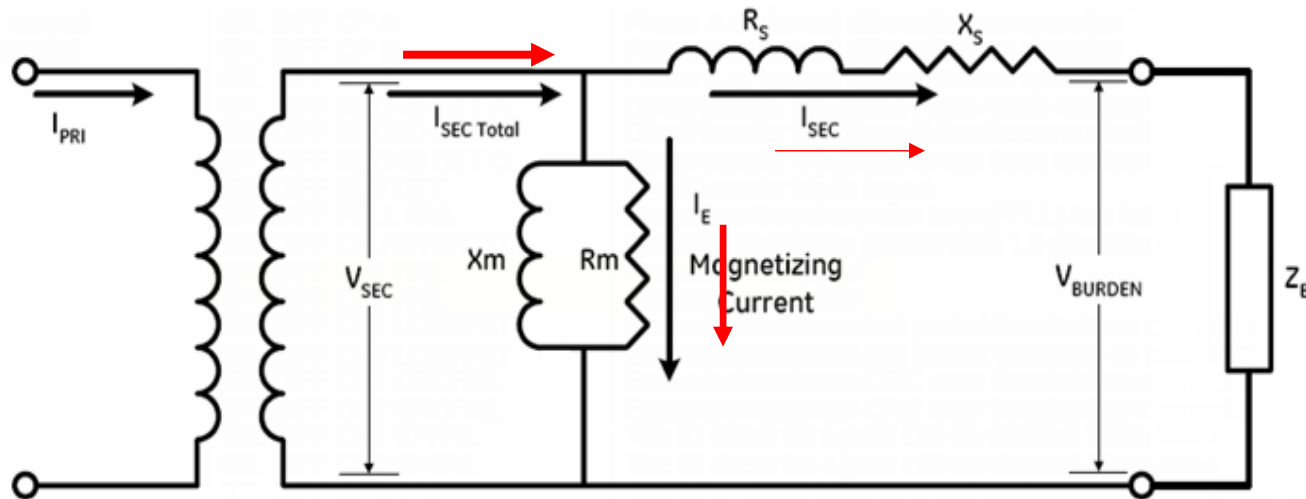
$$I_{relé} = I_{primario} \cdot \frac{norte_1}{NORTE_2}$$

$$I_{relé} = I_{primario} \cdot \frac{norte_2}{NORTE_1} - I_{emocionante}$$

Circuito equivalente CT



Circuito equivalente CT



Connecticut Medida Exactitud

Actualsecundario
actual



Clasificado secundario
actual

La diferencia en % se conoce como
"Exactitud"
del TC

IEEECTMedida Exactitud

Exactitud

Clase (*)

0,15

0,15S

0.3

0,6

1.2

Solicitud

Medición de alta precisión

Medición “especial” de alta precisión

Medición de ingresos

Instrumentos indicadores

Instrumentos indicadores

* Todas las clases de precisión definidas por IEEE C57.13 o C57.13.6

* Las clases de precisión incluyen error de relación y ángulo de fase

Carga

Carga conectada al secundario del CT

Incluye dispositivos y cables de conexión.

Expresado en ohmios

Valores estándar = B0.1, B0.2, B0.5, B0.9, B1.8
E0.04, E0.2

Todas las cargas definidas por IEEE C57.13 o C57.13.6 solo para 60 Hz

Cargas estándar

Cargas de CT estándar IEEE (5 amperios) (según los estándares IEEE C57.13-1993 y C57.13.6)

Solicitud	Carga Designación	Impedancia (Ohmios)	VA @ 5 amperios	Fuerza Factor
Medida	B0.1	0.1	2.5	0,9
	B0.2	0,2	5	0,9
	B0.5	0,5	12.5	0,9
	B0.9	0,9	22,5	0,9
	B1.8	1.8	45	0,9
	E0.2	0,2	5	1.0
	E0.04	0,04	1	1.0

IEEECTRelé Exactitud

Clases de precisión de relé estándar

C o T100

C o T200

C o T400

C o T800



¿Qué significan estos?

IEEECTRelé Exactitud

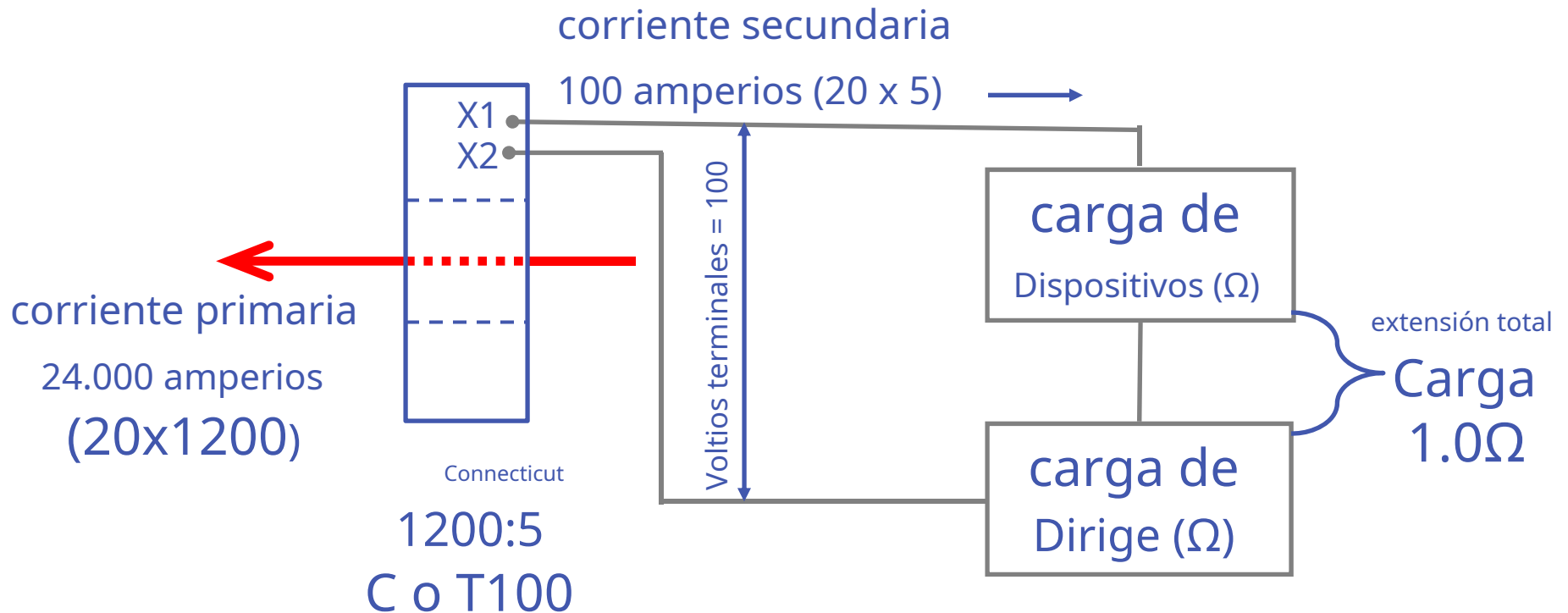
La clase de relé (C o T__) designa los voltios mínimos del terminal secundario...

A 20 veces la corriente nominal Sin exceder el
10% de error de relación Dentro de una
carga máxima especificada

Ahora que todo el mundo está totalmente confundido, veamos algunos ejemplos sencillos...

IEEECTRelé Exactitud

Ejemplo C o T100

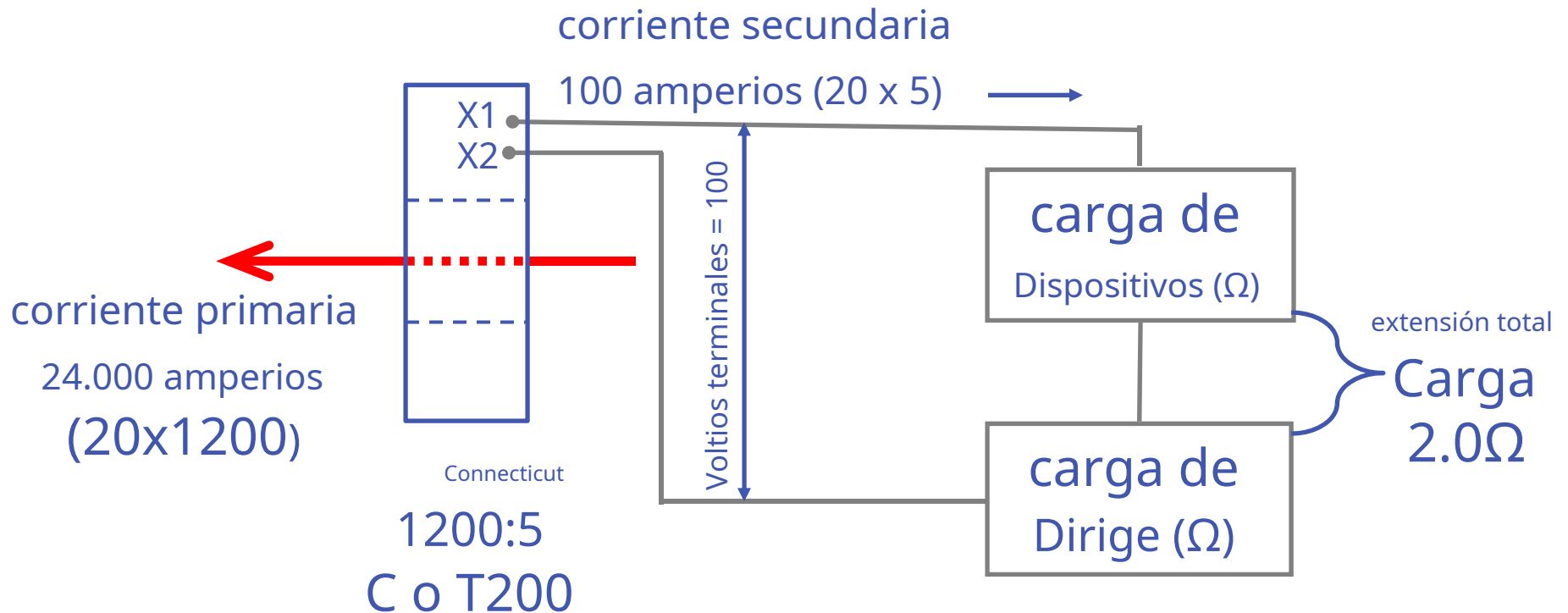


Voltios terminales = (20 veces nominal) (carga externa total)

100 voltios = (100 amperios) (1,0 Ω)

IEEECTRelé Exactitud

Ejemplo C o T200



Voltios terminales = (20 veces nominal) (carga externa total)

200 voltios = (100 amperios) (2,0 Ω)

El relé de microprocesador típico es 0,2 VA o 0,008 Ω

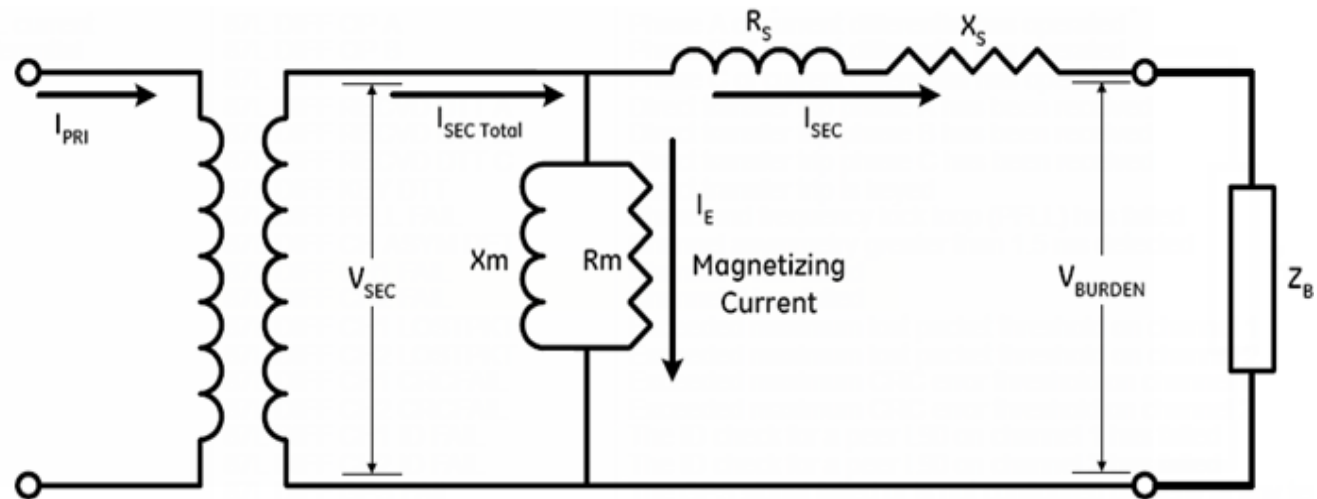
IEEECTRelé Exactitud

Cargas de CT estándar IEEE (5 amperios)

(según IEEE Std. C57.13-1993)

Solicitud	Carga Designación	Impedancia (Ohmios)	VA @ 5 amperios	Fuerza Factor
retransmisión	B1	1	25	0,5
	B2	2	50	0,5
	B4	4	100	0,5
	B8	8	200	0,5

IEEECTRelé Exactitud



$C_{__}$: una garantía de que con yo

SEGUNDO= $20 \cdot C_{T\text{segundo}}$ y Z_B = carga

estándar que $y_{mi} < 0,10 \cdot 20 \cdot T_C$

segundo

$I_s > 0,90 \cdot 20 \cdot C_{T\text{segundo}}$

Factores que influyen en la precisión de la TC

Frecuencia

¡¡“Baja frecuencia” y “Alta precisión” no son amigos!!

Radio actual

¡“Baja relación” y “alta precisión” no son amigos!!

Carga

¡¡“Gran carga” y “alta precisión” no son amigos!!

Dimensionamiento de TC

Factor de clasificación CT (RF) - IEEE

Corriente nominal x (RF) =

Transporte máximo de corriente continua
capacidad:

Sin exceder los límites de temperatura Sin
pérdida de la clase de precisión publicada

Factores de calificación típicos: 1,0, 1,33, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0

Dimensionamiento de CT (factor de clasificación)

CATALOG NUMBER	CURRENT RATIO	RELAY CLASS	ANSI METERING CLASS AT 60HZ					SECONDARY WINDING RESISTANCE (OHMS @ 75 °C)	CONTINUOUS THERMAL RATING FACTOR	
			BO.1	BO.2	BO.5	BO.9	B1.8		@ 30 °C	@ 55 °C
143—500	50:5	C20	4.8	4.8	—	—	—	0.014	2.0	2.0
143—750	75:5	C20	2.4	2.4	—	—	—	0.042	2.0	2.0
143—101	100:5	C20	1.2	2.4	4.8	4.8	—	0.056	2.0	2.0
143—151	150:5 *	C50	0.6	0.6	1.2	2.4	4.8	0.121	2.0	2.0
143—201	200:5 *	C50	0.3	0.3	0.6	1.2	2.4	0.161	2.0	2.0
143—251	250:5 *	C50	0.3	0.3	0.6	1.2	2.4	0.175	2.0	2.0
143—301	300:5 *	C100	0.3	0.3	0.3	0.6	1.2	0.241	2.0	2.0
143—401	400:5 *	C100	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.322	2.0	2.0
143—501	500:5 *	C100	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.441	2.0	2.0
143—601	600:5 *	C200	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.530	2.0	1.5
143—751	750:5 *	C200	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.662	2.0	1.5
143—801	800:5 *	C200	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.706	2.0	1.5
143—102	1000:5 *	C200	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.883	1.5	1.33
143—122	1200:5 *	C400	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.059	1.5	1.0
143—152	1500:5 *	C400	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.324	1.5	1.0
143—162	1600:5 *	C400	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.413	1.33	1.0
143—202	2000:5 *	C400	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.678	1.33	1.0
143—252	2500:5 *	C400	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.097	1.0	0.8
143—302	3000:5 *	C800	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.516	1.0	0.8
143—322	3200:5 *	C800	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.684	1.0	0.8
143—352	3500:5 *	C800	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.936	1.0	0.8
143—402	4000:5 *	C800	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.355	1.0	0.6
143—502	5000:5 *	C800	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	3.983	1.0	0.6
143—602	6000:5 *	C800	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	4.780	0.8	0.6

Dimensionamiento de TC

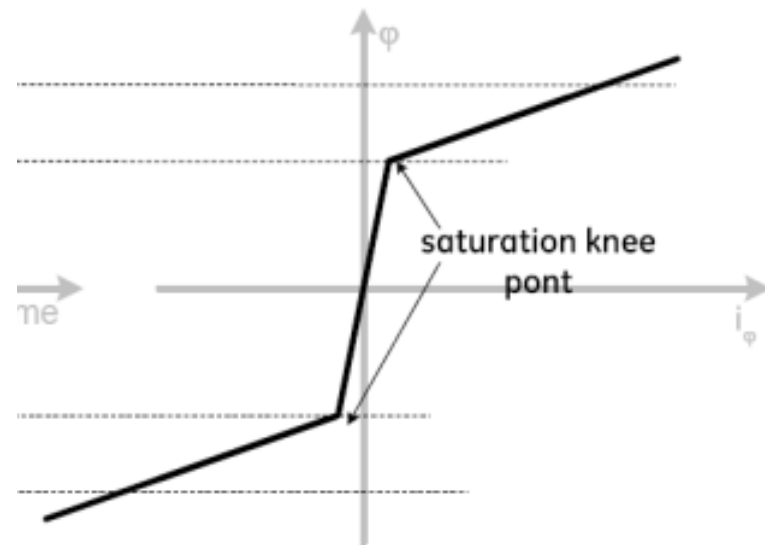
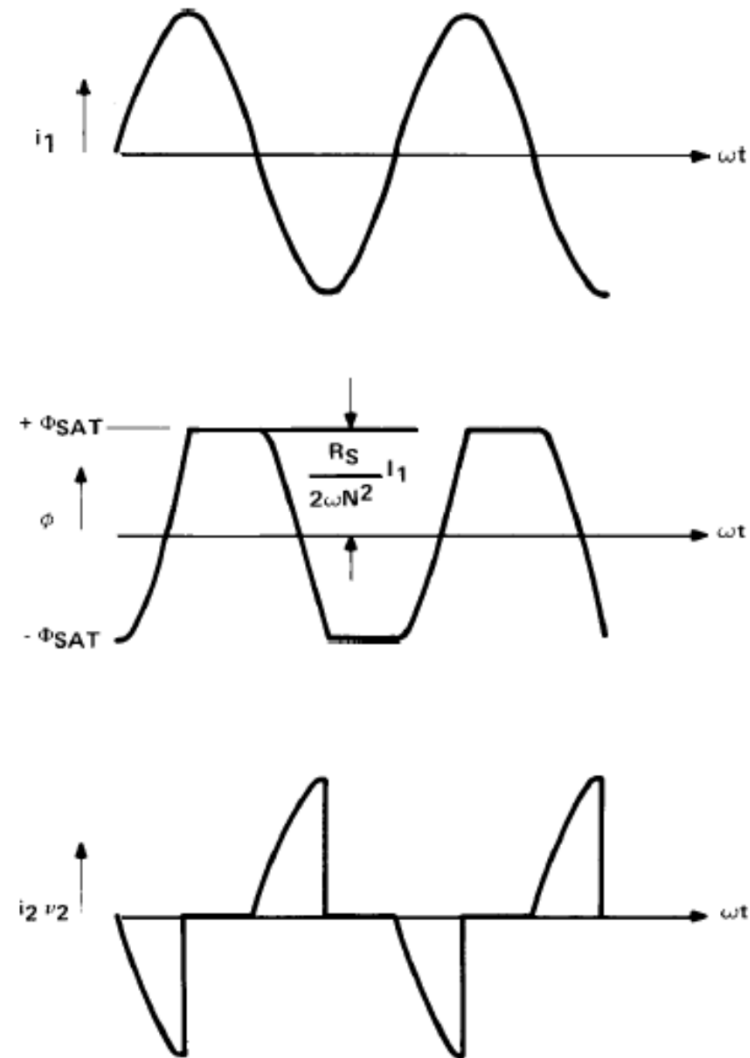
$I_{CT_{primario}} > \text{corriente de carga máxima esperada} * \text{factor de clasificación}$
 $I_{CT_{primario}} < \text{corriente de falla máxima esperada} / 20$
CT primario debe dimensionarse para evitar la saturación
La clase de precisión del CT debe dimensionarse para evitar la saturación
El aislamiento del CT debe dimensionarse para la aplicación
CT BIL debe dimensionarse para coordinarse con la estación BIL

Saturación de TC

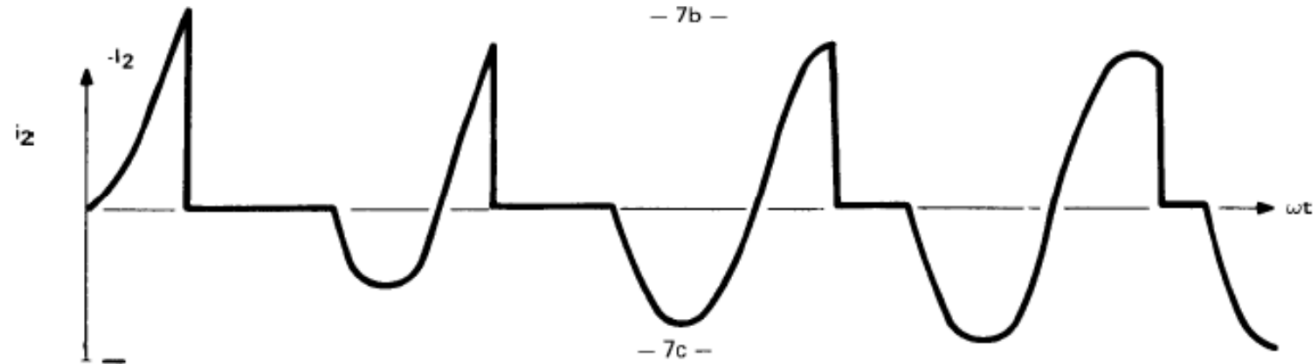
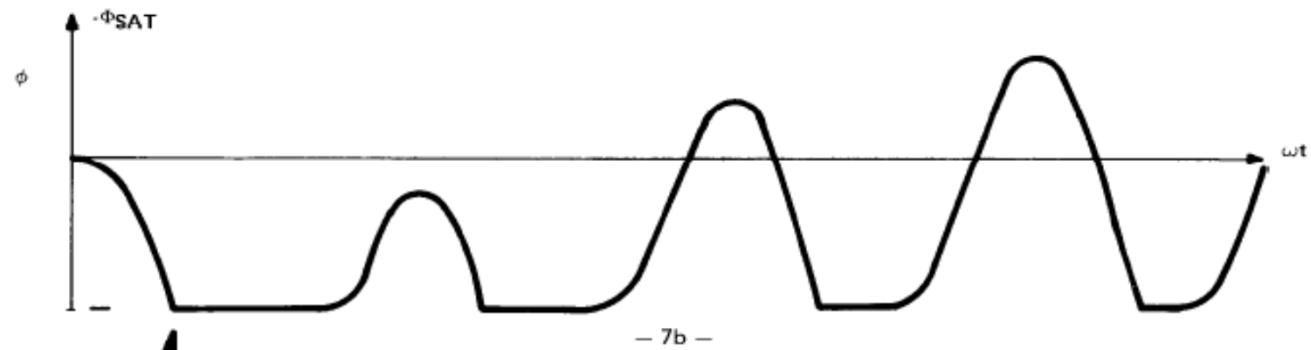
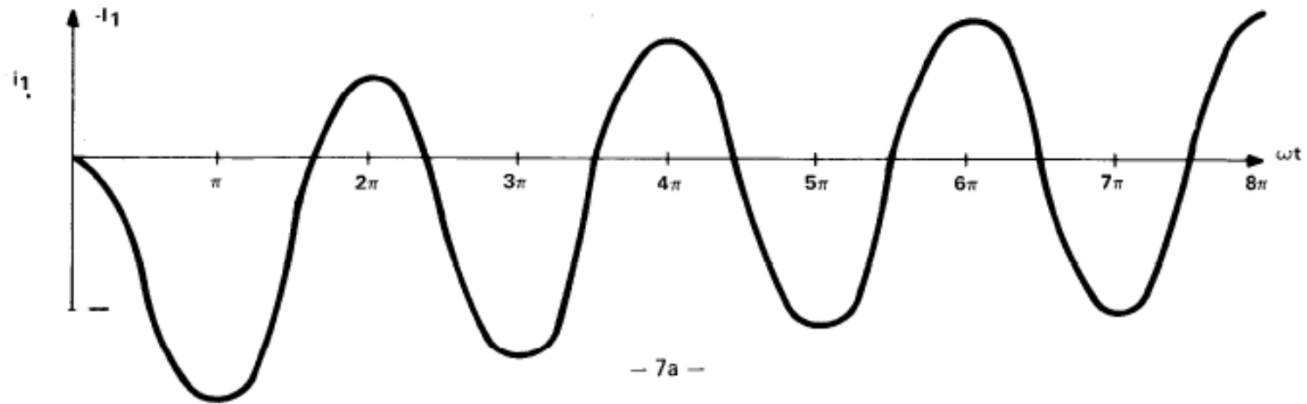
Conceptos de saturación de TC

- La saturación del TC depende de varios factores.
 - Características físicas del CT (tamaño, clasificación, resistencia del devanado, voltaje de saturación)
 - Carga secundaria del CT conectada (cables + relés)
 - Magnitud de corriente primaria, compensación de CC (sistema X/R)
 - Flujo residual en el núcleo del CT
- Es posible que las corrientes secundarias reales del CT no se comporten de la misma manera que la corriente de relación (primaria escalada) durante las fallas.
- El resultado final es una corriente diferencial espuria que aparece en la suma de las corrientes secundarias, lo que puede provocar que los elementos diferenciales funcionen si no se aplica seguridad adicional.

Conceptos de saturación de TC



Funcionamiento con compensación de CC



Funcionamiento con compensación de CC

Hora de saturar

$$K_s = \frac{V_x}{I_{SEC} \times Z_s}$$

where V_x = saturation voltage of the CT (secondary volts)
 I_{SEC} = secondary current at the CT terminals
 Z_s = total secondary impedance of CT circuit ($R_s + X_s + Z_B$ from Figure 2.)

$$T_s = \frac{-X/R}{2\pi f} \times \ln \left(1 - \frac{K_s - 1}{X/R} \right)$$

where f = system frequency
 X = system reactance at CT location
 R = system resistance at CT location.

Modelado del rendimiento de CT

- Método IEEE C37.110
- Calculadora de saturación CT IEEE PSRC

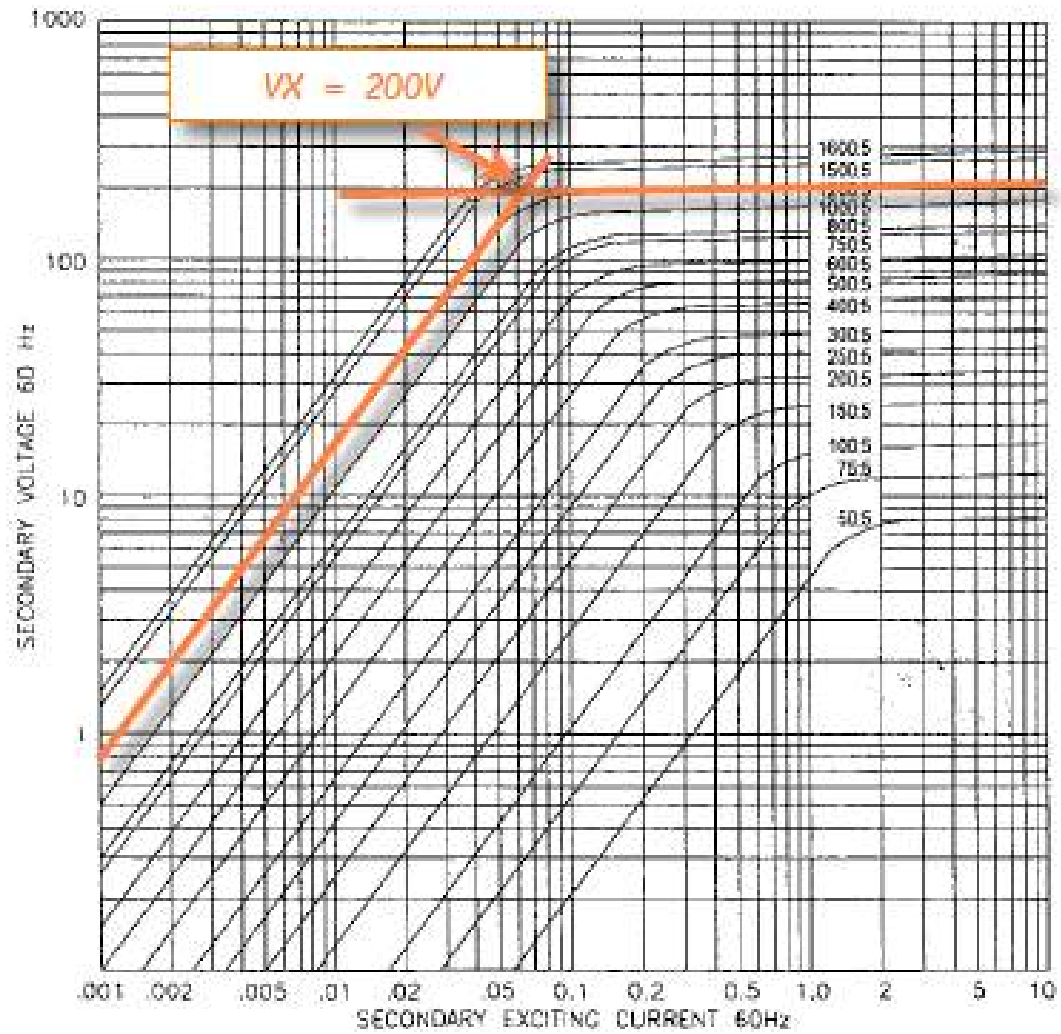
C37.110 Método

C37.110 utiliza esta relación:

$$V_X - I_{C.A.} Z_S = 1 - X \quad \text{---} / R$$

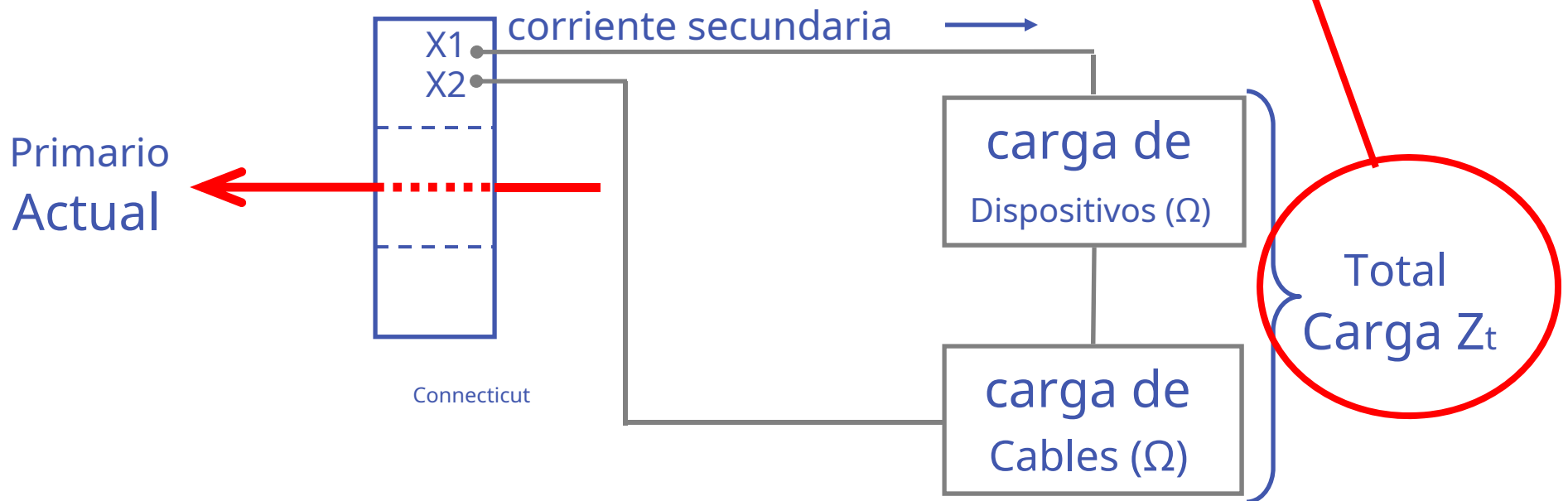
(Asumiendo una carga resistiva)

Voltaje de saturación del CT

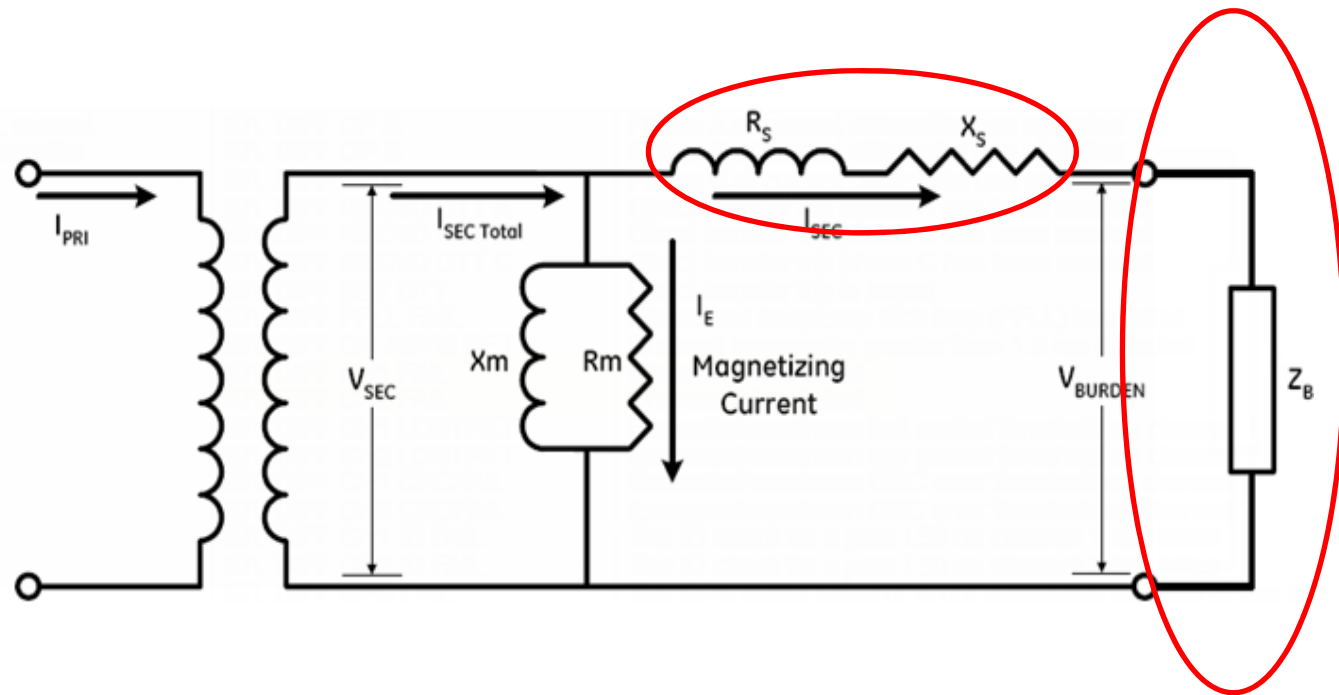


Cálculo de carga de TC

¿Cómo calculamos esto?



Cálculo de carga de TC



Cálculo de carga de TC

$$Z_t = R_{\text{Connecticut}} + R_l + Z_B$$

z_t = Carga total en ohmios

$R_{\text{Connecticut}}$ = Resistencia secundaria del CT en ohmios a 75 grados C

R_l = Resistencia de los cables en ohmios (distancia total del bucle) =

Z_B Impedancia del dispositivo en ohmios

Cálculo de carga de TC

$$Z_t = R_{\text{Connecticut}} + R_I + Z_B$$

$R_{\text{Connecticut}}$ = Resistencia secundaria del CT en ohmios

La mejor fuente para $R_{\text{Connecticut}}$ es del fabricante

CATALOG NUMBER	CURRENT RATIO	RELAY CLASS	ANSI METERING CLASS AT 60HZ					SECONDARY WINDING RESISTANCE (OHMS @ 75 °C)
			BO.1	BO.2	BO.5	BO.9	B1.8	
143-500	50:5	C20	4.8	4.8	—	—	—	0.014
143-750	75:5	C20	2.4	2.4	—	—	—	0.042
143-101	100:5	C20	1.2	2.4	4.8	4.8	—	0.056
143-151	150:5 *	C50	0.6	0.6	1.2	2.4	4.8	0.121

Cálculo de carga de TC

$$Z_t = R_{\text{Connecticut}} + R_l + Z_B$$

R_l = Resistencia del cable (recorrido total, no solo en un sentido)

R_l Regla general para cables CU:

$$\text{Ohmios}/1000' = e^{0,232G-2,32}$$

Donde G es AWG

Cálculo de carga de TC

$$Z_t = R_{\text{Connecticut}} + R_I + Z_B$$

Z_B = Resistencia del relé

Carga del microprocesador < 0,2 VA en secundario nominal

$$Z = 0,2/25 = 0,008 \text{ ohmios}$$

Si creo que mi TC
se va a saturar,
¿Que hago después?

Herramienta de saturación CT IEEE PSRC

CONTENTS

Sheet 1: CALCULATOR (this sheet)

Sheet 2: INSTRUCTIONS

Sheet 4: BACKGROUND

CT Saturation Calculator

Excel Spread Sheet

See IEEE publication C37.110: "IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes"

A document of the

IEEE Power Systems Relaying Committee

Contact: gswift@nxtphase.com

Refer also to "CT SAT Theory (PSRC)".

VERSION:
30 Dec 2002

ASSUMPTIONS:

CT core losses and sec'y reactance zero (thru-hole primary).

Frequency: 60 Hz

CT primary current is zero for $t < 0$.

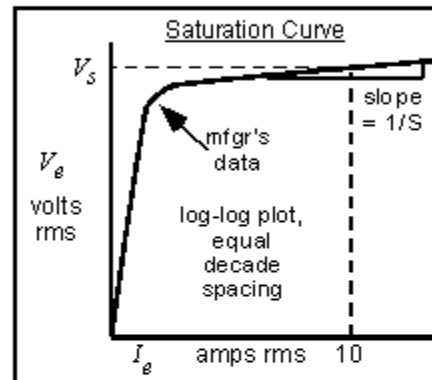
CT is 5 amp nominal

Time step = 1/12,000 second.

INPUT PARAMETERS:

Inverse of sat. curve slope =	S =	30	---
RMS voltage at 10A exc. current =	Vs =	210	volts rms
Turns ratio = n_2/n_1 =	N =	240	---
Winding resistance =	Rw =	0.387	ohms
Burden resistance =	Rb =	0.700	ohms
Burden reactance =	Xb =	0.000	ohms
System X/R ratio =	XoverR =	15.0	---
Per unit offset in primary current =	Off =	1.00	-1 < Off < 1
Per unit remanence (based on Vs) =	rem =	0.00	---
Symmetrical primary fault current =	Ip =	30,000	amps rms

ENTER:

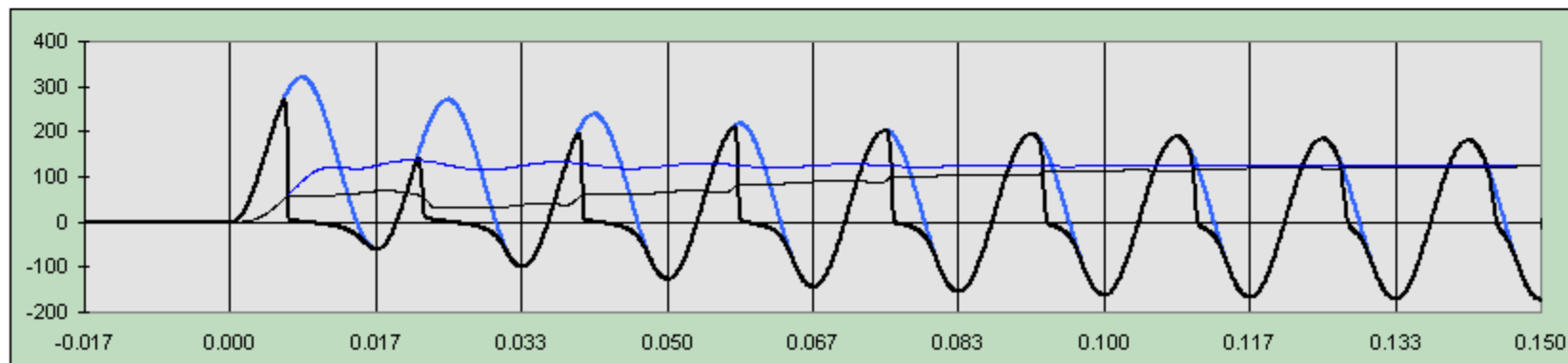


CALCULATED:

Rt = Total burden resistance = $R_w + R_b$ =	1.087	ohms
pf = Total burden power factor =	1.000	---
Zb = Total burden impedance =	1.087	ohms
Tau1 = System time constant =	0.040	seconds
Lamsat = Peak flux-linkages corresponding to Vs	0.788	Wb-turns
ω = Radian freq =	376.99	rad/s
RP = Rms-to-peak ratio =	0.32028	---
A = Coefficient in instantaneous ie versus lambda curve: ie = $A * I^S$:	4.00E+04	---
dt = Time step =	0.000083	seconds
Lb = Burden inductance =	0.00000	henries

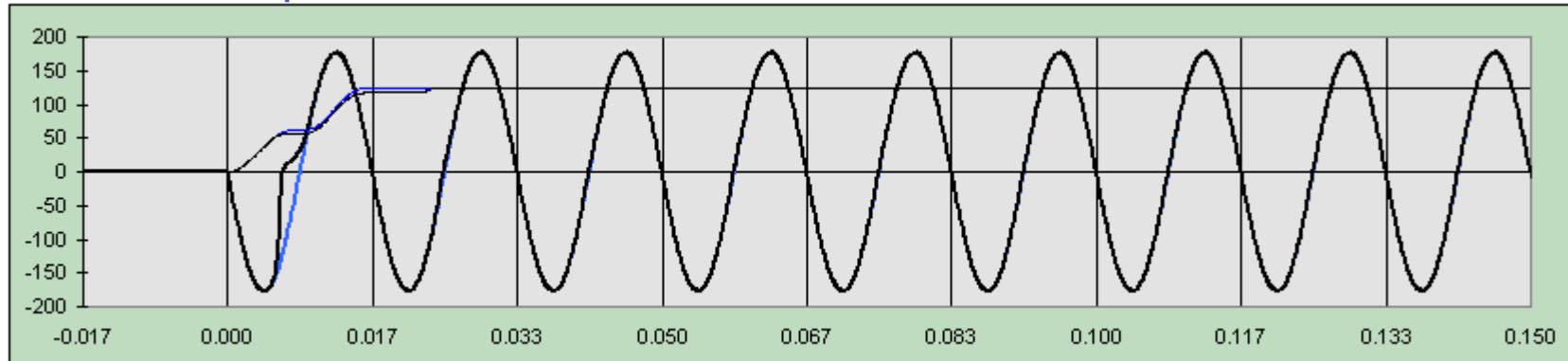
Thick lines: Ideal (blue) and actual (black) secondary current in amps vs time in seconds.

Thin lines: Ideal (blue) and actual (black) secondary current extracted fundamental rms value, using a simple DFT with a one-cycle window.

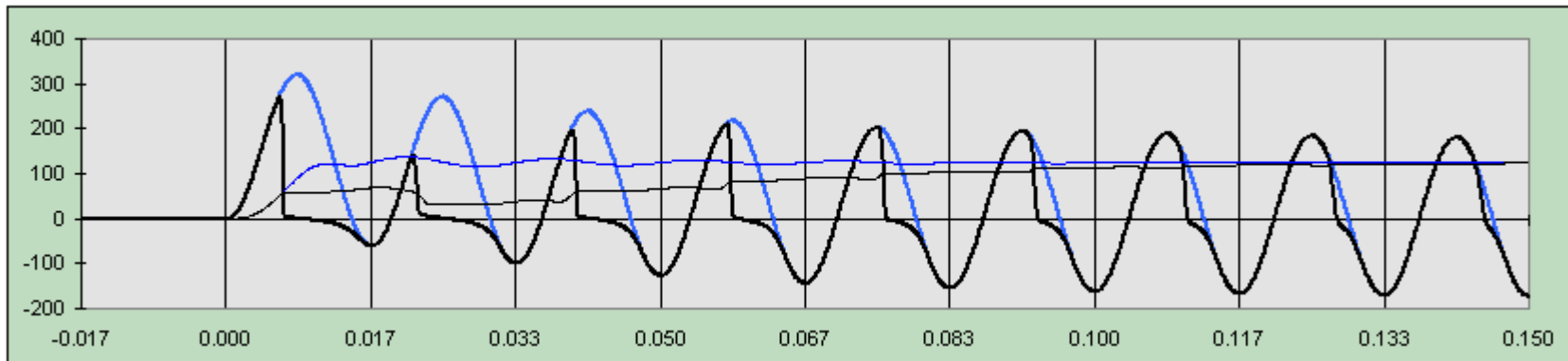


Modelo de rendimiento de CT

Fallo sin compensación de CC:



Fallo con compensación de CC completa:



Rendimiento de TC

- Parece que este CT específico se saturará debido a algunos eventos de falla
- Soluciones para la saturación de CT
 - CT de clase de rendimiento superior (CT ya elegidos)
 - Mayor relación de vueltas (CT ya elegidos)
 - Carga secundaria inferior (cobre #10 con relé de microprocesador)

Debe tener en cuenta el rendimiento del CT en cálculos

Rendimiento de TC

- Parece que este CT específico se saturará debido a algunos eventos de falla
- Comprender cómo se utilizan los nuevos métodos de retransmisión para afrontar la situación y las limitaciones de la capacidad de afrontarla.
 - Características diferenciales inclinadas
 - Algoritmos direccionales

Debe tener en cuenta el rendimiento del CT en la configuración y verificar que los CT sean lo suficientemente buenos para permitir el método de retransmisión para trabajar

Transformadores de voltaje

Clasificaciones del transformador de voltaje

- Nivel de impulso básico (BIL)
- Tensión primaria nominal y relación
- Frecuencia
- Clasificaciones de clase de precisión
- Clasificaciones de carga térmica

Clase de precisión IEEE VT

Precisión de medición
Clases (% error)

0.3		Definido por IEEE C57.13
0,6		Aplicable del 90% al 110% de tensión nominal
1.2		
0,15 --		Definido por IEEE C57.13.6

Clase de precisión IEEE VT

Precisión de medición

clase	B	st	u	B	ter	cer	o	t	u	m	it	er	cer	o	n	or	t	e	e	n	s	Virginia	FP
W.																						12.5	0,10
X																						25	0,70
METRO																						35	0,20
Y																						75	0,85
Z																						200	0,85
ZZ																						400	0,85

Estas designaciones de carga estándar no tienen importancia en frecuencias distintas de 60 Hz

Clase de precisión IEEE VT

Expresado como:

Clase de precisión + Código de carga

0,3 W,X,Y

0,6Z

1.2 ZZ

Estas designaciones estándar no tienen significado
en frecuencias distintas de 60 Hz

Directrices de instalación del VT

Precaución:

Tensión nominal: No operar por encima del 110%

Clasificación de línea a tierra:

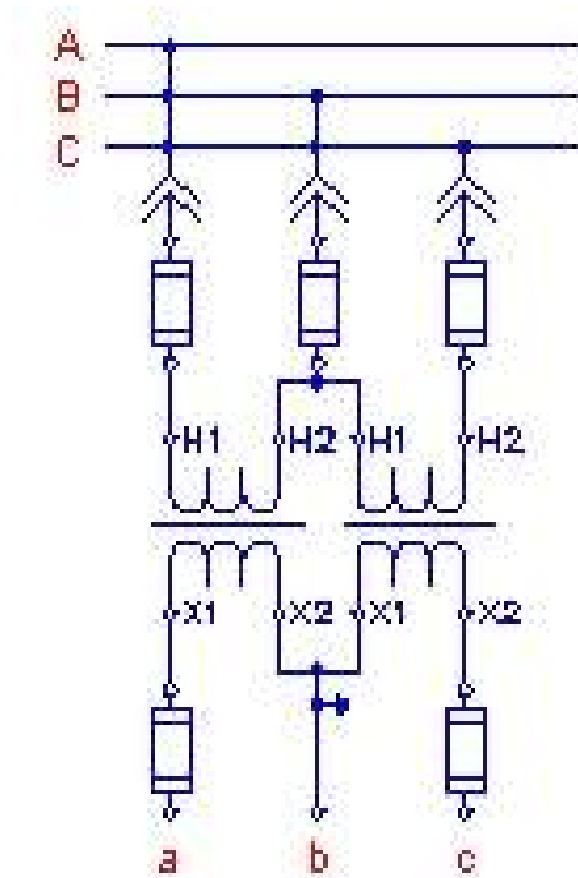
No conecte línea a línea

No lo use en sistemas sin conexión a tierra
sin consultar a la fábrica.

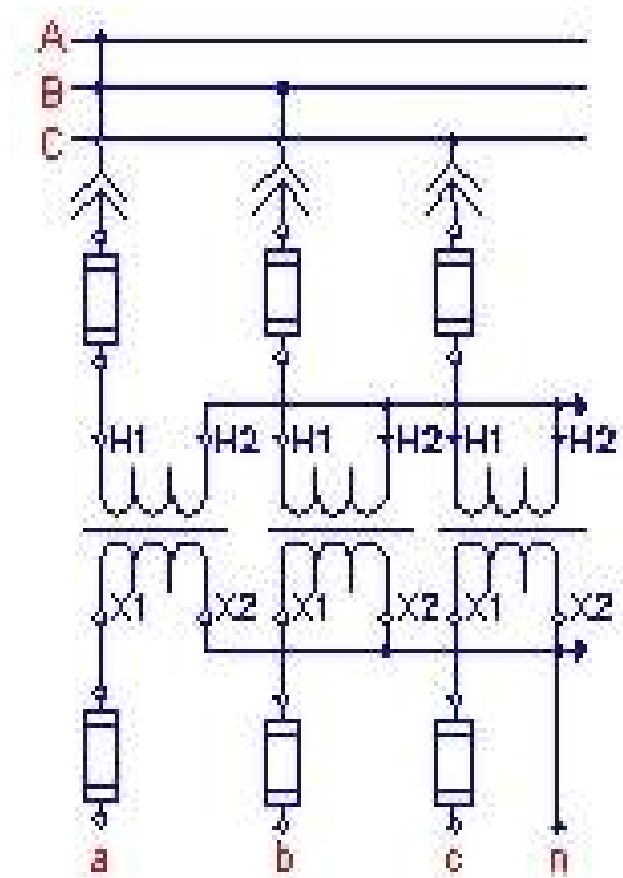
Frecuencia nominal:

No opere por debajo de la
frecuencia nominal sin consultar a
la fábrica.

Conexiones típicas de VT

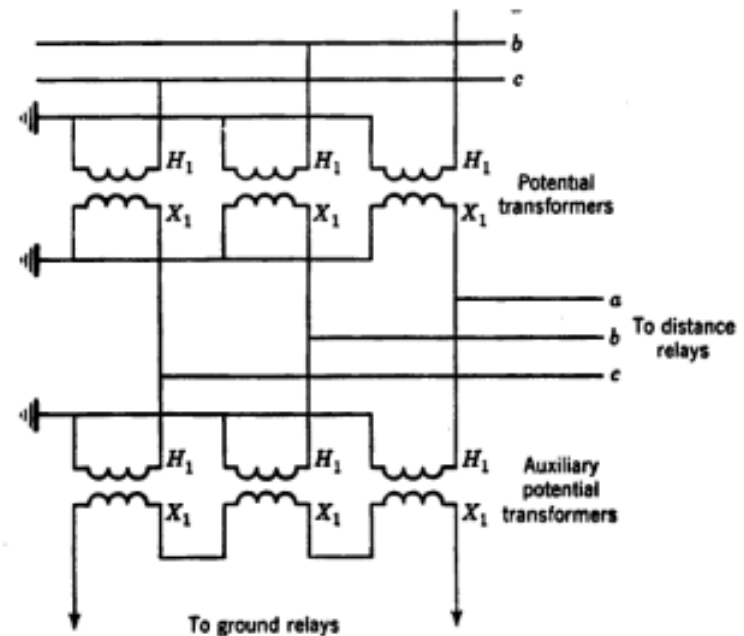
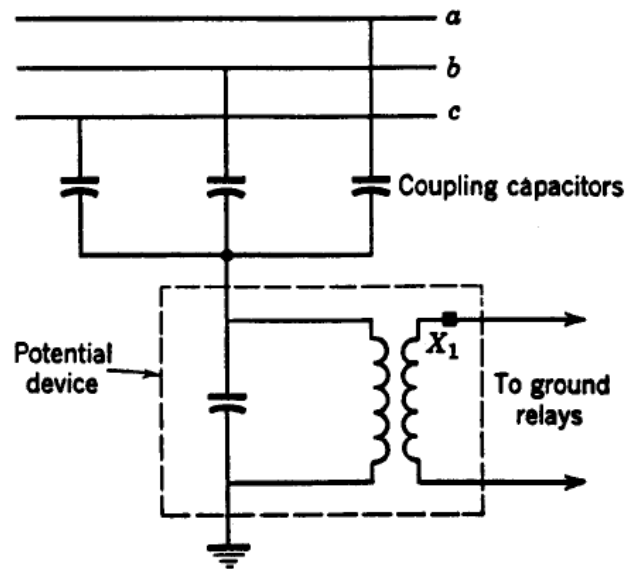


Abrir conexión Delta
(2) VT de doble buje



Conexión Y-Y
(3) VT de buje único

Conexiones típicas de VT para tierra direccional



$$\begin{aligned}
 V_{nm} &= V_a + V_b + V_c \\
 &= (V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}) + (V_{b1} + V_{b2} + V_{b0}) + (V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}) \\
 &= V_{a0} + V_{b0} + V_{c0} = 3V_{a0} = 3V_{b0} = 3V_{c0}
 \end{aligned}$$

Llevar reglas a casa

Tome la regla de inicio n.º 1

Nunca abra el circuito de un transformador de corriente secundario mientras el primario esté energizado.

Los CT están destinados a ser dispositivos de corriente proporcional. Se pueden producir voltajes muy altos al abrir el circuito secundario de un CT energizado. Incluso corrientes primarias muy pequeñas pueden causar daños... Consulte a la fábrica si tiene preguntas. Haga un cortocircuito o conecte una carga a cualquier CT que pueda estar energizado.

Tome la regla de inicio n.º 2

Nunca cortocircuite el secundario de un VT energizado.

Los TT están destinados a ser utilizados como dispositivos de voltaje proporcional. Se producirá una corriente dañina al cortocircuitar el circuito secundario de un VT energizado.

Tome la regla de inicio n.º 3

Aplicaciones de medición
no Requiere un TC clase “C”

Las clasificaciones de clase “C” se especifican únicamente con fines de protección. Con algunas excepciones, los TC de clase de medición suelen ser más pequeños y menos costosos.

Tome la regla de inicio n.º 4

Las derivaciones secundarias de TC deben agregarse a la carga de TC

Los relés electrónicos normalmente representan muy poca carga para el circuito secundario del CT. En muchos casos, la carga principal la causan las derivaciones secundarias de TC.

Tome la regla de inicio n.º 5

Nunca utilice un VT con clasificación de 60
Hz en un sistema de 50 Hz

Los VT de 60 Hz pueden saturarse a frecuencias más bajas y exceder las limitaciones de temperatura. Es probable que falle el VT... es posible que se produzcan daños graves en el equipo.

Tome la regla de inicio n.º 6

Tenga cuidado cuando
conexión de TT conectados a tierra a
sistemas no conectados a tierra

El voltaje de línea a tierra en cualquier VT puede exceder la clasificación de voltaje primario durante una condición de falla... El VT debe estar diseñado para la aplicación.

Tome la regla de inicio n.º 7

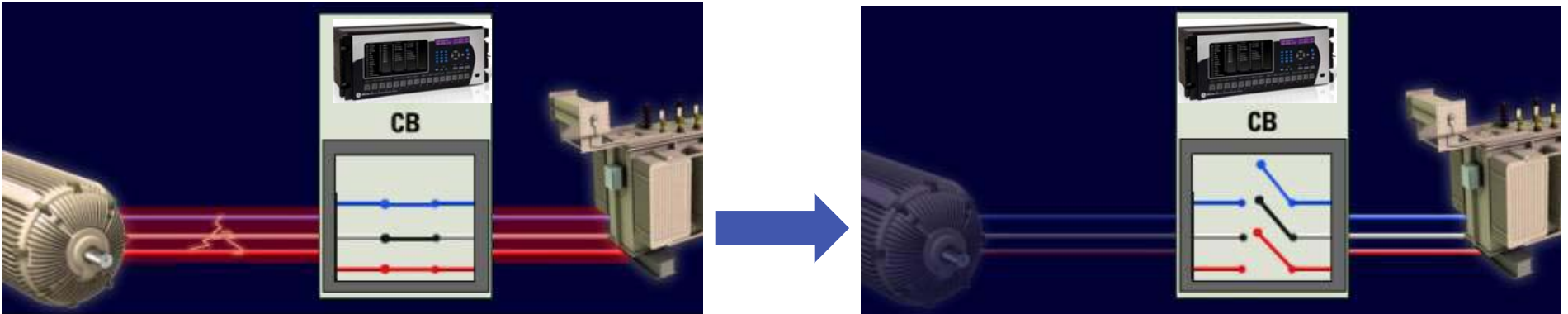
Verifique y vuelva a verificar la polaridad

El funcionamiento adecuado del medidor y del relé de protección se basa en las polaridades correctas de corriente y voltaje.

Fundamentos de retransmisión

Fundamentos de retransmisión

Función

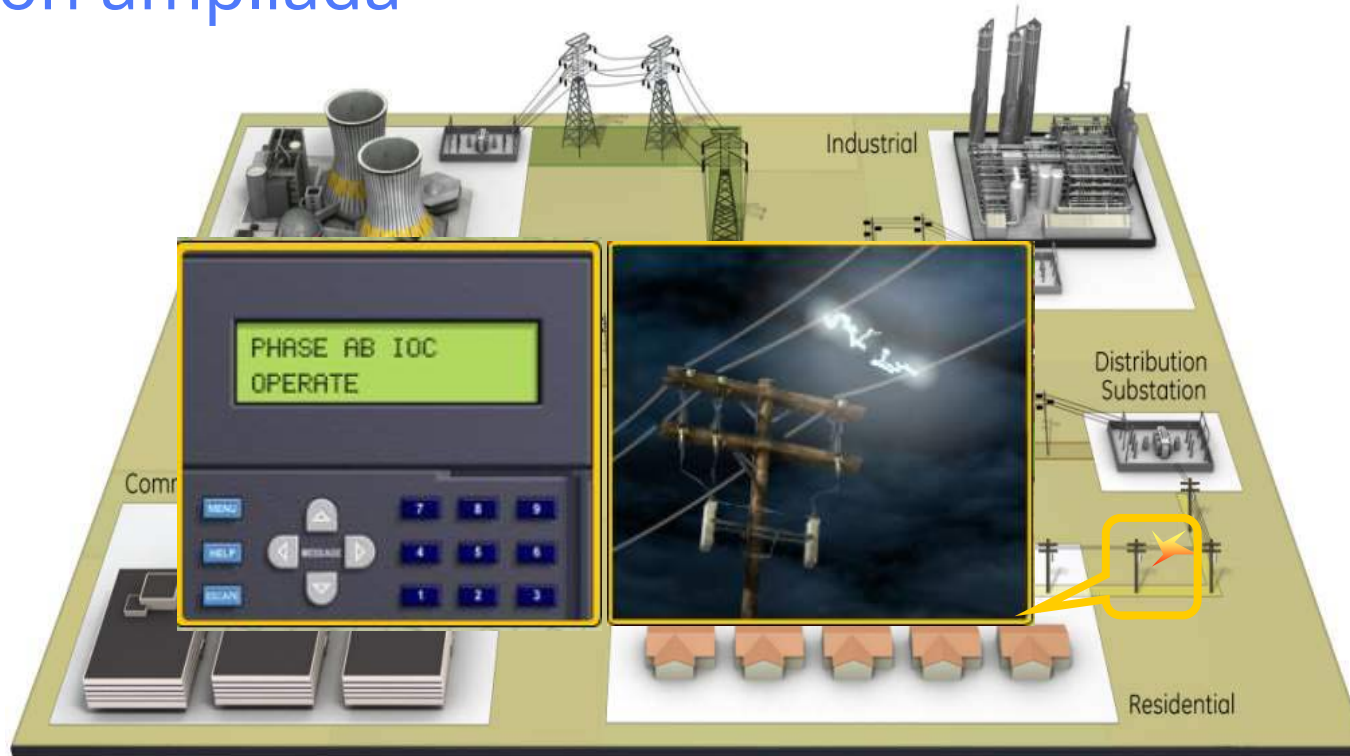


Los relés de protección localizan fallas y disparan disyuntores para interrumpir el flujo de corriente hacia el componente defectuoso. Este rápido aislamiento proporciona los siguientes beneficios:

- Minimiza o previene daños a componentes defectuosos
- Minimiza la gravedad y duración de la interferencia de la falla con el funcionamiento normal de las partes del sistema de energía que no tienen fallas.

Fundamentos de retransmisión

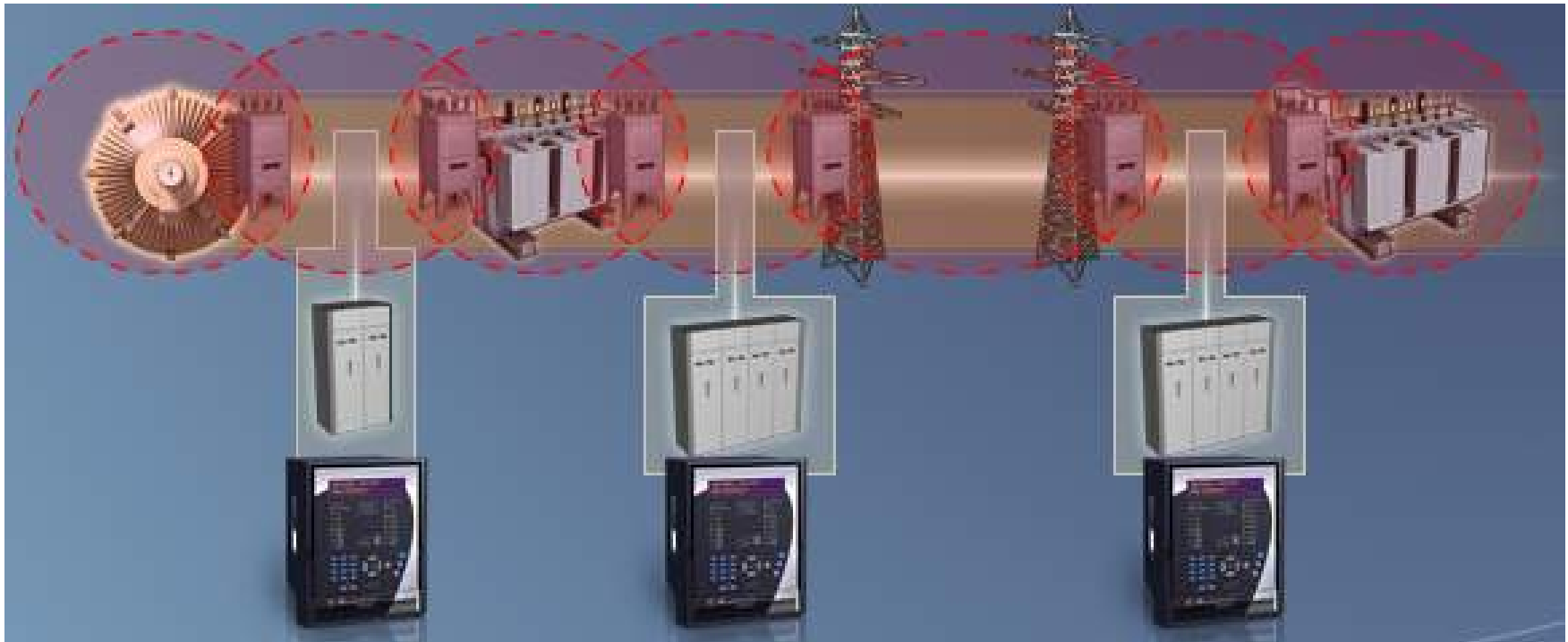
Función ampliada



Los relés de protección modernos también brindan información sobre la ubicación y el tipo de falla para ayudar con la reparación de equipos y el análisis del esquema de protección.

Fundamentos de retransmisión

Zonas de Protección



- Zonas de protección alrededor de cada componente principal del sistema de energía y disyuntor
- Zonas superpuestas alrededor de los disyuntores

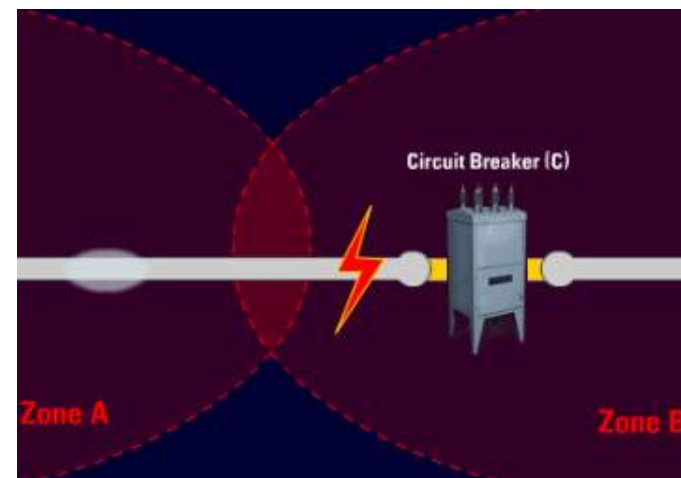
Fundamentos de retransmisión

Zonas de Protección

- Para zonas sin superposición, una falla en **entre zona** los límites pueden no estar adecuadamente protegido



- Para zonas sin superposición alrededor de los disyuntores, es posible que una falla en la zona del disyuntor no se aíse adecuadamente



Fundamentos de retransmisión

Requisitos

Requisitos del sistema de relé de protección para un funcionamiento adecuado:

- **Sensibilidad**a cargas muy pequeñas
- **Selectividad**operar solo lo que es obligatorio
- **Velocidad**
- **Fiabilidad**-Confiabilidad y seguridad

Fundamentos de retransmisión

Requisitos

- **Sensibilidad**-para operar en condiciones mínimas:



Fundamentos de retransmisión

Requisitos

- **Selectividad**-para disparar el número mínimo de disyuntores para eliminar una falla:



Fundamentos de retransmisión

Requisitos

Por fallas afuera de su zona de protección, si el esquema de retransmisión es:

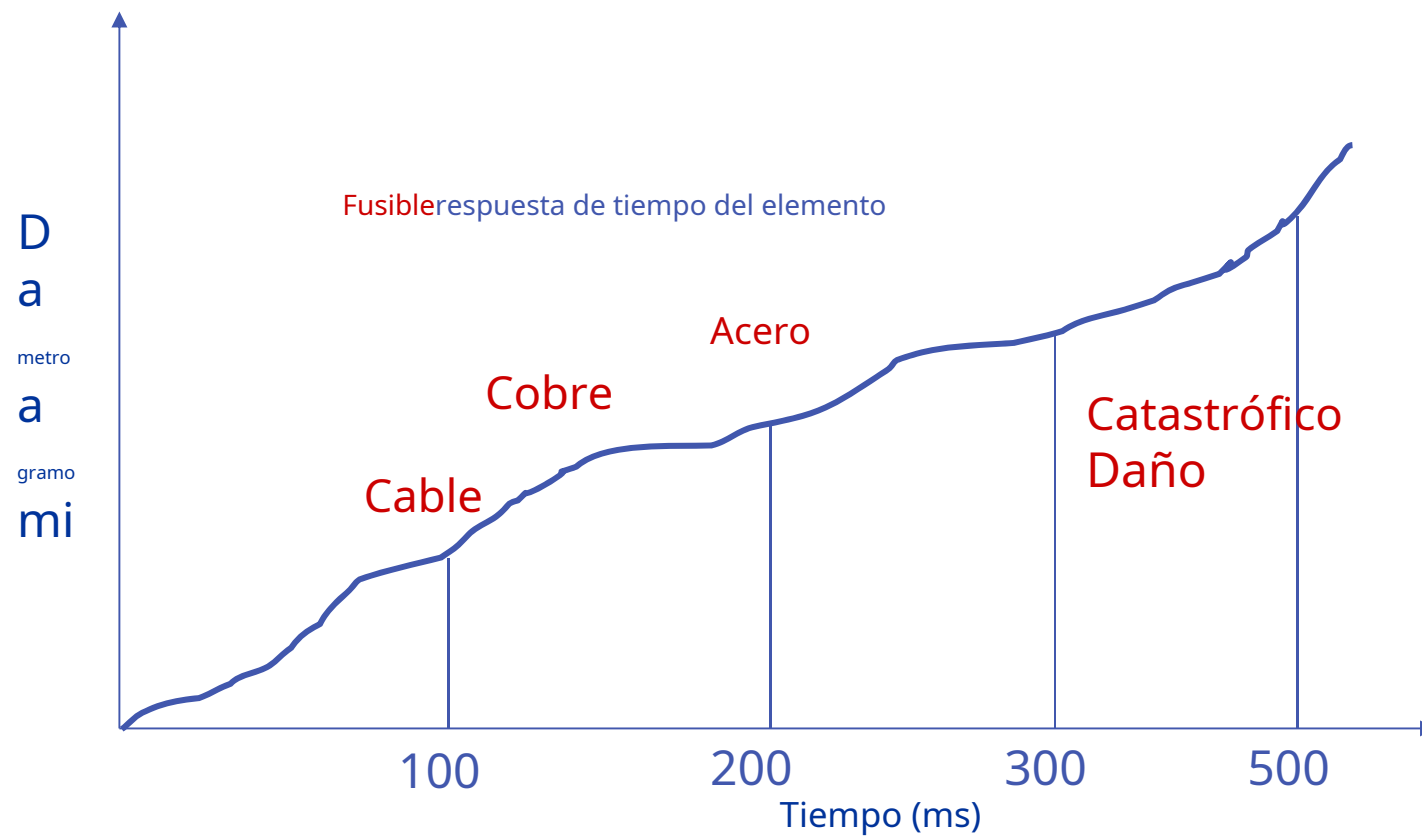
- Inherentemente selectivo: el relé no se ve afectado
- Relativamente selectivo: el relé funciona con retardo de tiempo



Fundamentos de retransmisión

Requisitos

- **Velocidad**-para aislar el componente dañado y mantener la estabilidad o el sincronismo del sistema de energía



Fundamentos de retransmisión

Daño Catastrófico



Fundamentos de retransmisión

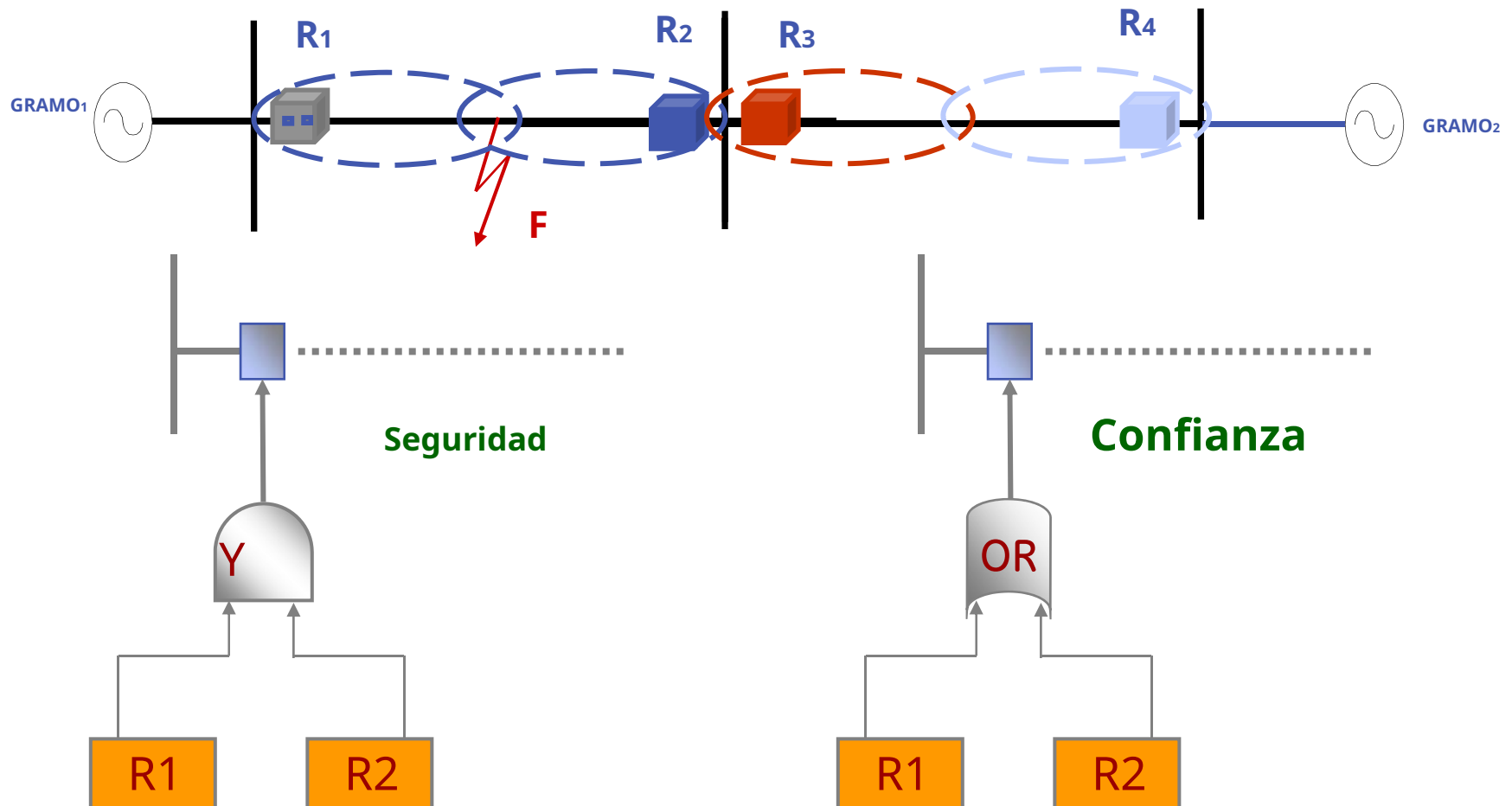
Requisitos

- Confiabilidad: está determinada por lo siguiente:
 - **Confiabilidad**- grado de **certeza** que el relé funcione correctamente para eliminar todas las fallas
 - **Seguridad**- grado de certeza de que el relé no funcionará **incorrectamente** para cualquier falla en su zona de protección y no reaccionar ante fallas fuera de su zona de protección

Fundamentos de retransmisión

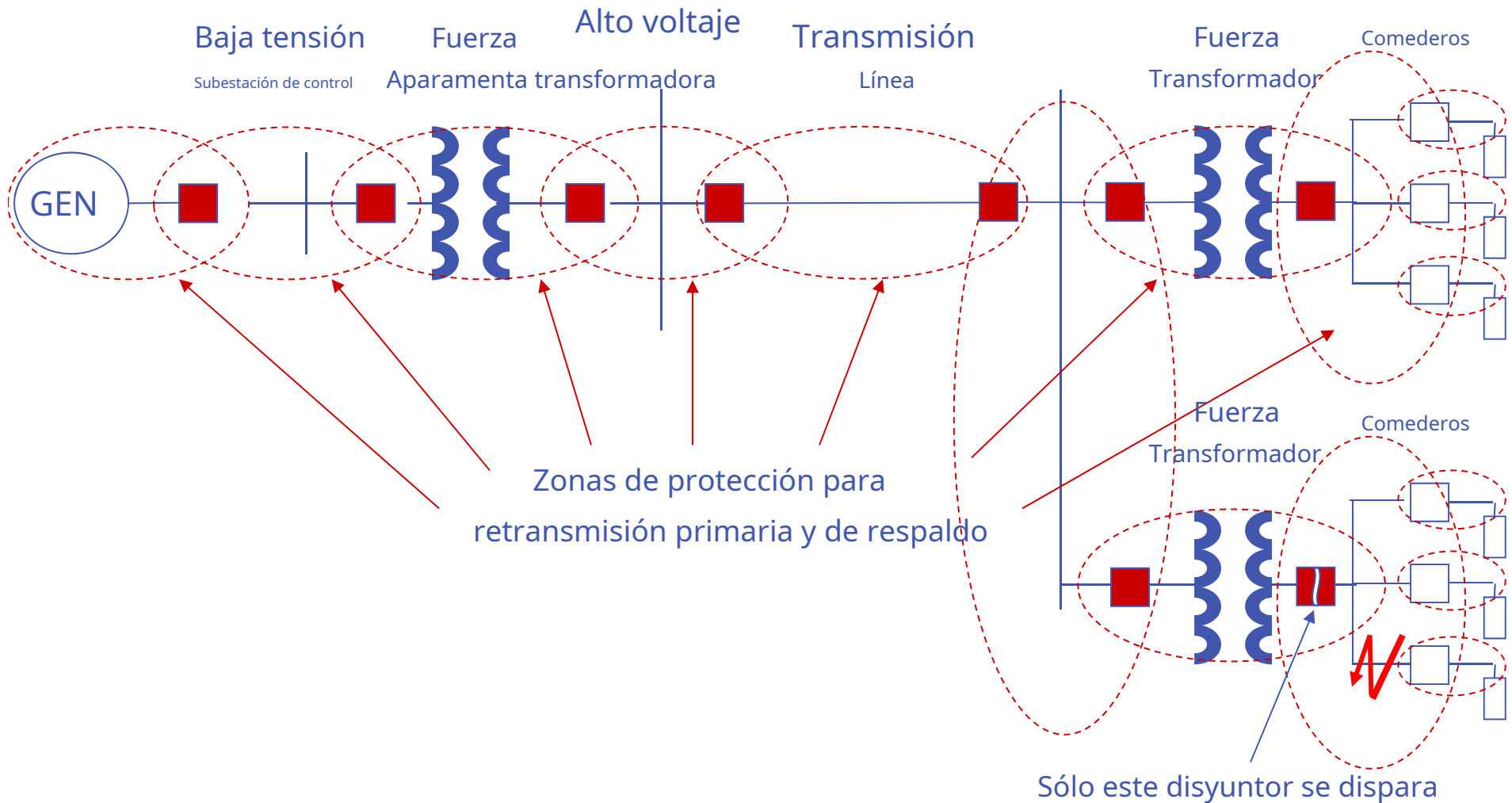
Requisitos

Ejemplo de confiabilidad:



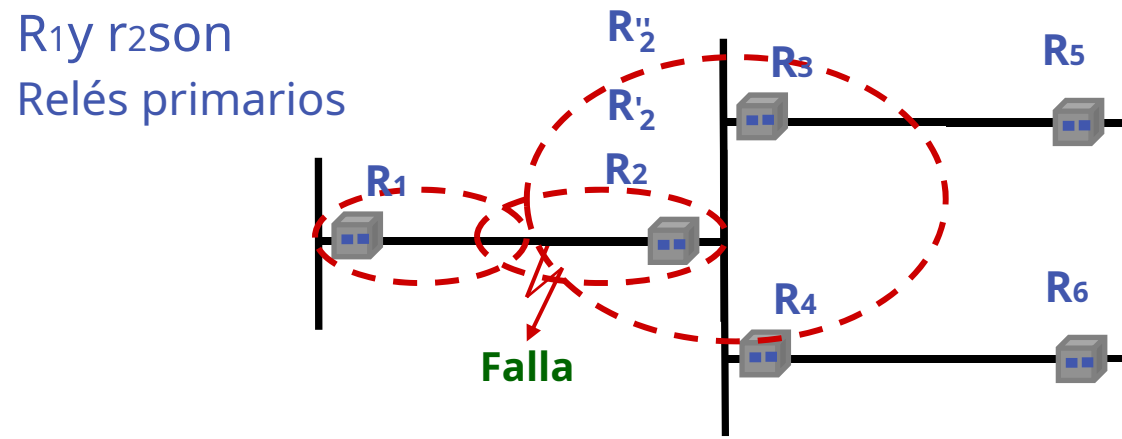
Fundamentos de retransmisión

Retransmisión primaria y de respaldo



Fundamentos de retransmisión

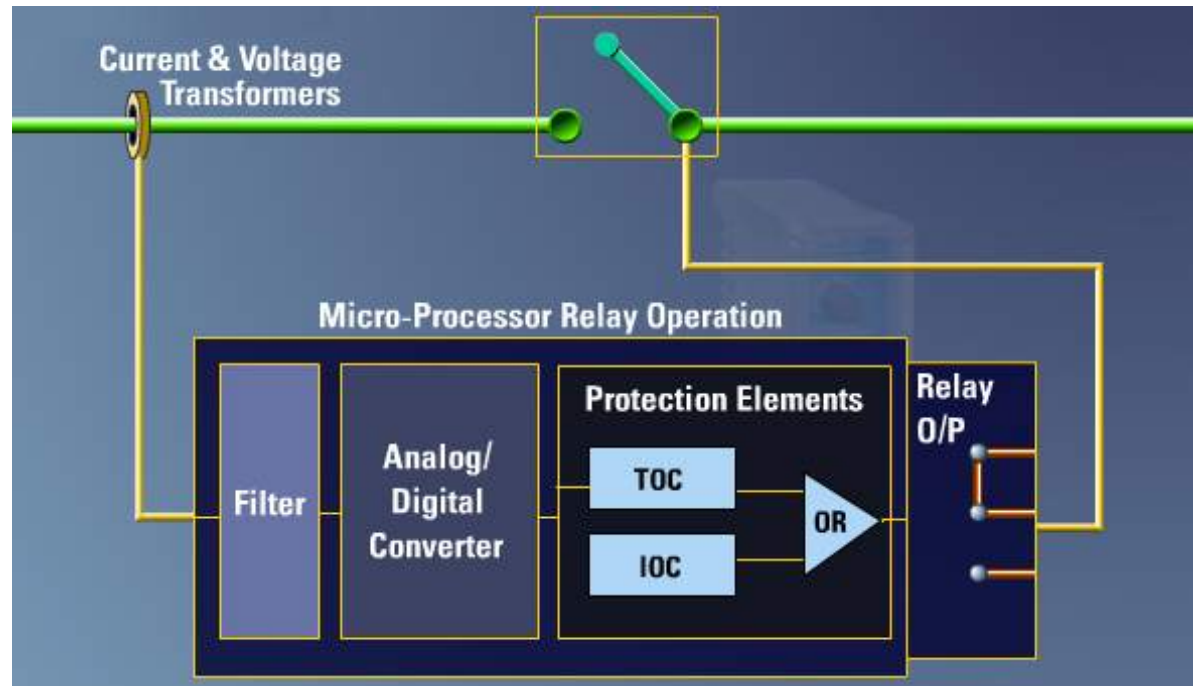
Ejemplo de retransmisión de respaldo



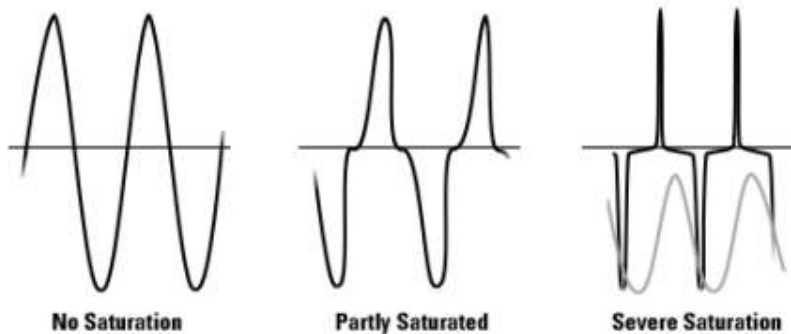
- Relé duplicado: relé de respaldo (R₂') ubicado en el mismo componente para falla del relé primario
- Retransmisión de respaldo local: retransmisión de respaldo (R₂'') ubicado en el mismo componente
- Retransmisión de respaldo remoto: relés de respaldo (R₃-R₆) ubicado en diferentes componentes

Fundamentos de retransmisión

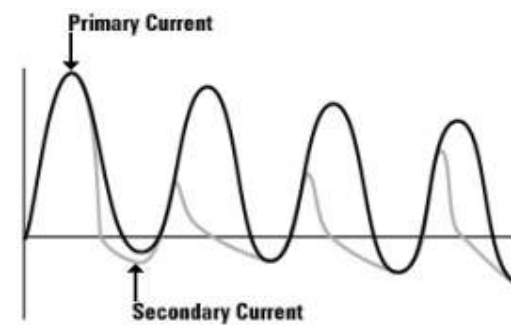
Requisitos



Saturación de CA:



Saturación CC:



Métodos de protección comunes

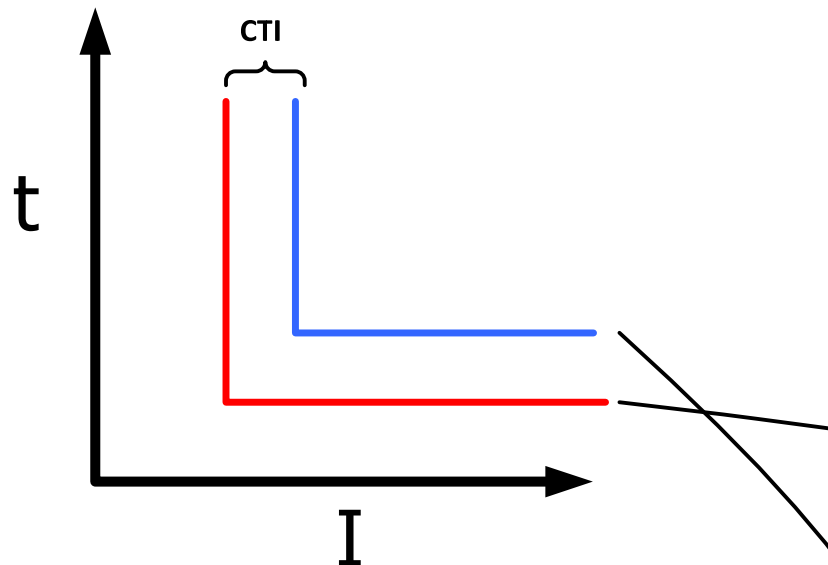
Tipos de protección

sobrecorriente

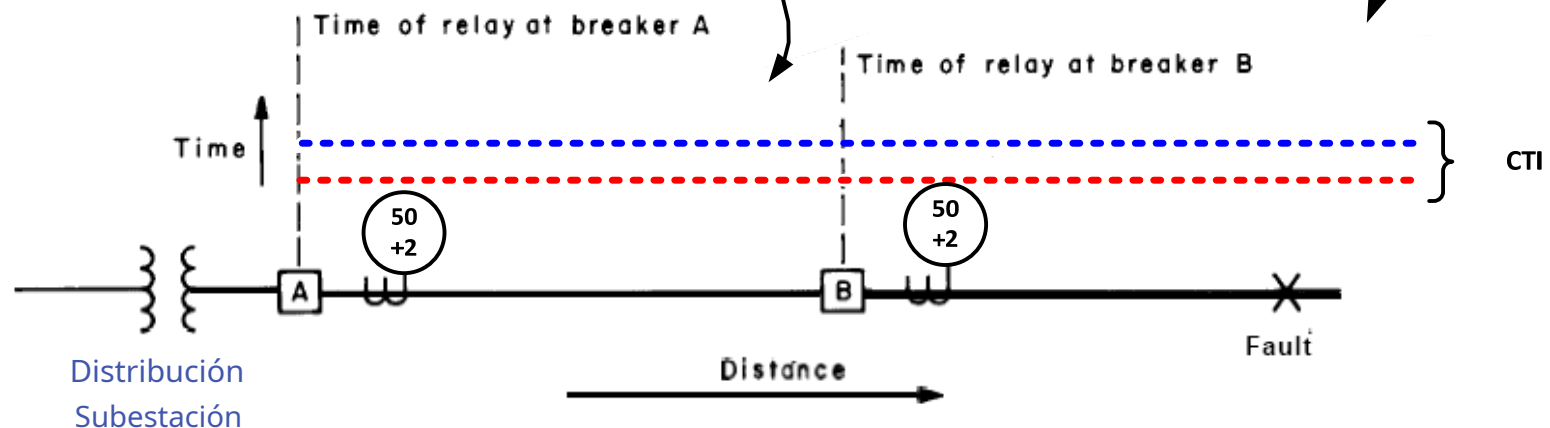
- Utiliza corriente para determinar la magnitud de la falla.
 - Simple
 - Puede emplear curvas instantáneas, de tiempo definido o de tiempo inverso.
 - puede ser lento
 - Selectividad a costa de la velocidad (pilas de coordinación)
 - Barato
 - Puede utilizar varios voltajes polarizadores o corriente de tierra para direccionalidad.
 - Los sistemas de comunicación se vuelven más selectivos

Tipos de protección

Sobrecorriente instantánea y sobrecorriente de tiempo definido

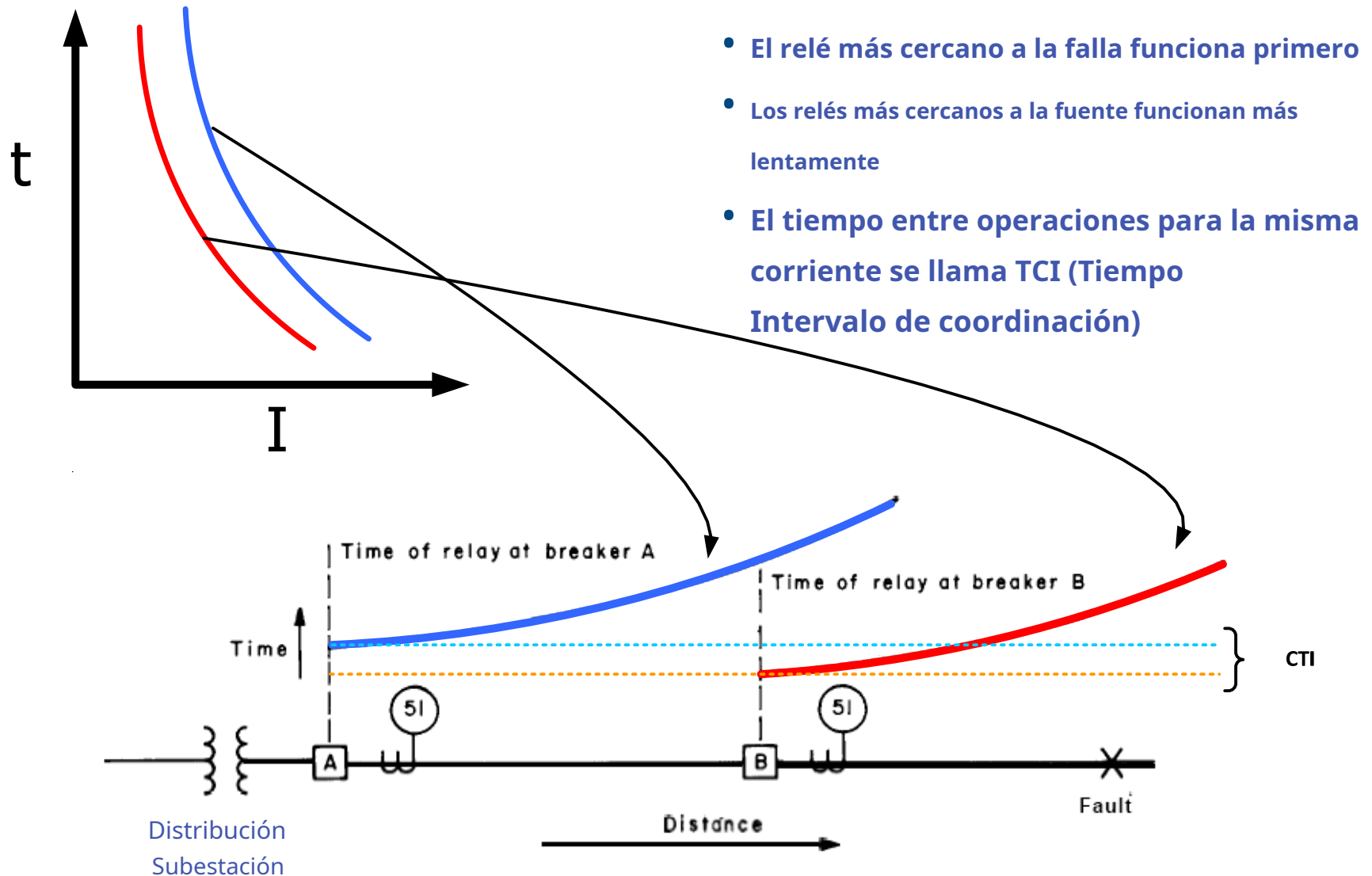


- El relé más cercano a la falla funciona primero
- Los relés más cercanos a la fuente funcionan más lentamente
- El tiempo entre operaciones para la misma corriente se llama TCI (Tiempo Intervalo de coordinación)



Tipos de protección

Sobrecorriente de tiempo



Tipos de protección

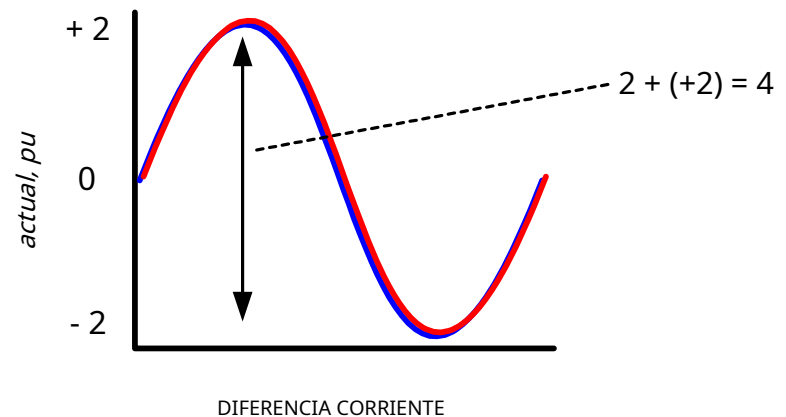
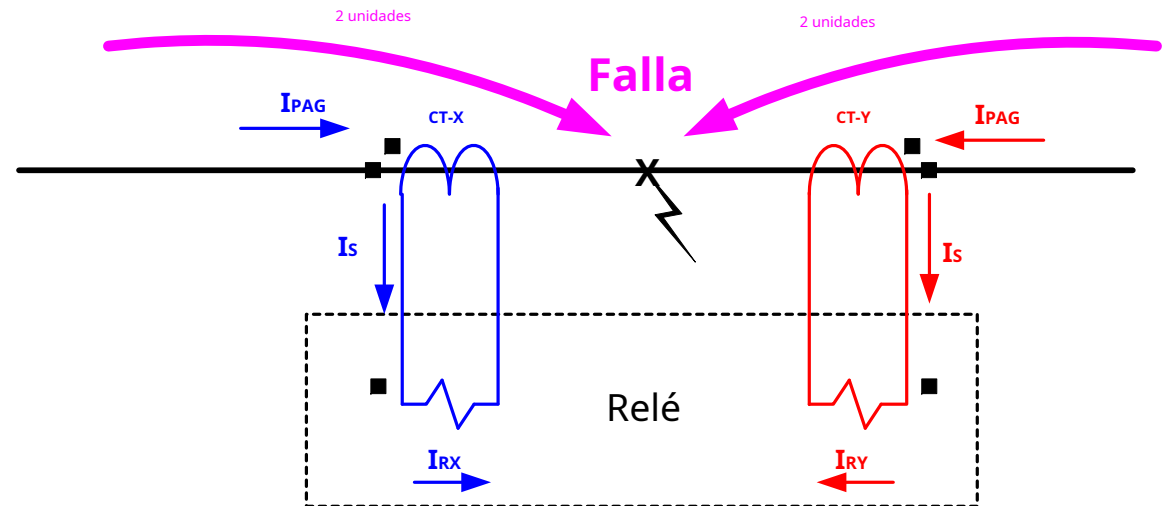
Diferencial

- Entrada de electricidad = salida de electricidad
- Simple
- Muy rapido
- Zona de limpieza muy definida
- Caro
- Limitaciones prácticas de distancia
 - Los sistemas diferenciales de línea superan esto mediante comunicaciones digitales.

Tipos de protección

Diferencial

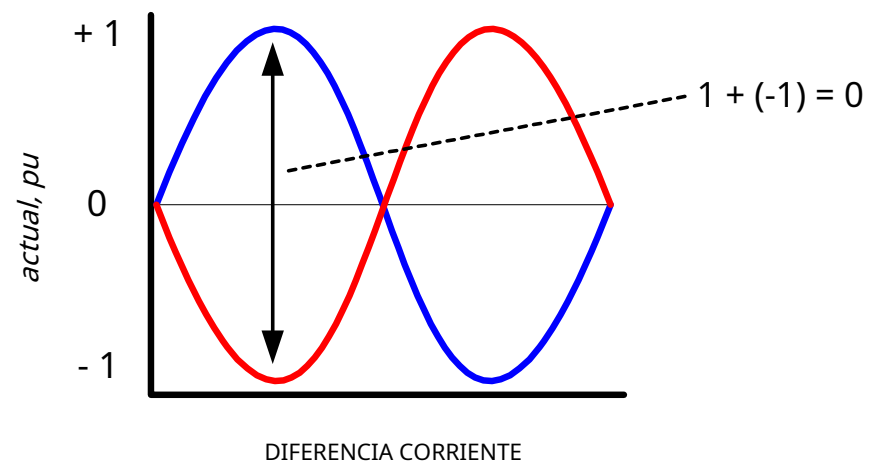
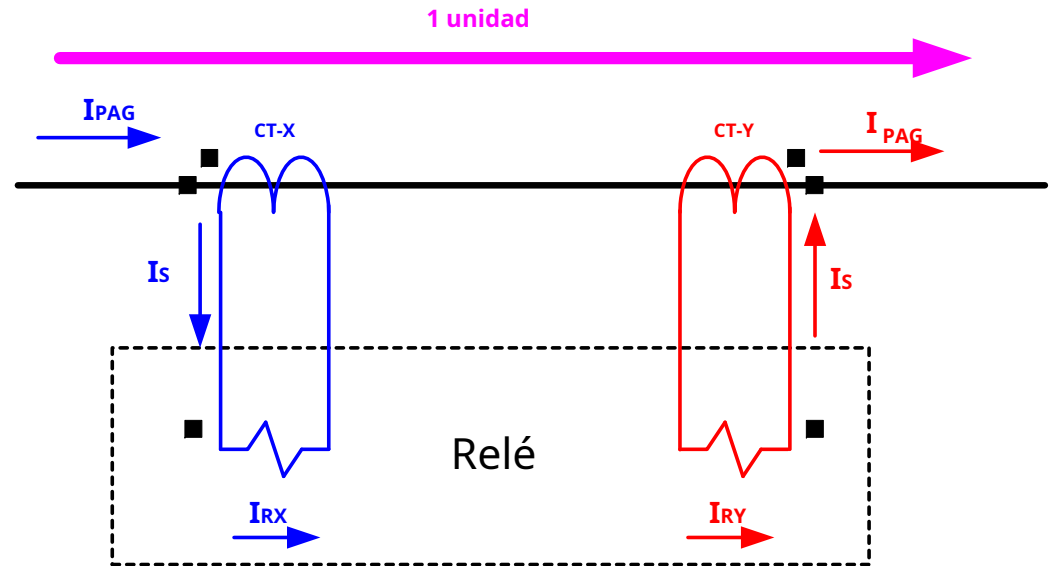
- Nota Puntos de polaridad CT
- Esto es una falla interna.
representación
- Formas de onda perfectas, sin saturación



Tipos de protección

Diferencial

- Nota Puntos de polaridad CT
- Esta es una corriente continua representación
- Formas de onda perfectas, sin saturación



Tipos de protección

Voltaje

- Utiliza voltaje para inferir fallas o condiciones anormales.
- Puede emplear curvas de tiempo definido o de tiempo inverso.
- También se puede utilizar para deslastre de carga por subtensión.
 - Simple
 - puede ser lento
 - Selectividad a costa de la velocidad (pilas de coordinación)
 - Barato

Tipos de protección

Frecuencia

- Utiliza la frecuencia del voltaje para detectar la condición del equilibrio de energía.
- Puede emplear curvas de tiempo definido o de tiempo inverso.
- Se utiliza para deslastre de carga y protección contra exceso o exceso de velocidad de maquinaria.
 - Simple
 - puede ser lento
 - La selectividad a costa de la velocidad puede salir cara

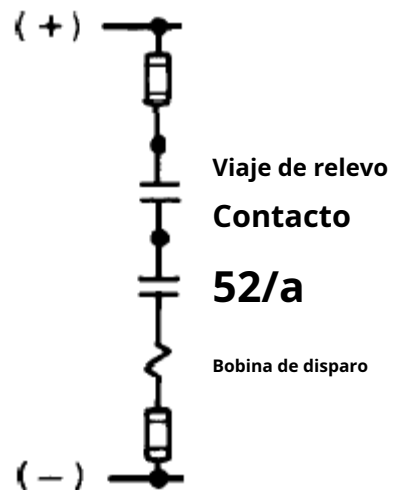
Tipos de protección

Fuerza

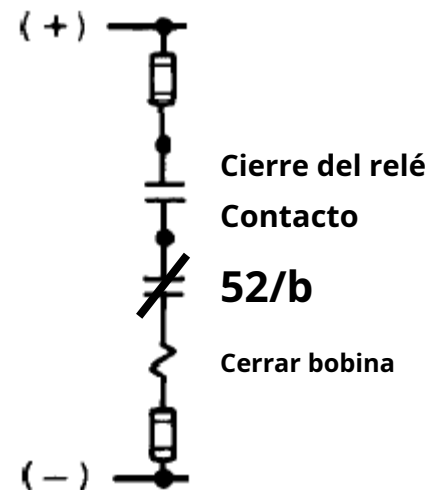
- Utiliza voltaje y corriente para determinar la magnitud y dirección del flujo de energía.
- Tiempo típicamente definido
 - Complejo
 - puede ser lento
 - La precisión es importante para muchas aplicaciones
 - puede ser caro

Circuitos de viaje y cierre

Circuito de viaje

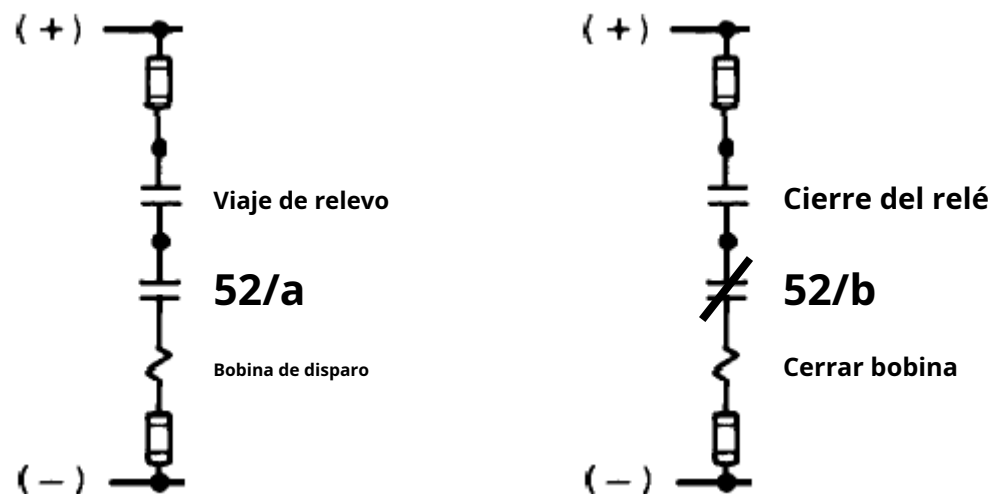


Circuito cerrado



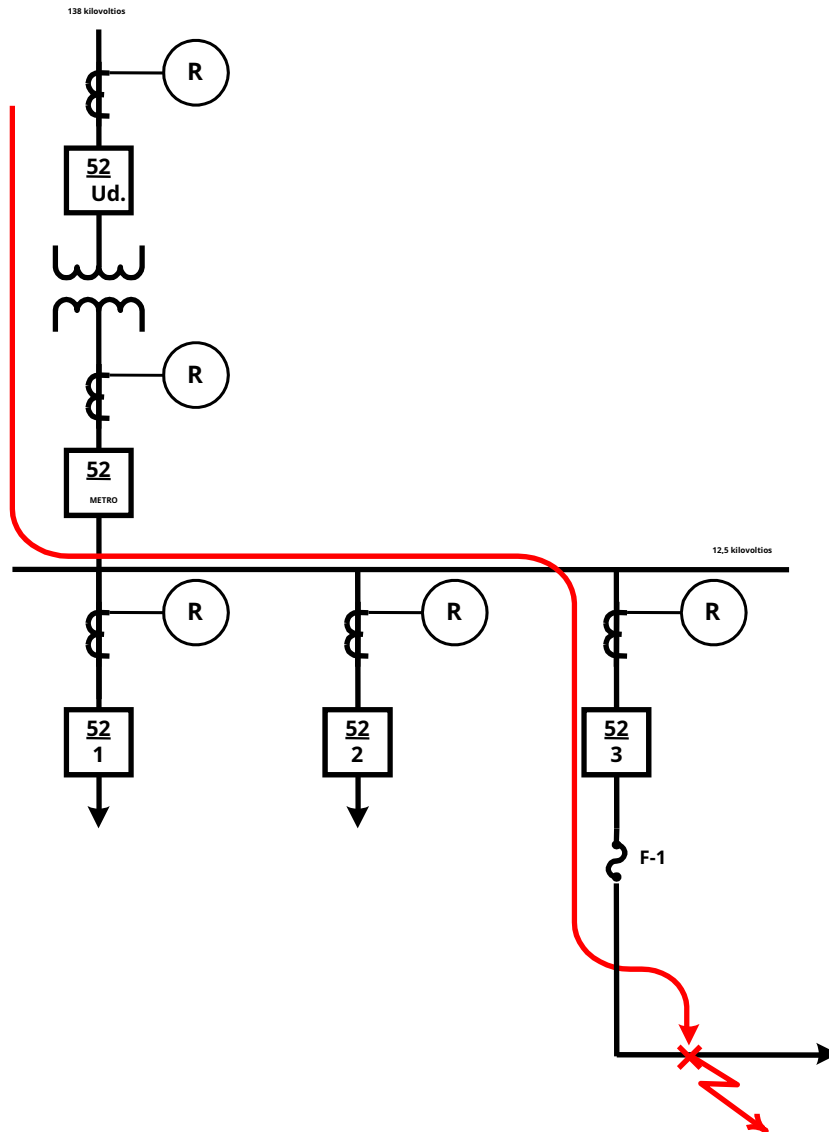
Clasificaciones de contactos de dispositivos de protección

- Los contactos de salida de los relés y controles de protección están destinados a activar el disparo o cierre del disyuntor y no interrumpir la corriente de disparo de CC o cerrar el circuito.
- Este es el propósito del contacto 52/a o 52/b dentro del circuito de disparo o cierre.
- Muchos dispositivos de protección ofrecen una función de sellado para los contactos de disparo y cierre, de modo que permanecen cerrados en función de un retraso de tiempo o la presencia de corriente CC en los circuitos de disparo o cierre.



Protección del alimentador

El problema de la protección



La falla es vista por

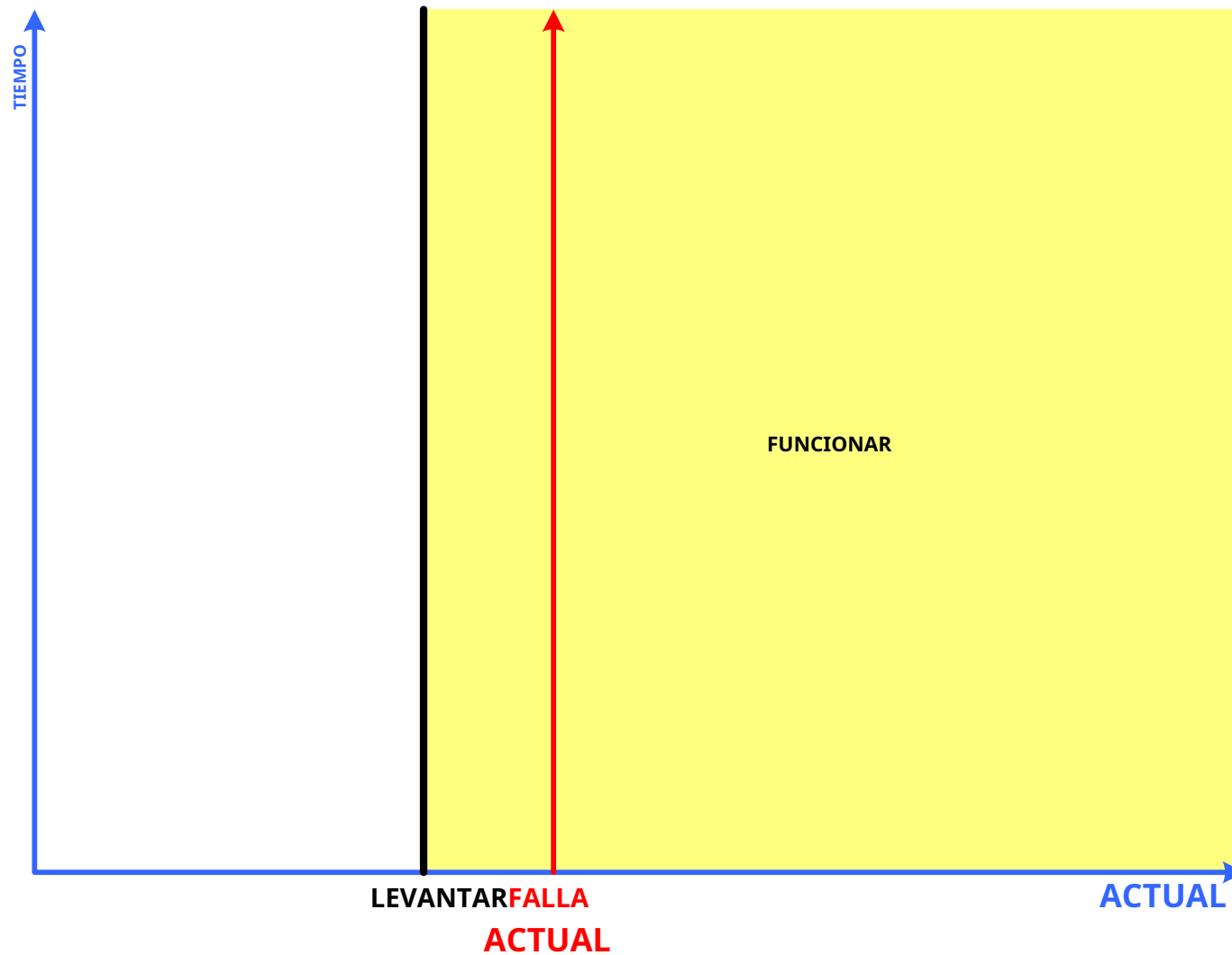
- Fusible F-1
- Relé del alimentador 3
- Relé del alimentador principal
- Relé del proveedor de servicios públicos

Protección contra la sobretensión

Tipos de dispositivos de sobrecorriente

- Relés instantáneos
- Relés de tiempo inverso
- Fusibles

Protección instantánea contra sobrecorriente

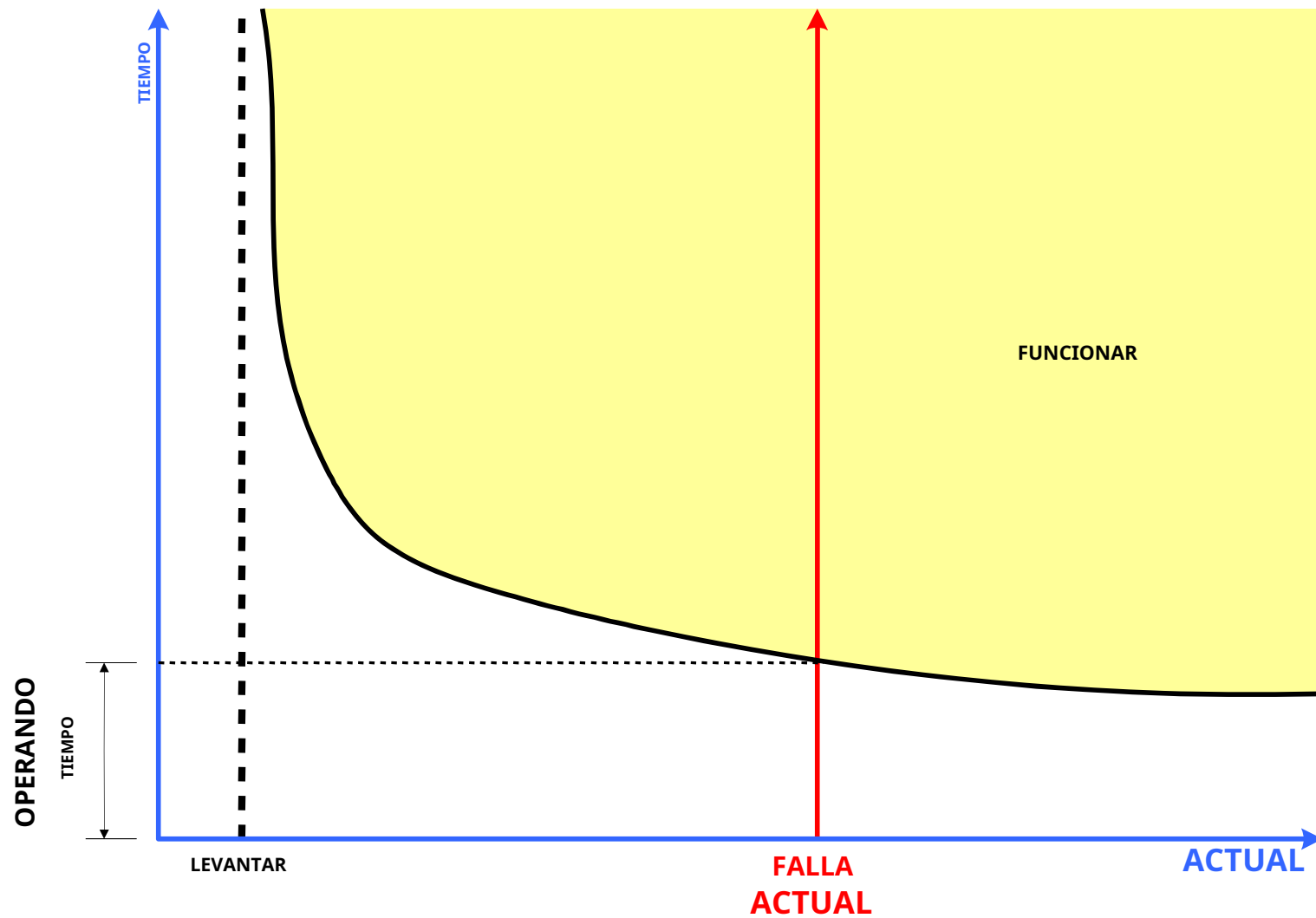


Múltiplos de recogida

Protección instantánea contra sobrecorriente

- Función ANSI**50**
- El elemento protector de sobrecorriente instantánea funciona sin demora intencional cuando la corriente ha excedido la configuración del relé.
- Hay un **levantar** configuración.
- 50P – fase inst. sobrecorriente.
- 50N – inst neutro. sobrecorriente
(La suma matemática de fasores de las corrientes de fase Ia, Ib, Ic es igual a In)
- 50G – instalación terrestre. sobrecorriente: configuración de activación
baja (valor de corriente medido desde un CT)
- Las empresas de servicios eléctricos suelen utilizar elementos instantáneos de ajuste alto y bajo.
Algunos ingenieros de protección bloquearán el recierre cuando opere una sobrecorriente instantánea de ajuste alto.
- A menudo se utiliza un breve retardo de 200 ms para permitir que los fusibles aguas abajo se fundan antes de que el elemento de sobrecorriente instantáneo opere en los alimentadores de distribución de servicios públicos.

Protección contra sobrecorriente de tiempo



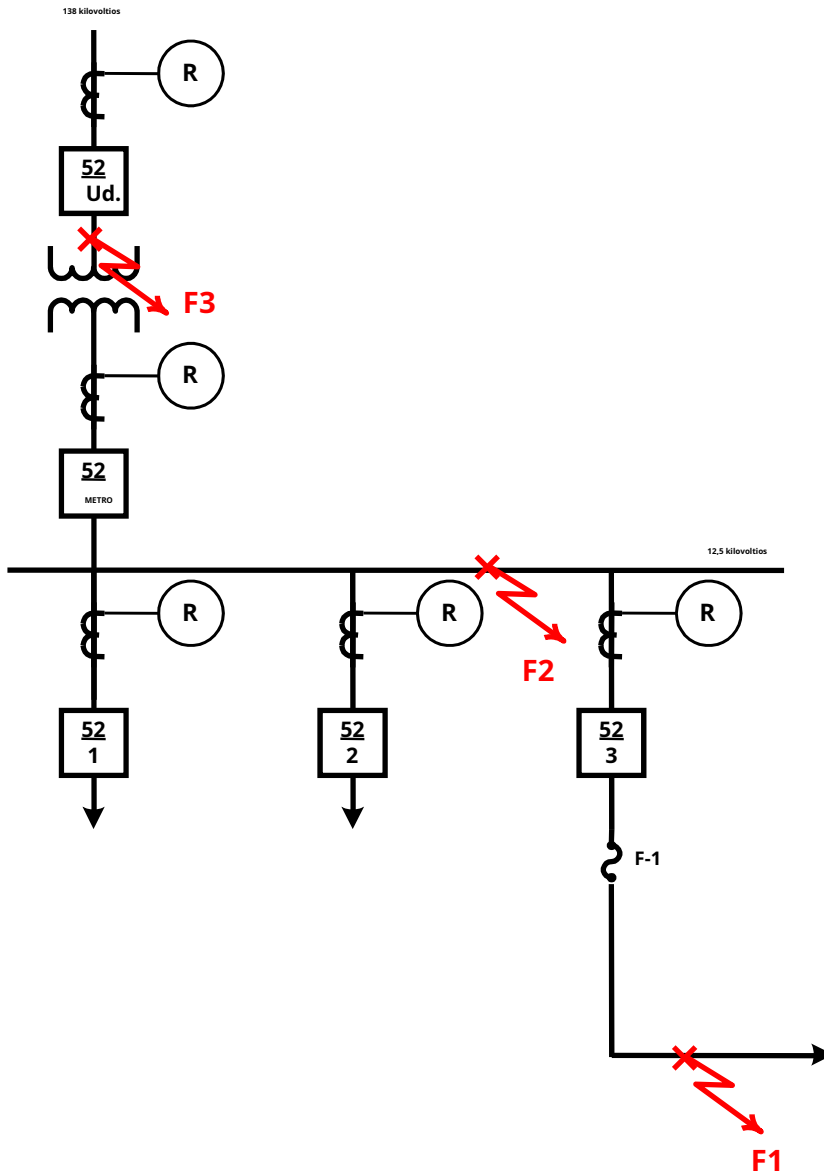
Múltiplos de recogida

Protección contra sobrecorriente de tiempo

- Función ANSI**51**

- Cuando se desea tener más retardo antes de que el elemento opere con el fin de coordinar con otros relés o dispositivos de protección, se utiliza un elemento protector de sobrecorriente de tiempo. El tiempo de viaje varía inversamente con la magnitud actual.
- Las curvas características más utilizadas se denominan inversa, muy inversa y extremadamente inversa. El usuario debe seleccionar el **tipo de curva**. Se dice que son una familia de curvas y seleccionadas por el **marcar el tiempo**.
- El tipo de curva y el dial de tiempo son configuraciones independientes. El tipo de curva se selecciona de modo que la característica del relé coincida mejor con las características de los dispositivos de sobrecorriente aguas abajo y aguas arriba. El dial de tiempo ajusta el retardo de tiempo de la característica para lograr la coordinación entre los dispositivos de sobrecorriente aguas abajo y aguas arriba.
- **Recogida mínima** configuración. Configuración de captación elegida para que el dispositivo de protección funcione en la parte más inversa de su curva de tiempo en el rango de corriente para el cual debe operar.
- 51P – sobrecorriente de tiempo de fase
- 51N – sobrecorriente de tiempo neutro
(La suma matemática de fasores de las corrientes de fase I_a , I_b , I_c es igual a I_n)
- 51G – sobrecorriente de tiempo de tierra - configuración de activación
baja (valor de corriente medido desde un CT)

Magnitud de la corriente de falla



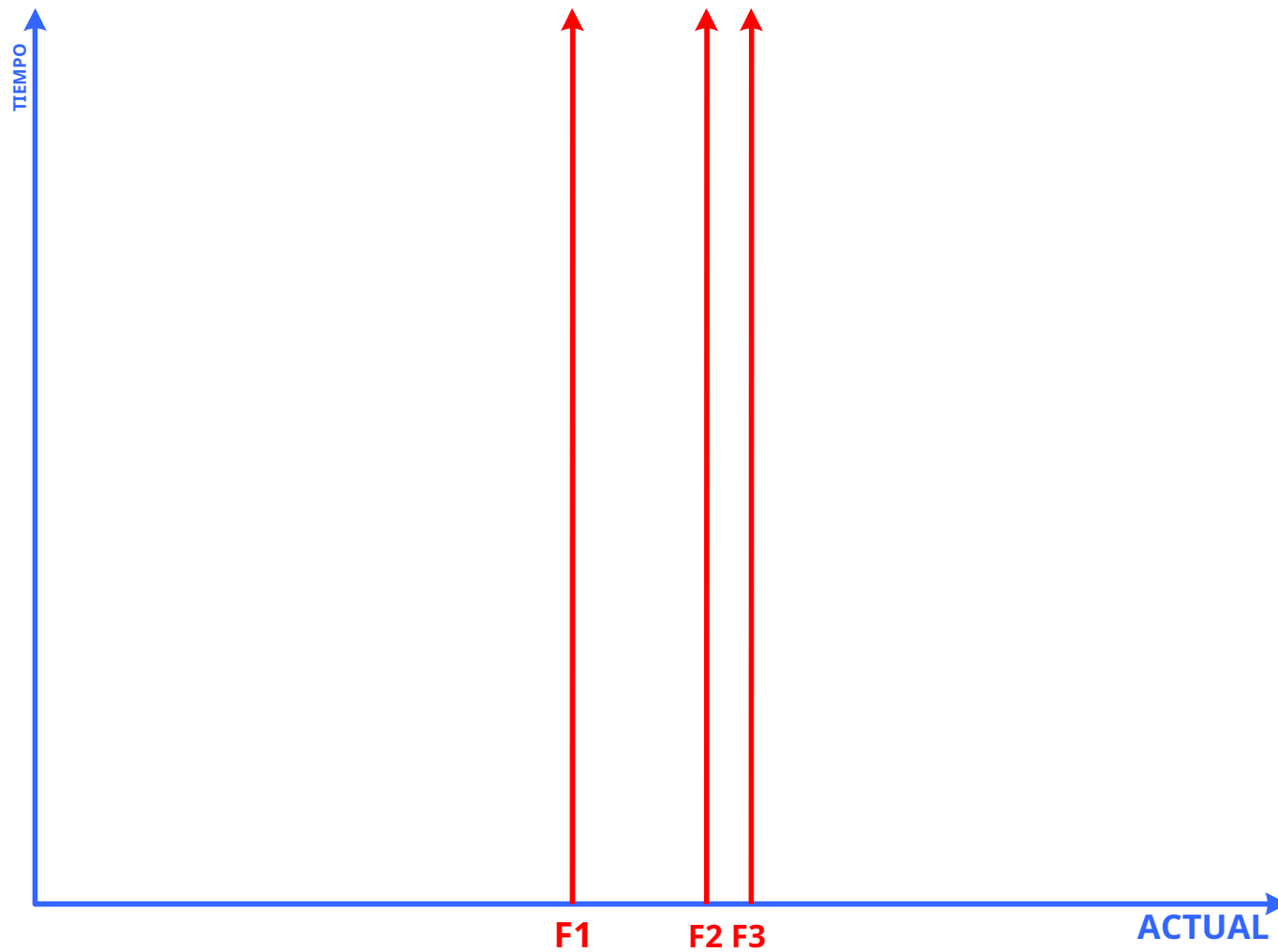
Magnitud de la falla

- $F3 > F2 > F1$

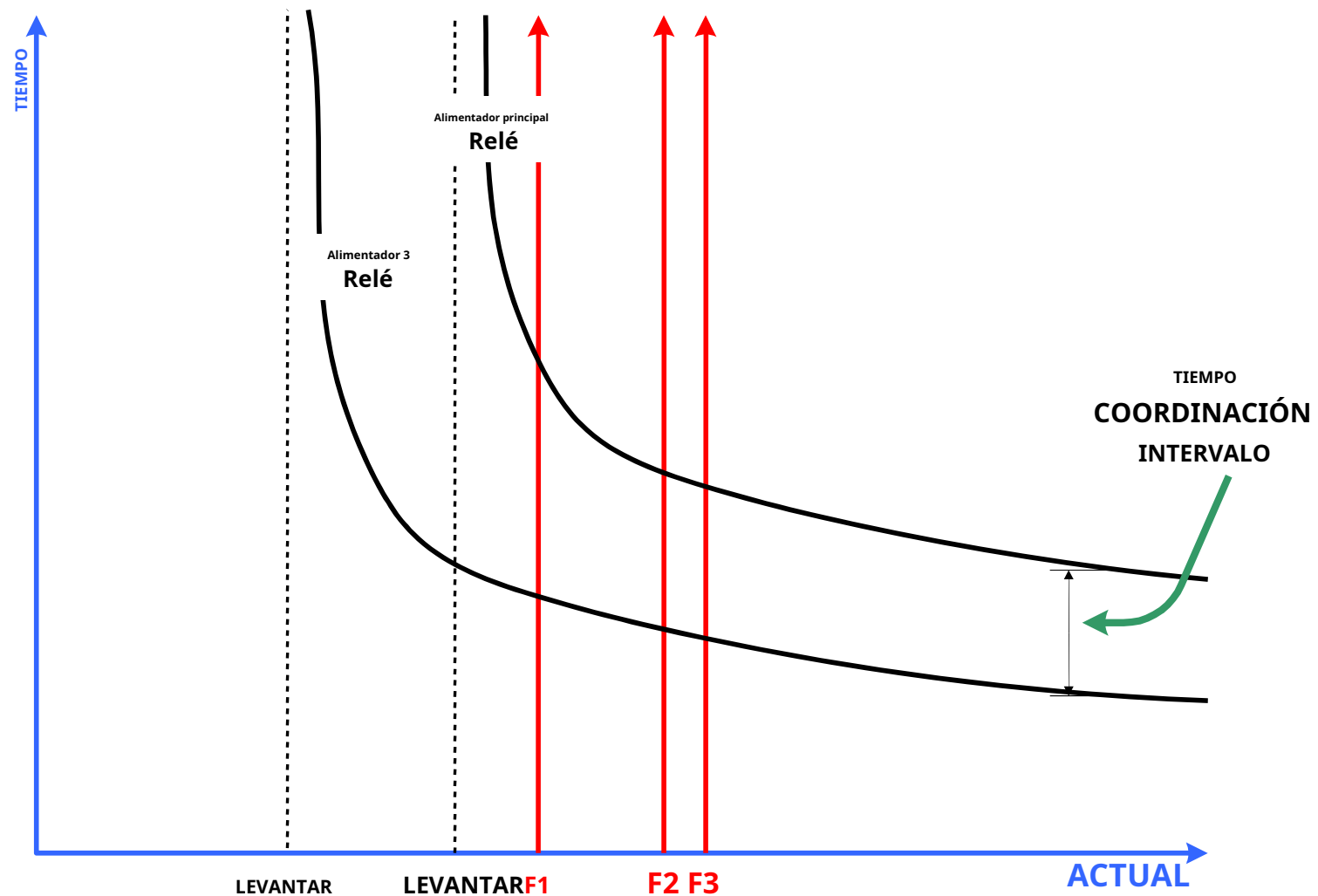
¿Por qué?

- Impedancia
- $Y_0 = V/Z$

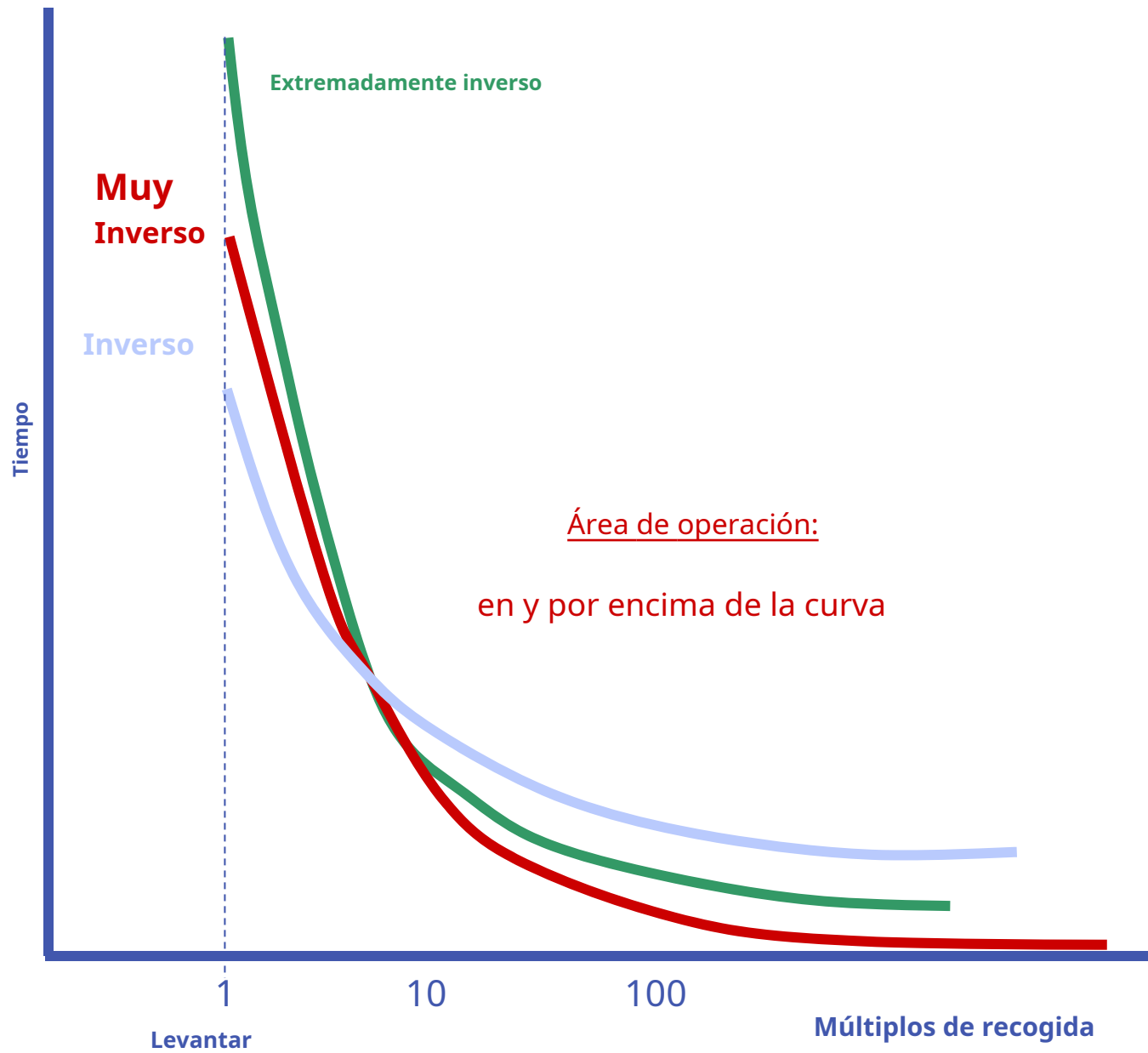
Corrientes de falla



Intervalo de coordinación horaria (TCI)

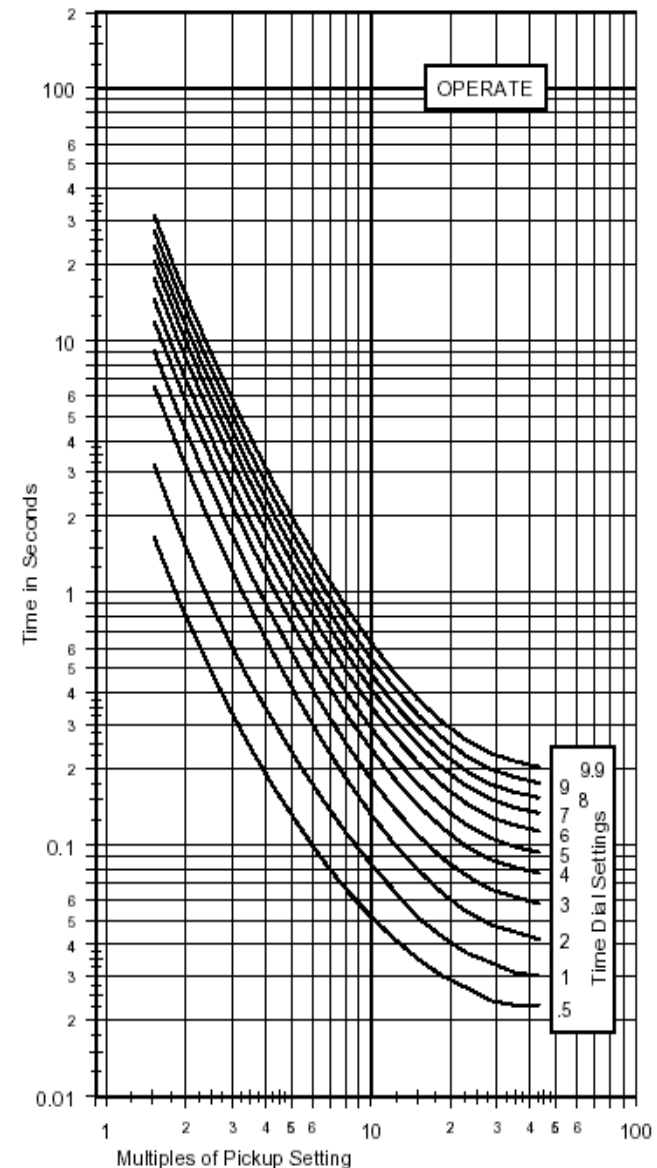


Protección contra sobrecorriente de tiempo



Protección contra sobrecorriente de tiempo

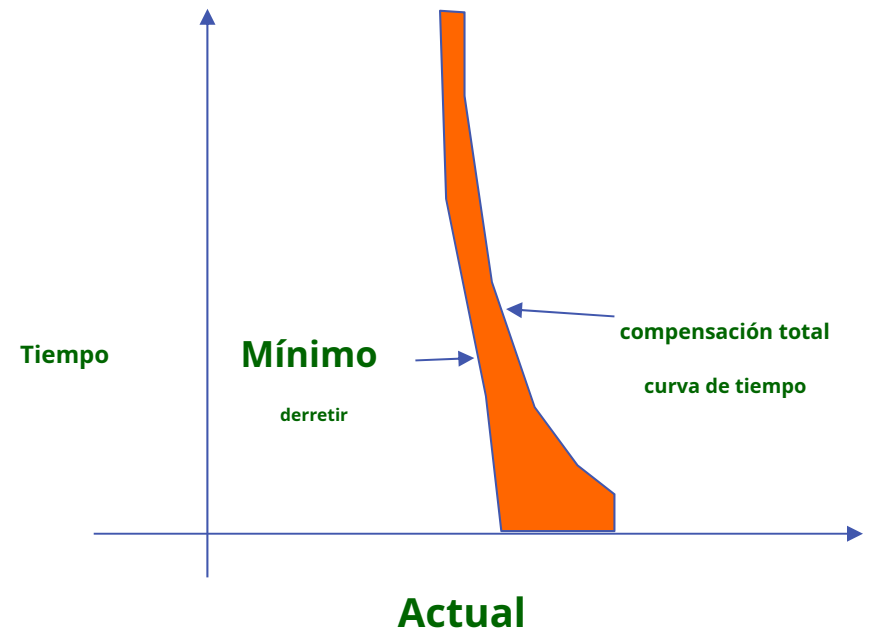
- Durante la selección de la curva, la protección
El ingeniero utilizará lo que se denomina “**multiplicador de tiempo**” o “**marcar el tiempo**” para desplazar efectivamente la curva hacia arriba o hacia abajo en el eje del tiempo
- La región operativa se encuentra encima de la curva seleccionada, mientras que la región no operativa se encuentra debajo de ella.
- **Levantar** Se utiliza para mover la curva hacia la izquierda y hacia la derecha.



Fusión y Coordinación

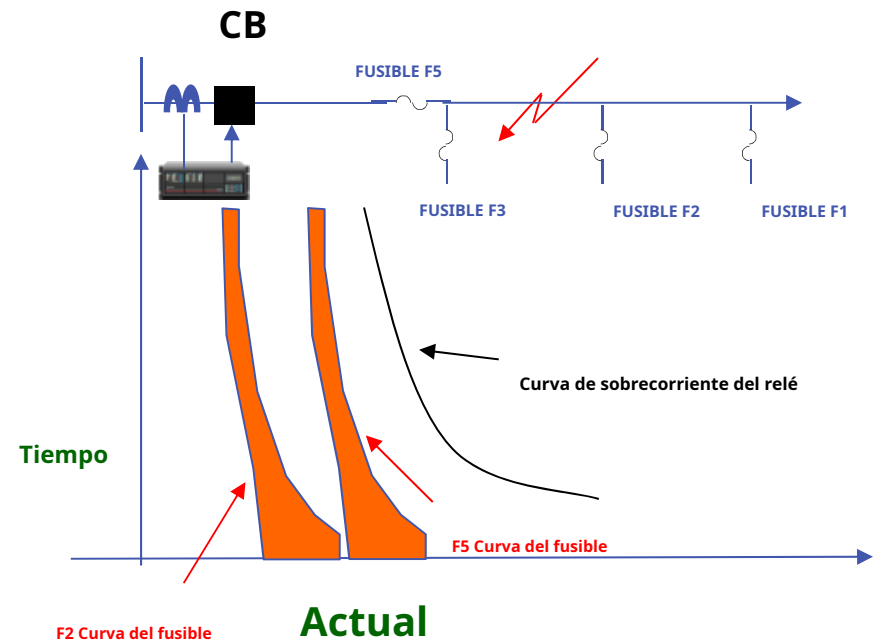
Tiempo del fusible versus característica actual

- Las características de tiempo versus corriente de un fusible tienen dos curvas.
- La primera curva se llama curva previa al arco.
 - La curva de prearco (o fusión) es el tiempo entre el inicio de una corriente lo suficientemente grande como para causar que los elementos fusibles se fundan y el instante en que se produce el arco.
- La segunda curva se llama tiempo total de compensación.
 - El tiempo total de limpieza es el tiempo total que transcurre desde el inicio de una sobrecorriente hasta la interrupción final del circuito.
- La curva característica tiempo-corriente de un fusible sigue una I^2t Característica T: es decir, a medida que aumenta la corriente, el tiempo disminuye en el cuadrado del aumento de corriente.



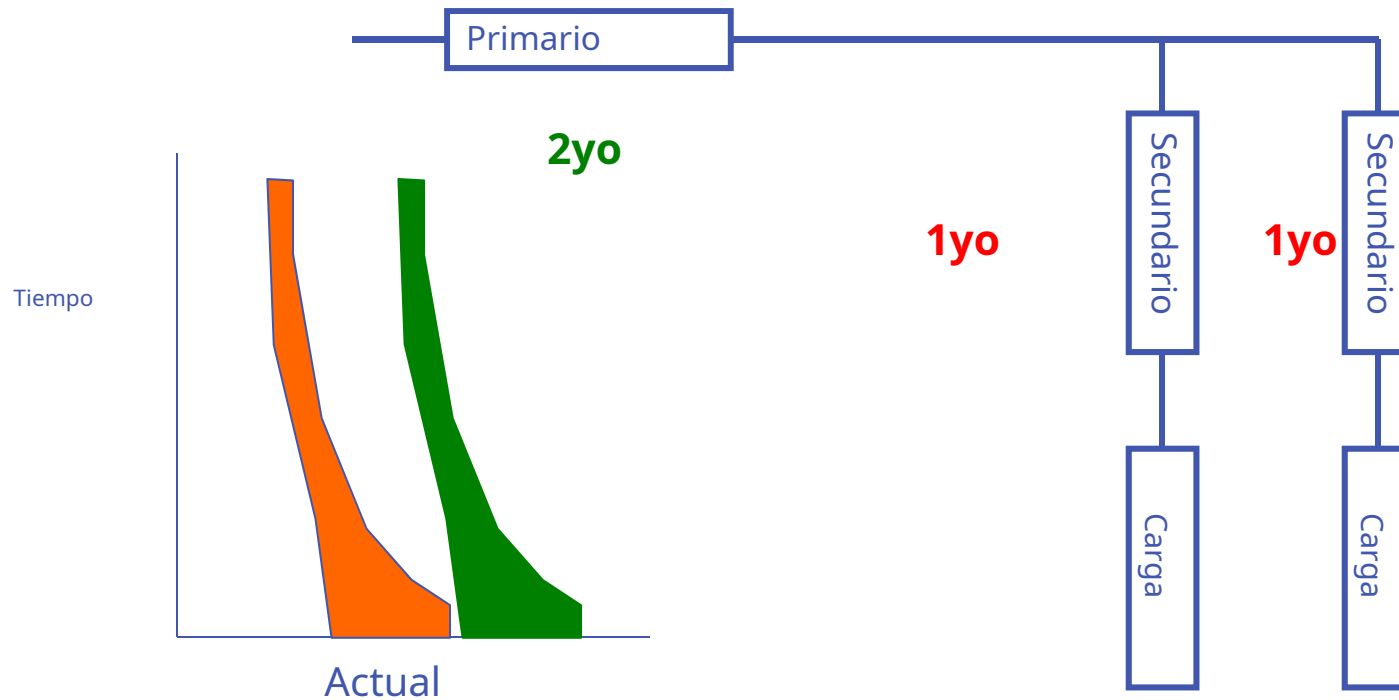
Coordinación de elementos protectores

- Es muy importante coordinar la protección contra sobrecorriente. Tome el sistema de ejemplo que se muestra. Si apareciera una falla en la posición indicada, el fusible F5 debería abrirse. Si fallara, el disyuntor del alimentador debería dispararse un poco más tarde porque su protección se ha coordinado adecuadamente con los fusibles aguas abajo.
- Los dispositivos de protección adecuadamente coordinados ayudan a:
 1. Eliminar las interrupciones del servicio por fallas temporales
 2. Minimizar el alcance de las fallas para reducir el número de cargas afectadas
 3. Localizar la avería, minimizando así las interrupciones del servicio.



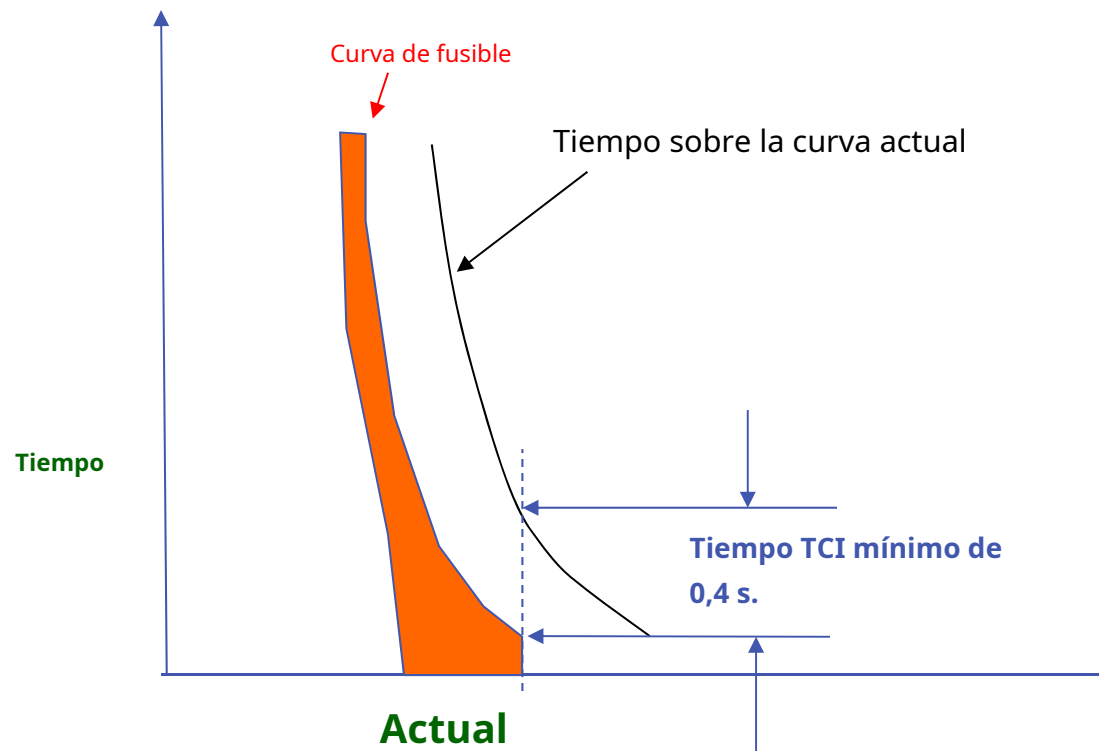
Coordinación – Entre fusibles

- El tiempo de funcionamiento de un fusible es función del tiempo de prearco (fusión) y de arco.
- Para una coordinación adecuada, total $I_2La T$ del fusible secundario no debe exceder el prearmado (fusión) del fusible primario. Esto se establece si la relación de corriente entre la clasificación de corriente del fusible primario y secundario es 2 o mayor para fusibles del mismo tipo.



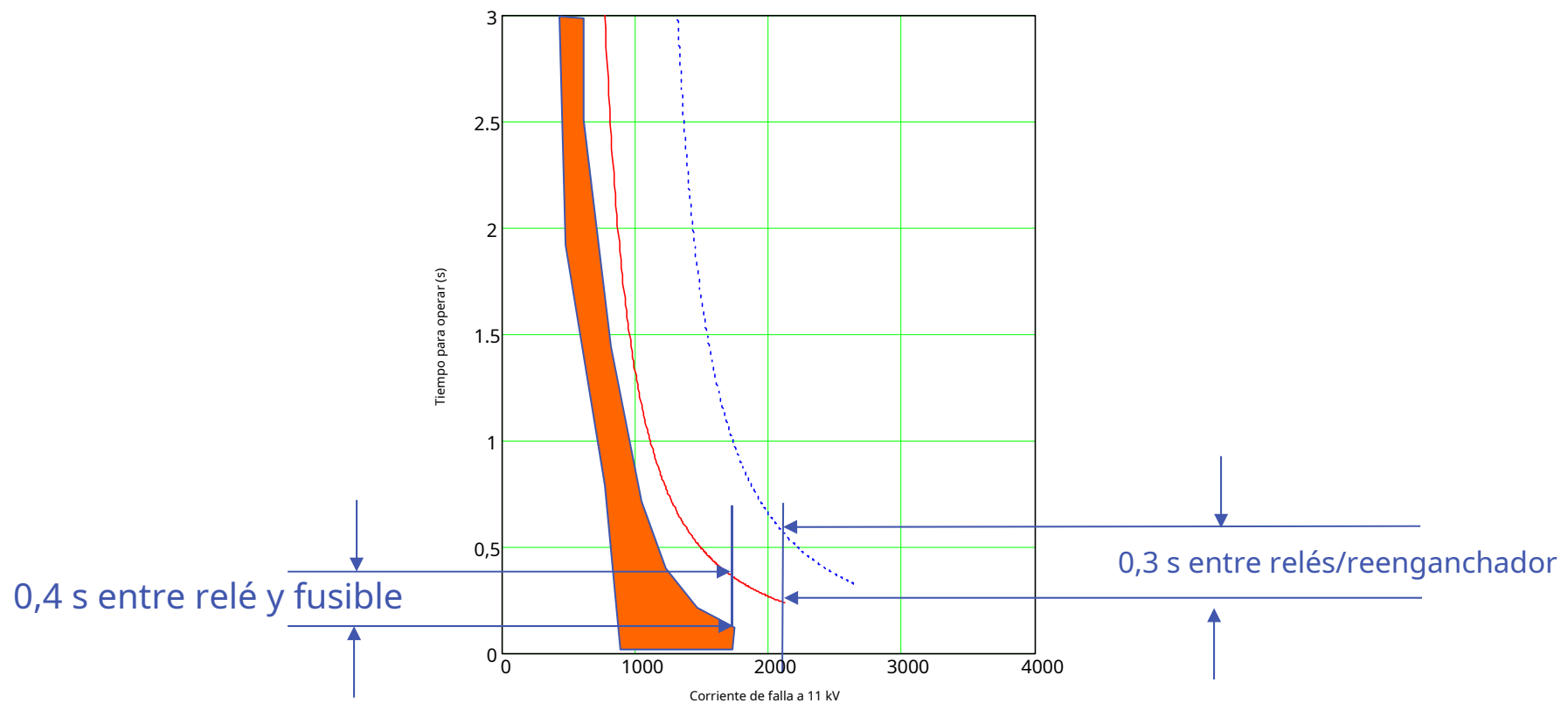
Coordinación: entre fusibles y relés

- El relé de sobrecorriente de tiempo debe respaldar al fusible en todo el rango de corriente. La curva característica del relé de sobrecorriente de tiempo más adecuada para la coordinación con fusibles es Extremadamente Inversa, que es similar a la $I \cdot t$ fusionar curvas. Para curvas de relé extremadamente inversas, la configuración de corriente de activación primaria debe ser 3 veces la clasificación del fusible. Para otras curvas de relé, se debe considerar hasta 4 veces la capacidad del fusible. Asegúrese de que no se crucen las curvas de fusible o relé de sobrecorriente de tiempo.
- Para tener en cuenta la saturación y los errores del TC, el sobreimpulso del relé electromecánico, los errores de sincronización y los errores de fusibles, se debe utilizar un TCI mínimo de 0,4 s.

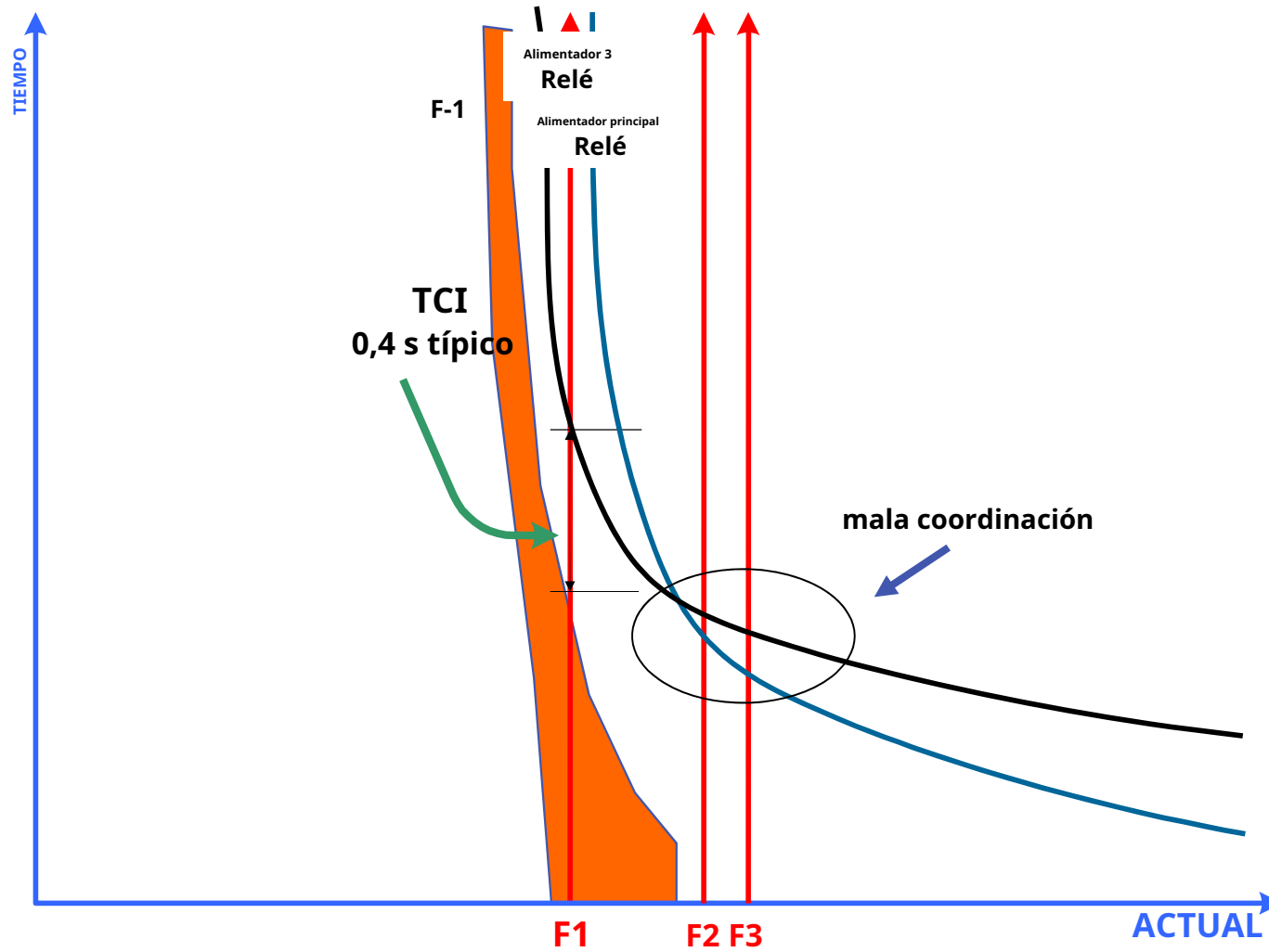


Coordinación: entre fusibles y relés

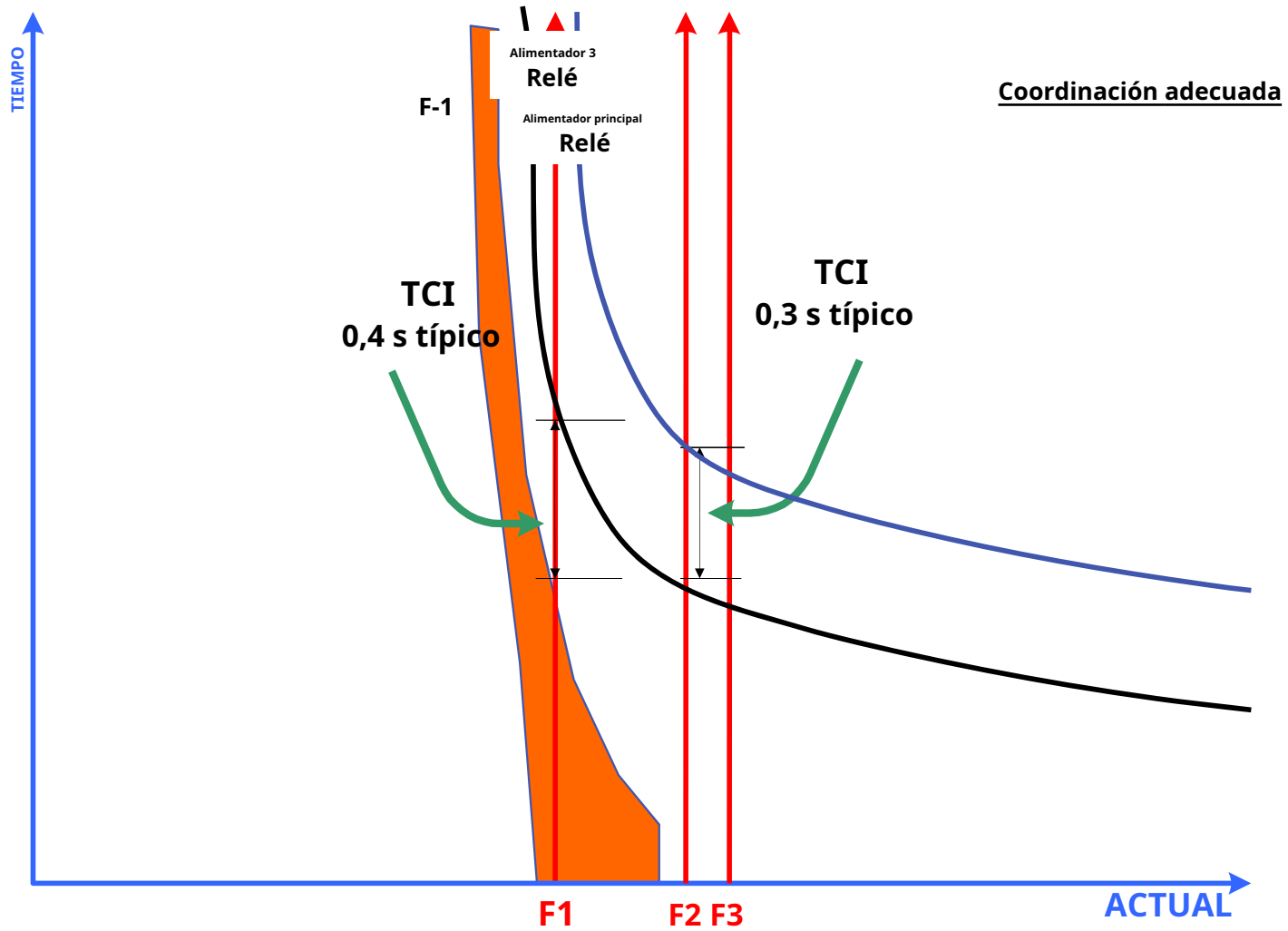
- TCI recomienda lo siguiente para garantizar una coordinación adecuada



Coordinación de dispositivos



Coordinación de dispositivos



Coordinación de dispositivos

Tiempos típicos de discriminación basados en la tecnología (Curvas inversas normales estándar):			
	Tecnología de retransmisión		
Origen del error	Electro-Mecánico	Estático	digitales / Numérico
Timing básico típico Error [%]	7,5 %	5 %	3,5 %
Tiempo de sobrepaso [s]	0,05 segundos	0,03 segundos	0,02 segundos
Margen de seguridad [s]	0,1 s	0,05 segundos	0,03 segundos
típico total Tiempo de coordinación [s]	0,4 s	0,35s	0,3 s

Nota: El error de medición de CT se sumará a los tiempos anteriores.

Protección contra sobrecorriente de tiempo

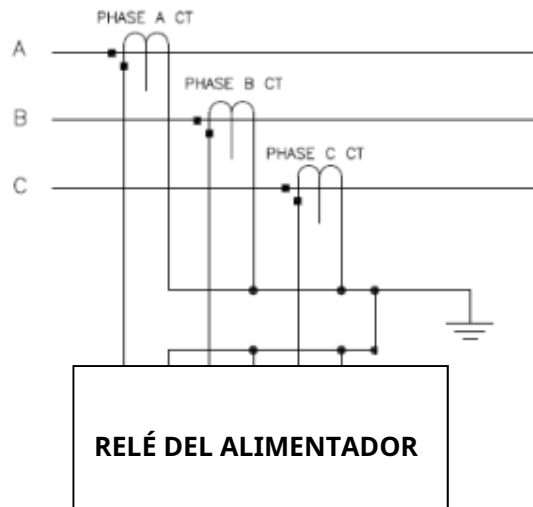
Restablecimiento del elemento de sobrecorriente de tiempo

- Hay (2) diferentes tipos de reinicios dentro de la Protección de sobrecorriente de tiempo:



- **EM o reinicio de retardo temporizado**–esto imita el recorrido del disco de un relé electromecánico que regresa a la posición de reinicio.
 - Si el disco aún no ha regresado completamente a la posición de reinicio y el elemento de sobrecorriente de tiempo se activa nuevamente, el tiempo de disparo será más corto.
 - Si la corriente se activa y luego se interrumpe muchas veces, el disco “se moverá” hasta la posición de funcionamiento.
 - Tenga cuidado al coordinar con dispositivos ascendentes o descendentes
- **Reinicio instantáneo**–Una vez que el elemento de sobrecorriente de tiempo opera, se restablecerá inmediatamente.

Protección de falla a tierra

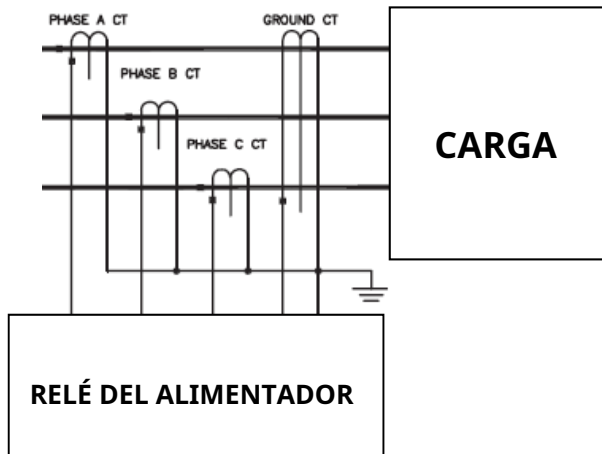


Conexión de falla a tierra residual

- Menos sensitivo
- Inconvenientes debido a CT no coincidentes

- Para cables grandes que no pueden pasar a través de la ventana del CT de secuencia cero, se puede utilizar la configuración de falla a tierra residual.
- Esta configuración es inherentemente menos sensible que la configuración de secuencia cero debido al hecho de que los CT no coinciden perfectamente.

Protección de falla a tierra



Conexión CT de secuencia cero

- Mejor método
- Inmunidad al ruido más sensible e inherente

- Todos los conductores de fase pasan a través de la ventana del mismo CT denominado CT de secuencia cero.
- En circunstancias normales, las tres corrientes de fase sumarán cero, lo que dará como resultado una salida de cero desde el secundario del TI de secuencia cero.
- Si una de las fases del alimentador tuviera un cortocircuito a tierra, la suma de las corrientes de las fases ya no sería igual a cero, lo que provocaría que fluyera una corriente en el secundario de la secuencia cero. Esta corriente sería detectada por el relé del alimentador como una falla a tierra.

Protección contra fallas de alta impedancia

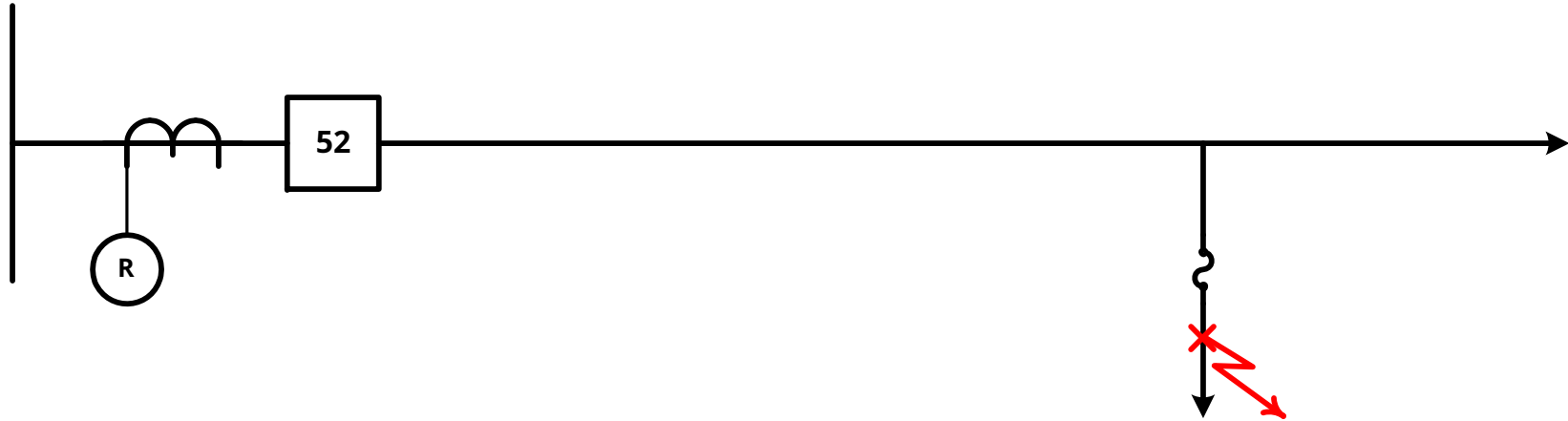
- Los conductores caídos o las fallas de alta impedancia (HiZ) son una preocupación importante para la seguridad y el riesgo público para las empresas de servicios públicos. También interrumpen el suministro de energía, causando potencialmente una pérdida económica para el usuario final y la empresa de servicios públicos.
- Las fallas de conductores caídos se producen cuando los cables aéreos hacen contacto no deseado con objetos conectados a tierra (por ejemplo, ramas de árboles). El suceso más grave es cuando la línea aérea cae al suelo debido a inclemencias del tiempo, accidente o contacto involuntario. Estos eventos resultan en un conductor caído que se energiza en el suelo, lo que representa un peligro significativo para la seguridad y el medio ambiente.
- Los esquemas de protección contra sobrecorriente convencionales son incapaces de detectar estas fallas de alta impedancia.
- Existen dispositivos de detección que incorporan algoritmos sofisticados con reconocimiento de patrones de sistemas expertos para detectar fallas de alta impedancia de manera rápida y confiable.



Recierre Automático

- Número de función ANSI **79**
- Vuelva a cerrar automáticamente un disyuntor o reconectador que haya sido disparado por un relé de protección o control de reconectador
- Utilizado principalmente por empresas eléctricas
- Reenganche multidisparo para circuitos de distribución
 - Disparo instantáneo (~0,25 s)
 - Reenganches retrasados (normalmente dos retrasados, por ejemplo 3 y 15 o 15 y 30)
- Coordinar con fusibles derivados
- Después de un recierre exitoso, la función de recierre se restablecerá después de un retardo de tiempo ajustable (normalmente 60 s).
- Si la falla es permanente, el dispositivo de protección se disparará y se volverá a cerrar varias veces. Si no tiene éxito, el dispositivo de protección pasará a **BLOQUEO** y mantenga el interruptor abierto. Algunos dispositivos tienen un tiempo de reinicio separado del bloqueo (por ejemplo, 10 segundos después de que el interruptor se cierra manualmente).
- Disponible reconexión monofásica y trifásica

Reconexión automática y fusibles



Dos métodos:

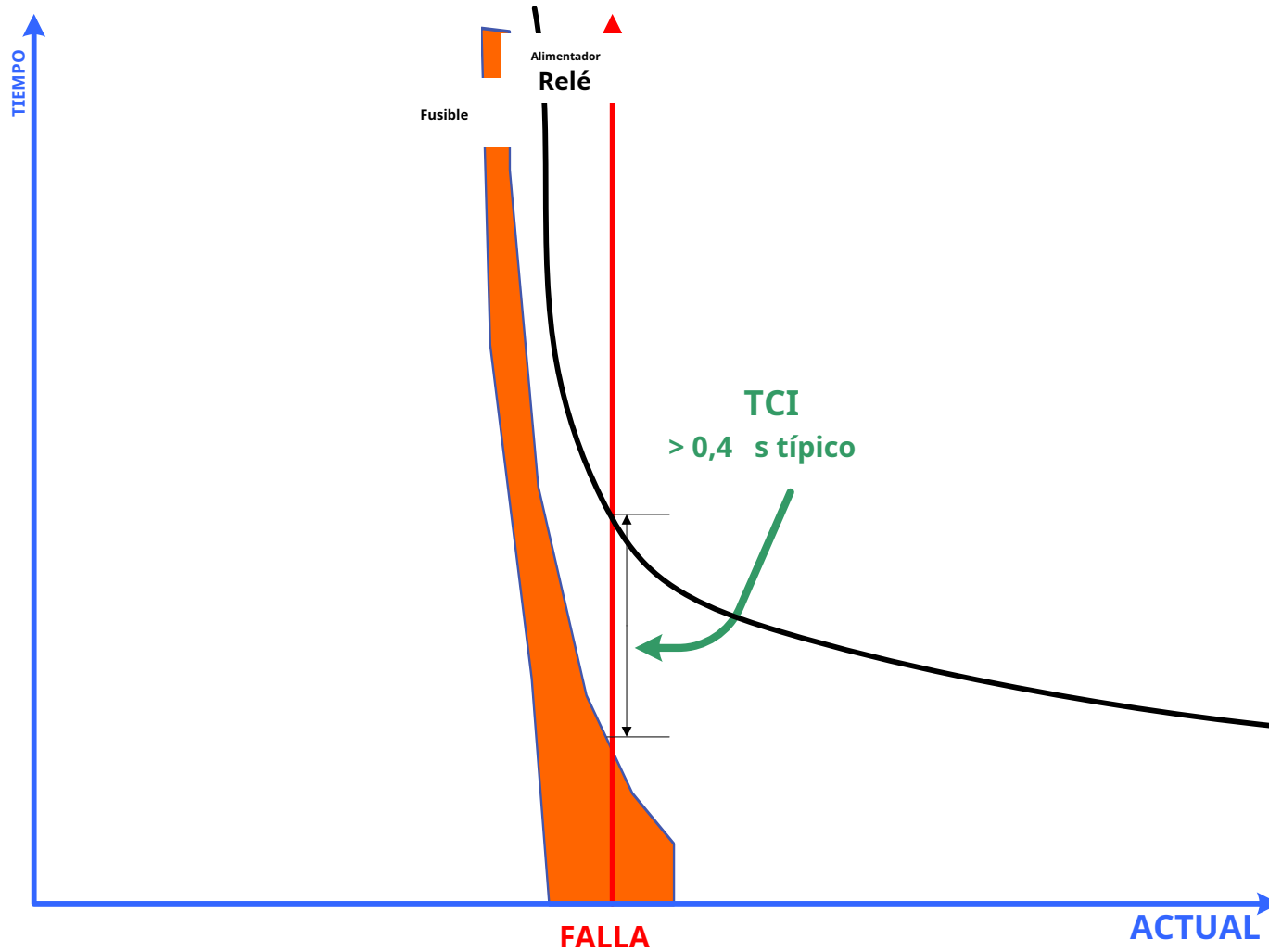
- Fusible fundido
 - El fusible se funde ante cualquier avería, incluida la avería temporal.
- Ahorro de fusibles
 - Utilice el recierre automático para intentar guardar los fusibles para fallas temporales

Recierre Automático

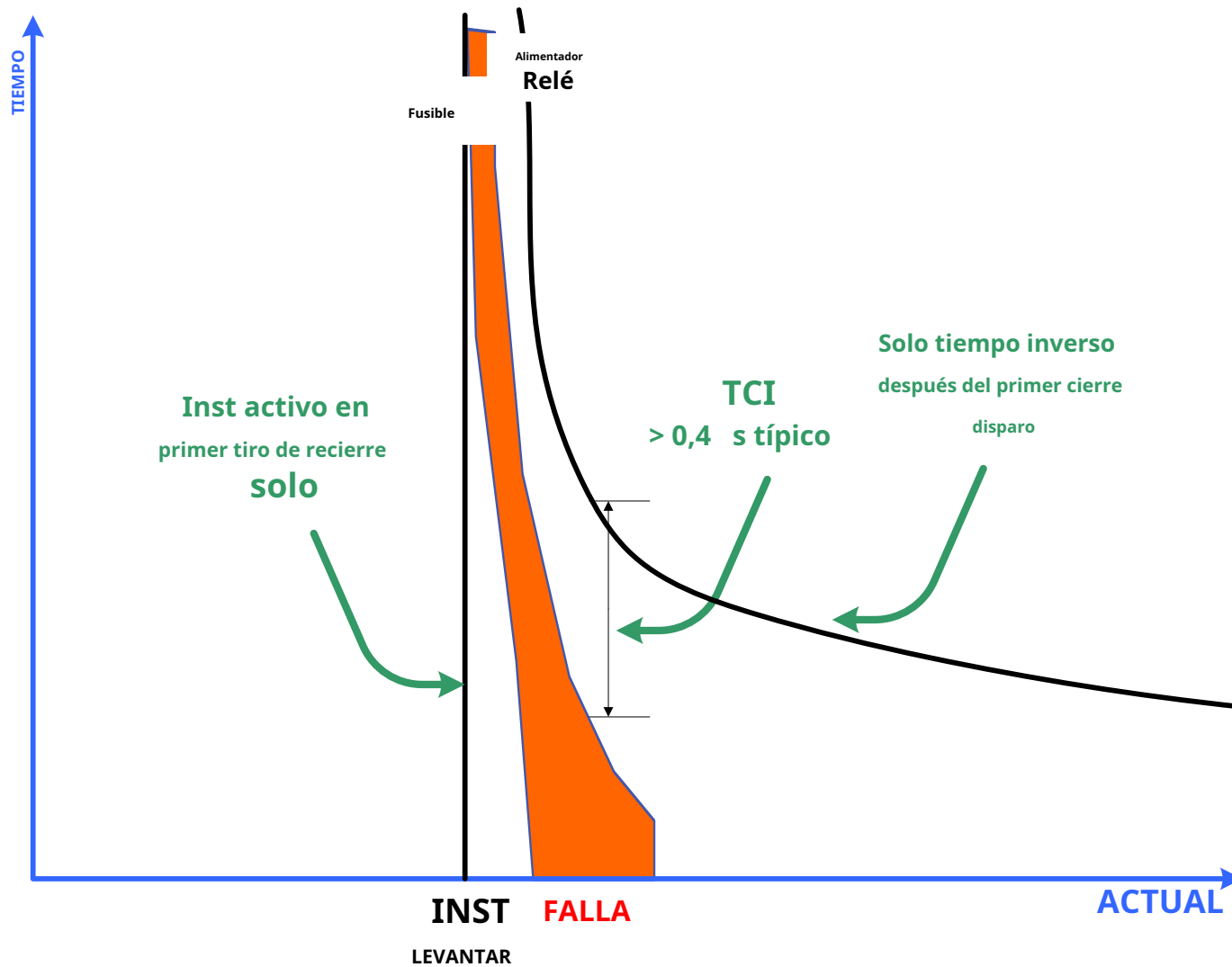
Coordinar con fusibles de rama

- Después del recierre inicial, bloquea las funciones de sobrecorriente instantánea para permitir que se funda el fusible.
 - Los relés de sobrecorriente instantáneos y de tiempo inverso están dispuestos de manera que, cuando ocurre una falla, los relés instantáneos operan para disparar el disyuntor antes de que se funda un fusible derivado, y el disyuntor se vuelve a cerrar inmediatamente.
 - Sin embargo, después del primer disparo, los relés instantáneos quedan automáticamente fuera de servicio, de modo que si la falla persiste, los relés de tiempo inverso tendrían que operar para disparar el disyuntor.
 - Esto da tiempo para que se funda el fusible del circuito derivado del circuito defectuoso, si asumimos que la falla está más allá de este fusible.
 - De esta manera, se minimiza el coste de sustitución de los fusibles del circuito derivado y, al mismo tiempo, también se minimiza la interrupción del circuito derivado. Si el disyuntor no se dispara dentro de un cierto tiempo después del recierre, los relés instantáneos vuelven automáticamente al servicio.
- Algunos usuarios simplemente deciden retrasar los elementos de sobrecorriente instantánea de fase y tierra durante un breve período de tiempo (por ejemplo, 0,2 s) para permitir que el fusible aguas abajo se funda primero y evitar la operación del disyuntor principal.

Fusible quemado

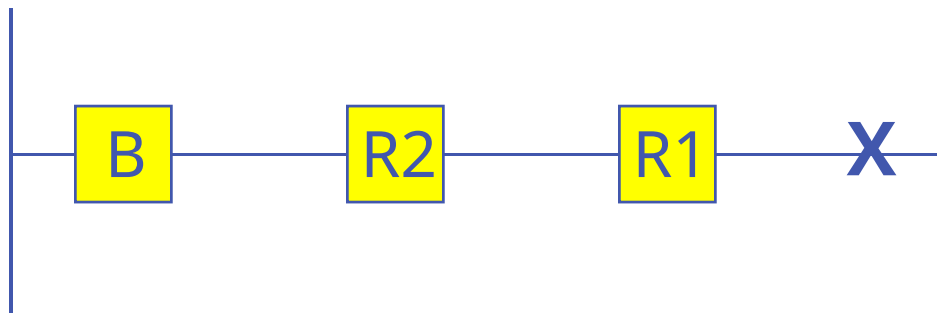
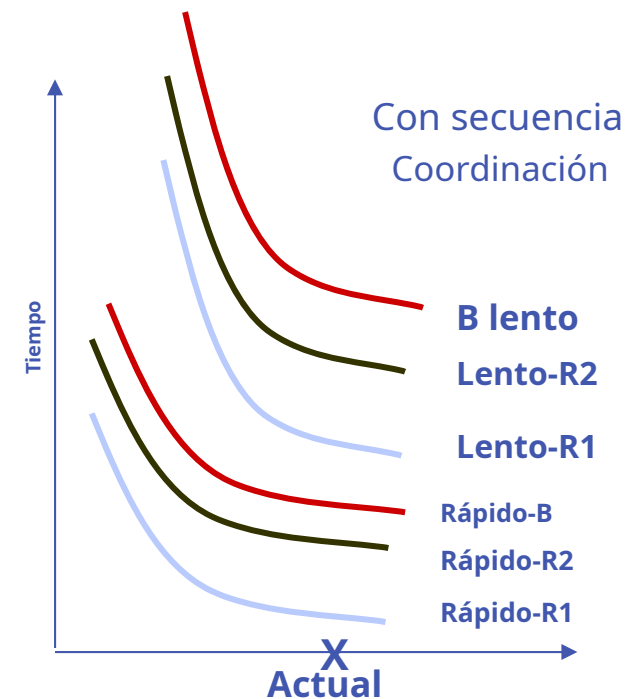


Ahorro de fusibles para fallas temporales



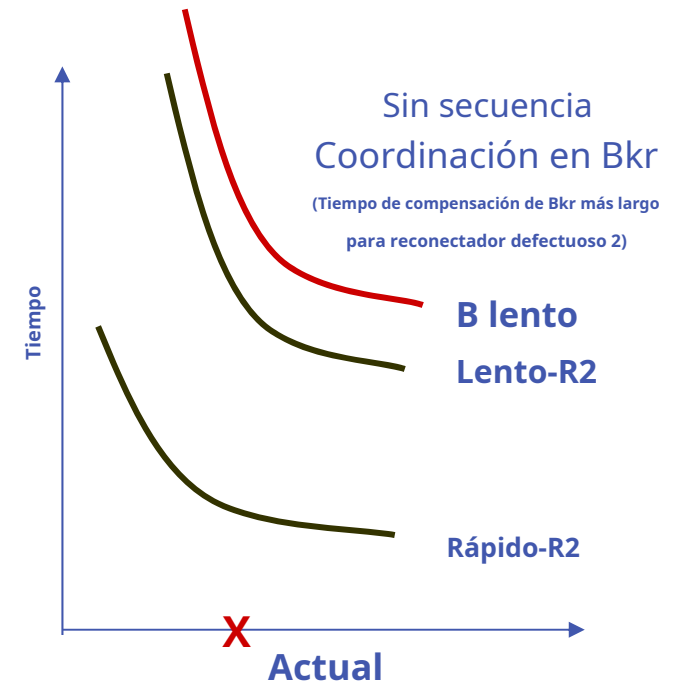
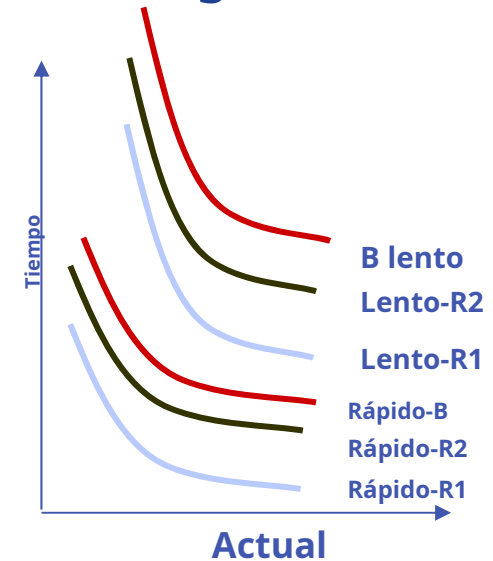
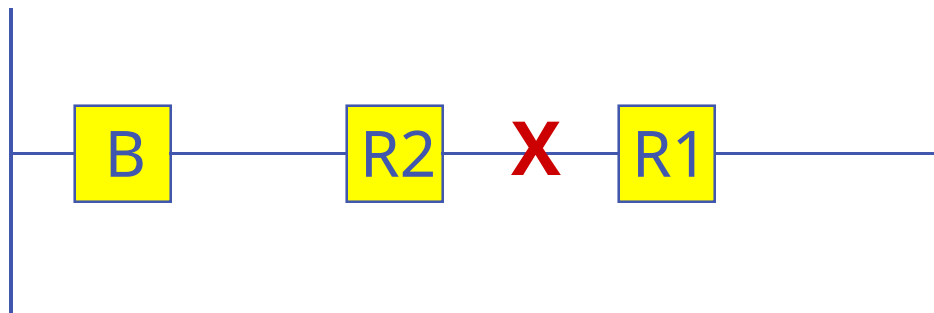
Coordinación de secuencia

- Los disyuntores de la subestación y los reconectores aguas arriba deben coordinarse para operar si los reconectores o fusibles aguas abajo no interrumpen exitosamente la falla.
- La coordinación de secuencia elimina los disparos molestos mediante la coordinación de disparos. Esto permite la coordinación entre el disyuntor de la subestación y los reconectores aguas abajo y entre los reconectores.
- Permite que el control del reconector o el relé de protección digital avance a través de operaciones seleccionadas en la secuencia operativa sin dispararse.
- El usuario puede seleccionar el número requerido de avances de coordinación de secuencia (1-3) para proporcionar coordinación de disparo con reconectores aguas abajo



Selecciones de curva de disparo del interruptor/reenganchador

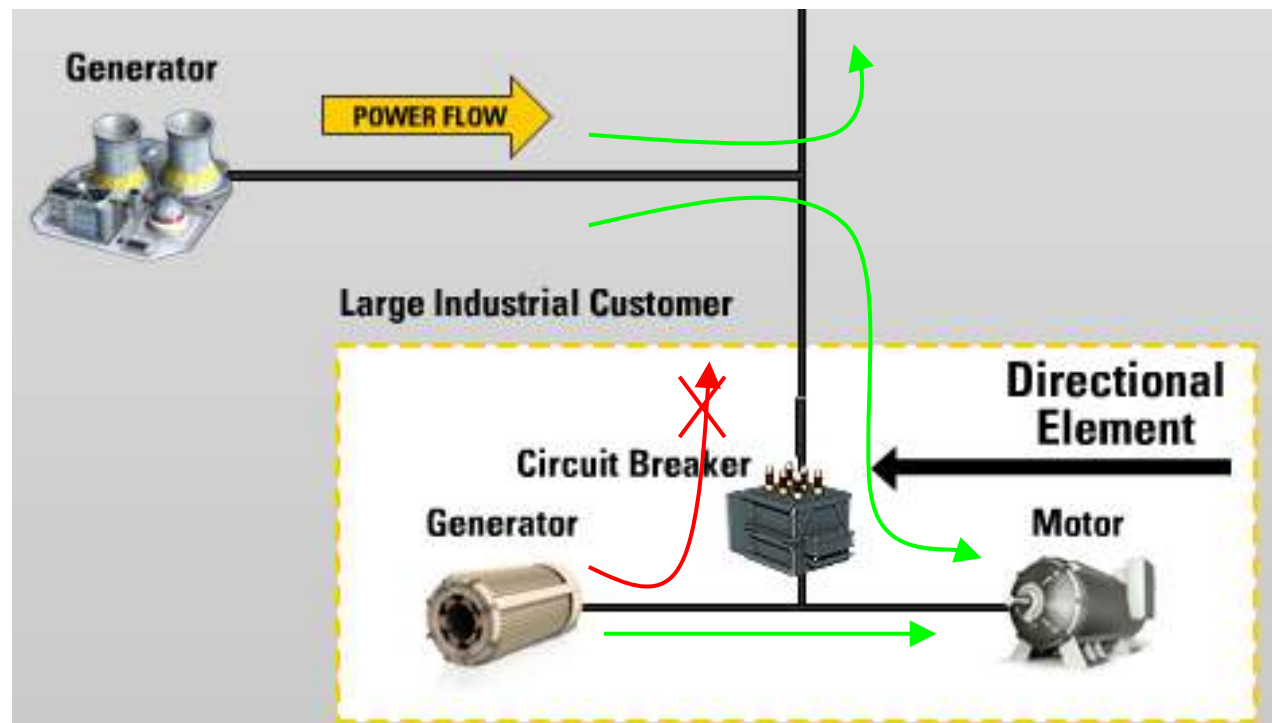
- Los reconectadores a menudo tendrán dos características de disparo rápido y lento.
- Si se utiliza la coordinación de secuencia en el dispositivo de protección dentro del disyuntor, entonces el dispositivo de protección del disyuntor también puede utilizar características de disparo rápido y lento. Se logra una coordinación óptima del viaje.
- Si no se utiliza la coordinación de secuencia en el disyuntor de la subestación, entonces **se lento** Sólo se utiliza la curva de disparo. Esto supone que se utiliza coordinación de secuencia en cada reconectador aguas abajo.



Protección direccional

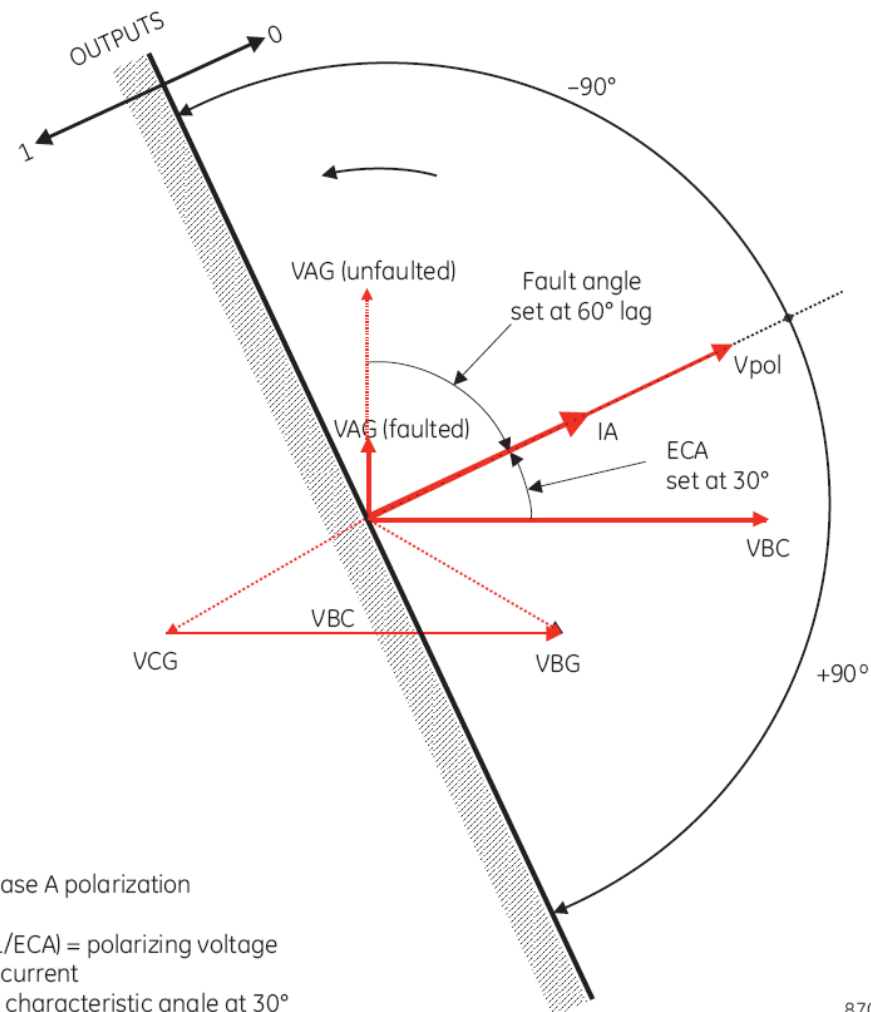
- Elemento direccional **67** Determina la dirección del flujo de energía para deshabilitar o habilitar el elemento de sobrecorriente.
- Utiliza la relación de fase de voltaje y corriente para determinar la dirección de una falla

Ejemplo:
Industrial con-
generador de sitio
(usado en principal
interruptor automático)



Protección direccional de fase

- Tensión de polarización (V_{pol}) se establece para cada corriente
- Si la corriente está en la misma dirección que V_{pol} , luego elemento opera



Phasors for phase A polarization

$V_{pol} = VBC \times (1/ECA) =$ polarizing voltage

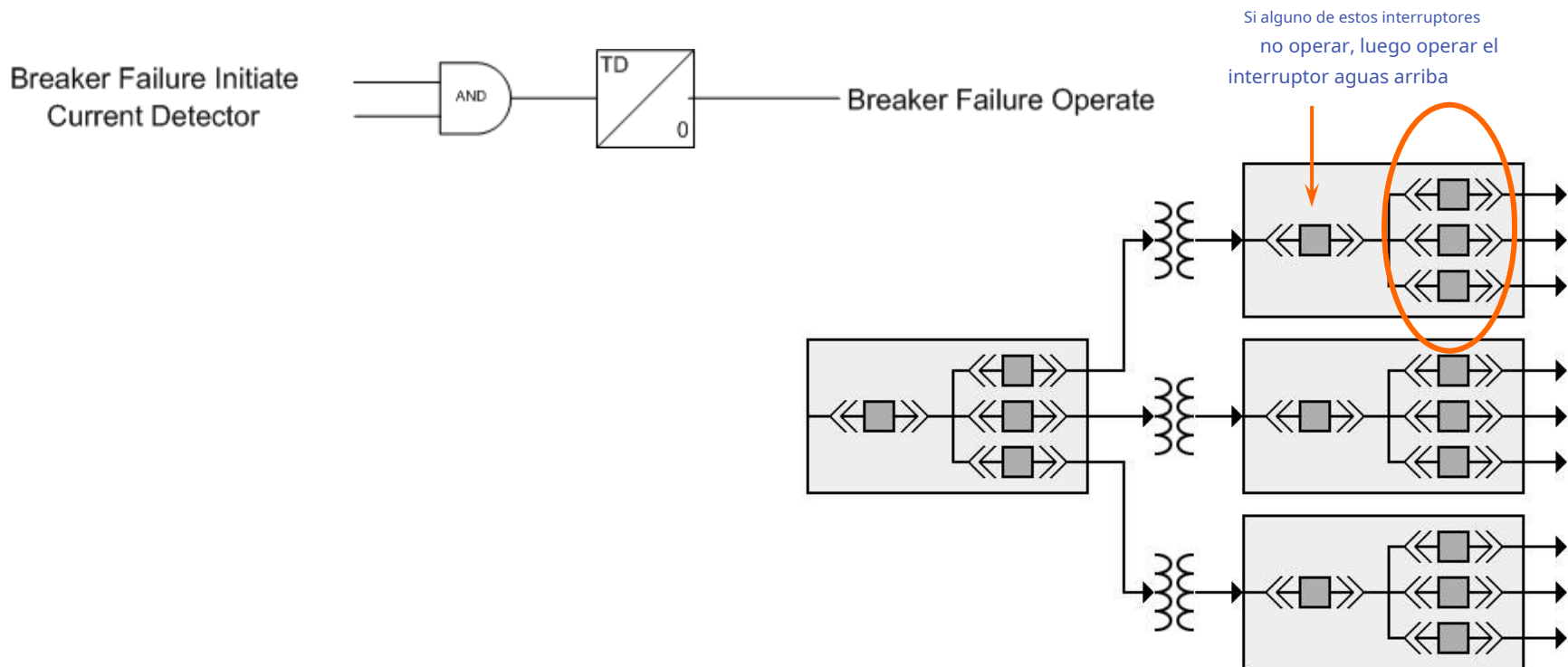
$IA =$ operating current

$ECA =$ element characteristic angle at 30°

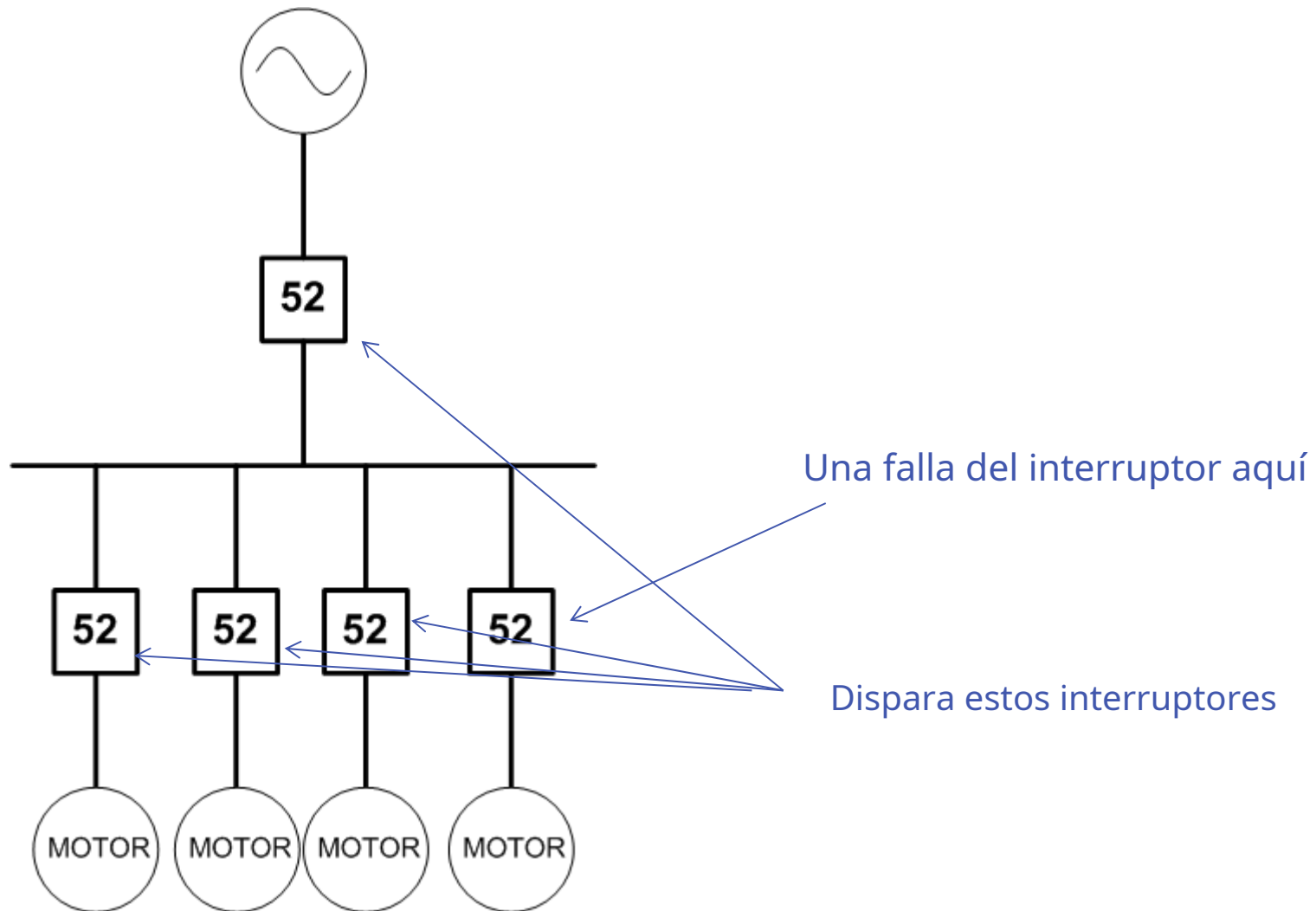
870773A1.CDR

Protección contra falla del interruptor

- Función ANSI**50BF**
- Iniciado por condición de falla
- Elemento de sobrecorriente instantáneo de ajuste bajo separado con retardo de tiempo que opera si la corriente de falla aún está presente
- Operar interruptores aguas arriba



Ejemplo de operación de falla del interruptor

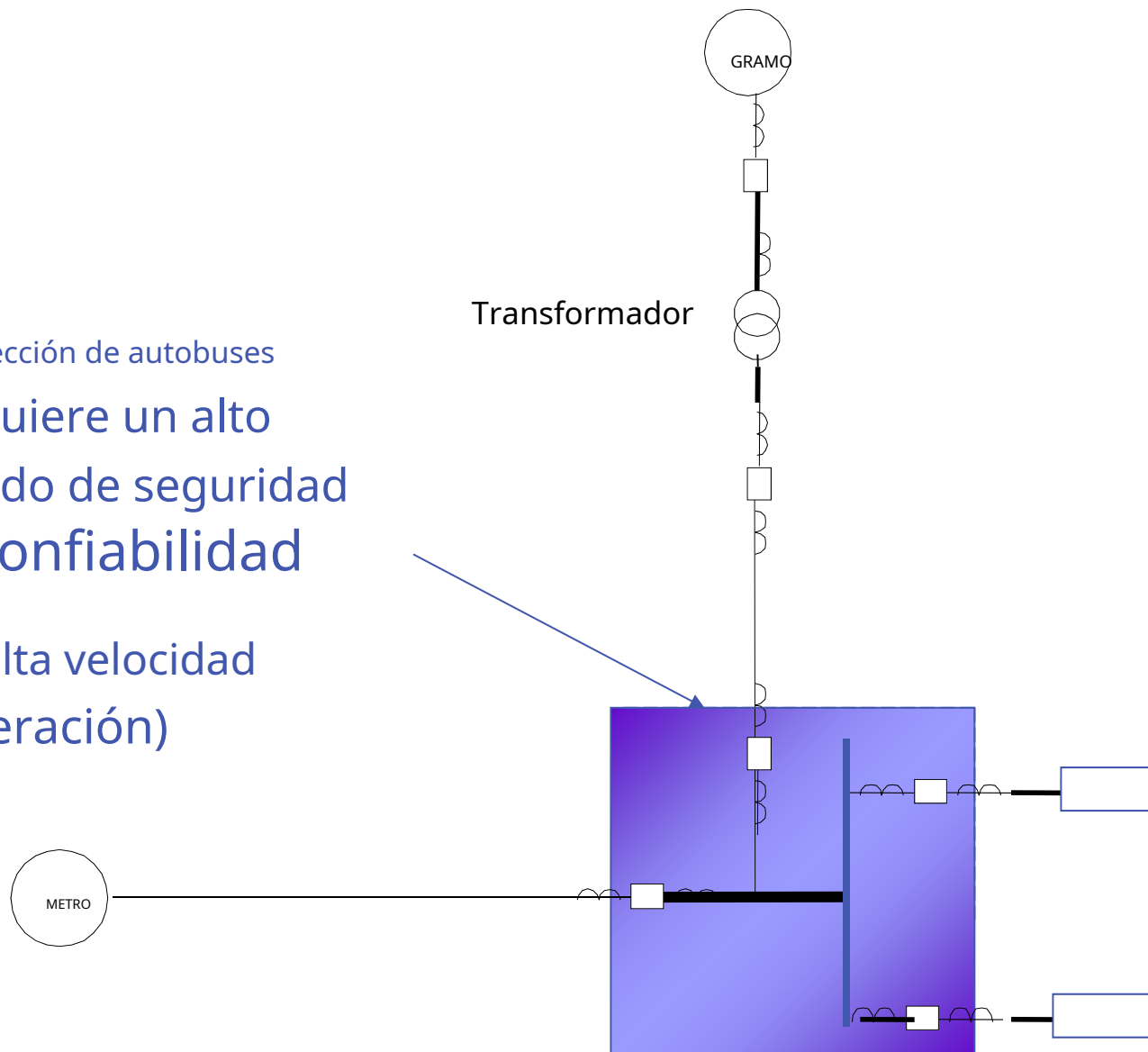


Protección de autobuses

Protección segura del autobús

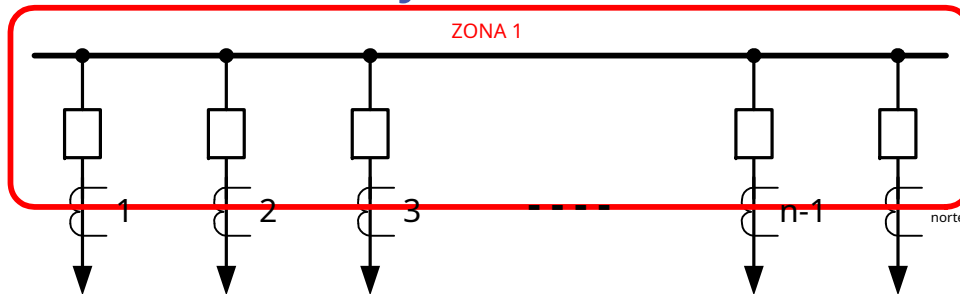
Protección de autobuses
requiere un alto
grado de seguridad
y confiabilidad

(o alta velocidad
operación)



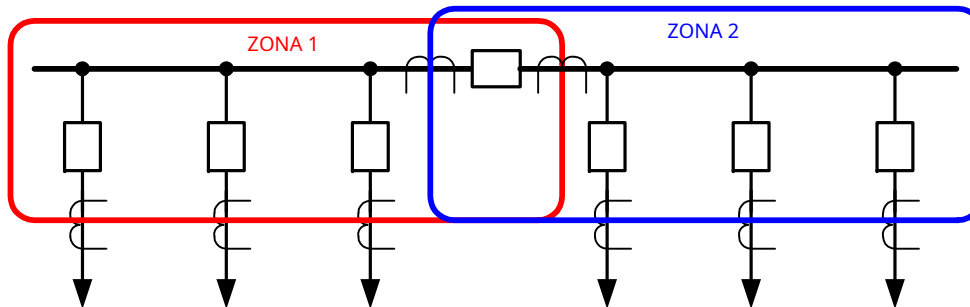
Configuraciones de autobuses

Bus único - disyuntor único



- Distribución de niveles de tensión más bajos
- Sin flexibilidad operativa
- Fallo en el autobús excursiones **todo** rompedores de circuito

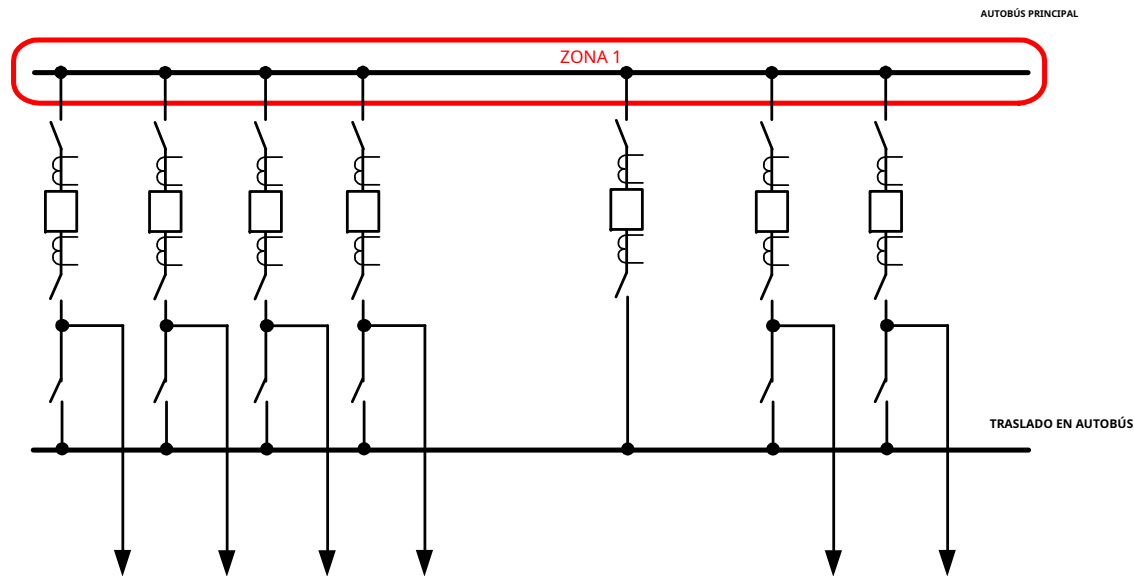
Múltiples secciones de bus: interruptor único con amarre de bus



- Distribución de niveles de tensión más bajos
- Operación limitada flexibilidad
- Zonas superpuestas
- Disparar sólo los interruptores en la zona con falla

Configuraciones de autobuses

Autobuses principales y de transferencia



- Mayor flexibilidad operativa
- A autobús la falla requiere disparo **todo** interruptores
- Autobús de transferencia para mantenimiento de interruptores.

Requisitos de protección del autobús

Altas corrientes de falla de bus debido a una gran cantidad de circuitos conectados:

- La saturación del TC a menudo se convierte en un problema ya que es posible que el TC no esté suficientemente clasificado.(Lectura falsa).
- Las grandes fuerzas dinámicas asociadas con las fallas del autobús exigen tiempos de eliminación rápidos para reducir los daños causados por una falla del autobús.

Un viaje falso con protección en el autobús puede crear problemas graves:

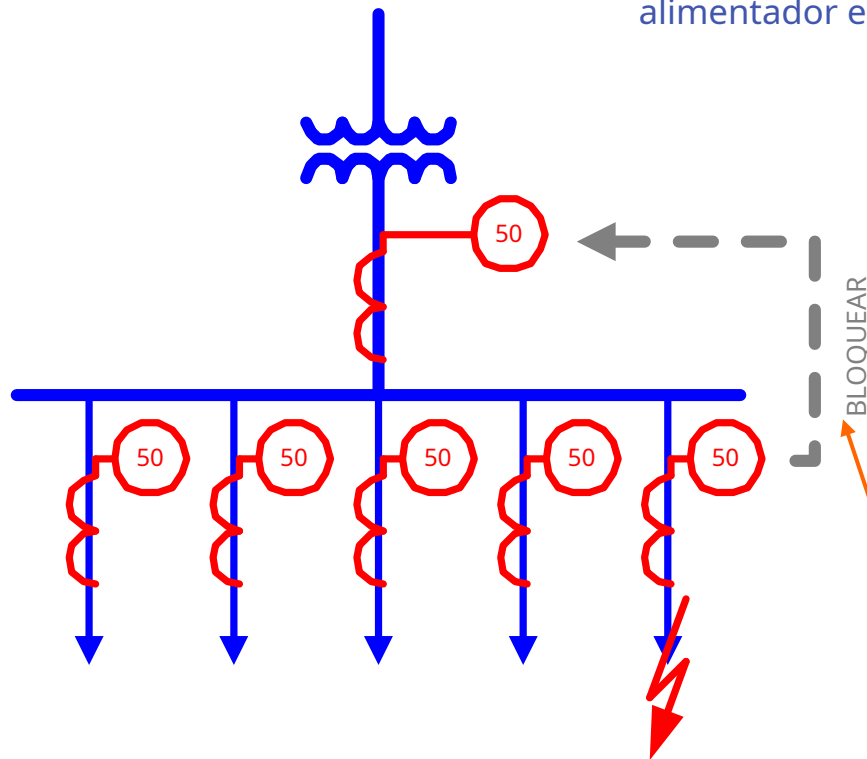
- Interrupción del servicio a un gran número de clientes (niveles de tensión de distribución y subtransmisión)
- Problemas de estabilidad en todo el sistema (fluctuaciones de los niveles de voltaje de transmisión)

Técnicas de protección de autobuses

- Esquemas entrelazados
- Diferencial de sobrecorriente (no restringido, imparcial)
- Esquemas de alta impedancia
- Diferencial porcentual de sobrecorriente (restringido, sesgado) (esquema de baja impedancia)

Técnicas de protección de autobuses entrelazado

entrelazado=Los relés de sobrecorriente (OC) se colocan en un alimentador entrante y en todos los salientes.



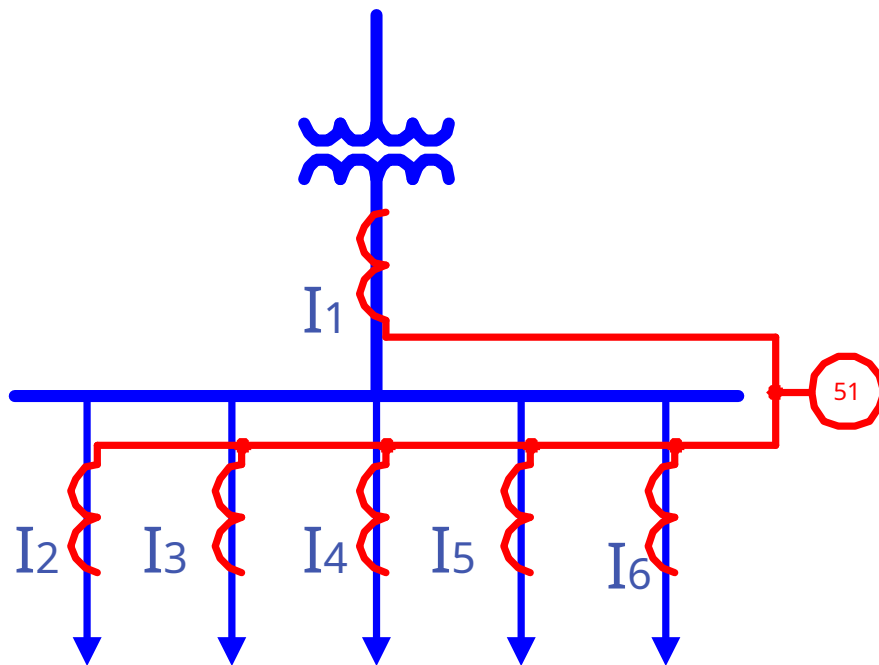
- Esquema de bloqueo utilizado normalmente
- Requiere poco tiempo de coordinación
- Prácticamente no se ve afectado por la saturación del TC.
- La señal de bloqueo podría enviarse a través de puertos de comunicación de relé basados en microprocesador.
- Esta técnica se limita a un simple bus de distribución entrante.

50 Instantáneo sobrecorriente

Si se solucionó la falla, bloquee la copia de seguridad.
de tropezar también sin una necesidad real.

Técnicas de protección de autobuses

Diferencial de sobrecorriente

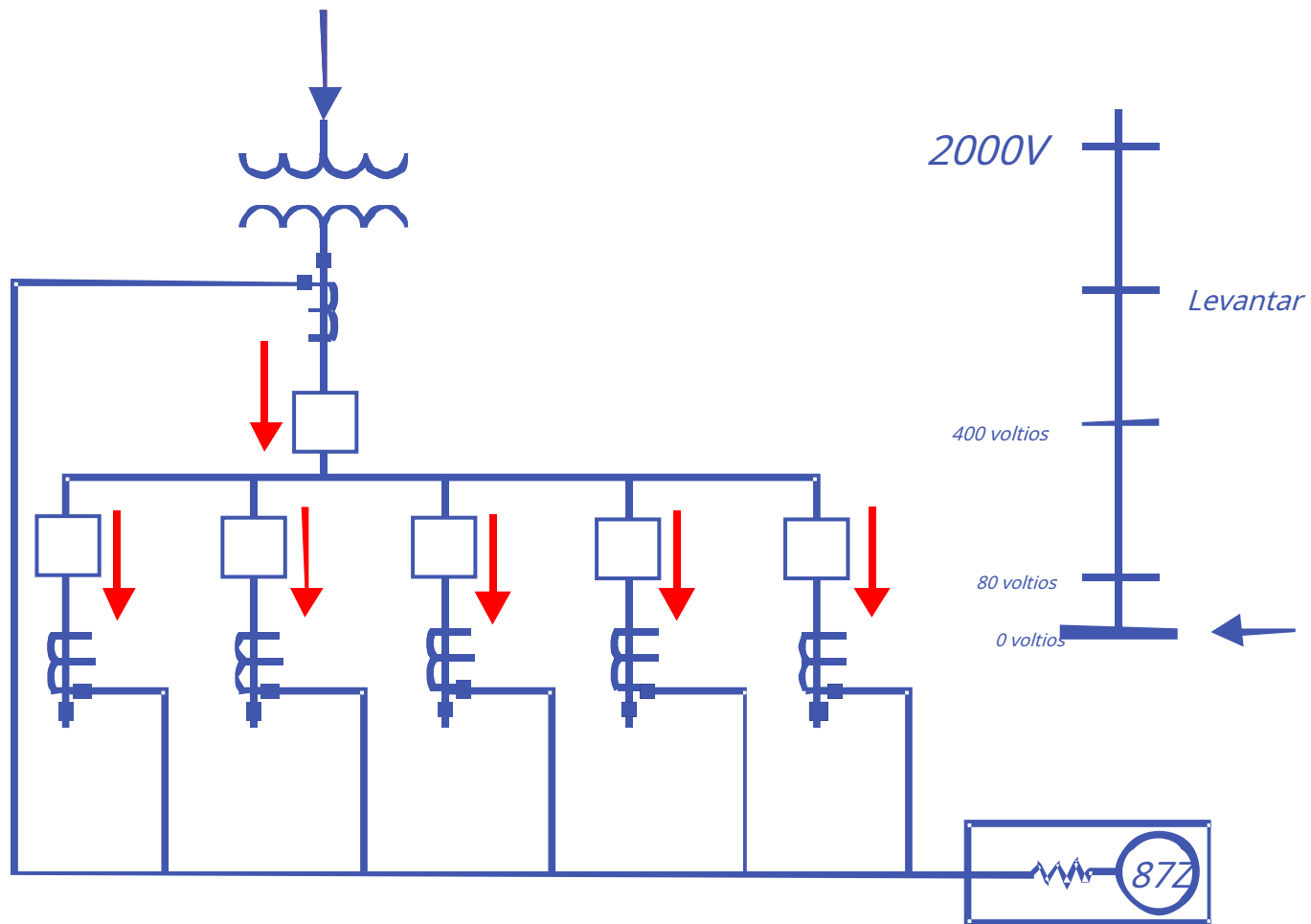


51 Sobrecorriente de tiempo CA

- Señal diferencial formada por suma de las corrientes del bus
- Es posible que se requiera la coincidencia de la relación CT
- En fallas externas, los CT saturados producen corriente diferencial espuria
- Retraso de tiempo utilizado para hacer frente a la saturación de CT
- Función OC diferencial instantánea (sin restricciones) útil en relés integrados basados en microprocesador
- Sin escala y comparación actual
- El bajo rendimiento no debe aplicarse a las barras colectoras a nivel de transmisión

Técnicas de protección de autobuses

Alta impedancia



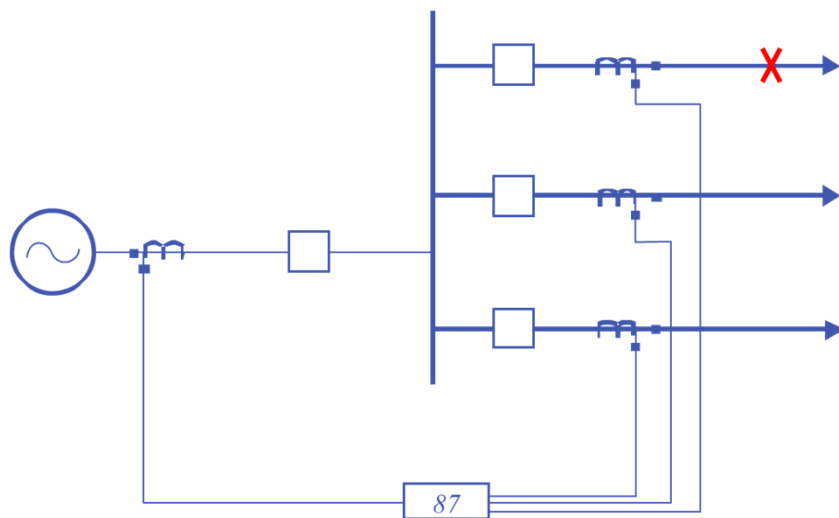
Técnicas de protección de autobuses

Alta impedancia

- Rápido (a diferencia de sobrecorriente), seguro y probado (20 ms)
- Requiere CT dedicados y preferiblemente con la misma relación de CT. No se pueden manejar entradas de CT configurados en diferentes derivaciones. La entrada del devanado del TC no completamente distribuido crea peligro para el equipo, debido a la inducción de voltajes muy altos: efecto autotransformador
- Dependiendo de las corrientes de falla internas y externas del bus, es posible que no proporcionen configuraciones adecuadas de sensibilidad y seguridad.
- No se puede aplicar fácilmente a autobuses reconfigurables
- Requiere un varistor limitador de voltaje capaz de absorber una cantidad significativa de energía.
- Requerir CT auxiliares si las relaciones de CT son diferentes
- No proporciona los beneficios de un relé basado en microprocesador (por ejemplo, medición, monitoreo, oscilografía, falla de interruptor)

Técnicas de protección de autobuses

Diferencial porcentual: baja impedancia



- Característica porcentual utilizada para hacer frente a la saturación de CT
- La señal de restricción se puede formar de varias maneras.
- No se necesitan CT dedicados
- Puede mezclar relaciones CT
- Posible protección de autobuses reconfigurables
- Operación rápida de 12-16 ms

$$\text{Suma } |I_R - I_1 - I_2 - I_3 - \dots - I_{\text{norte}}|$$

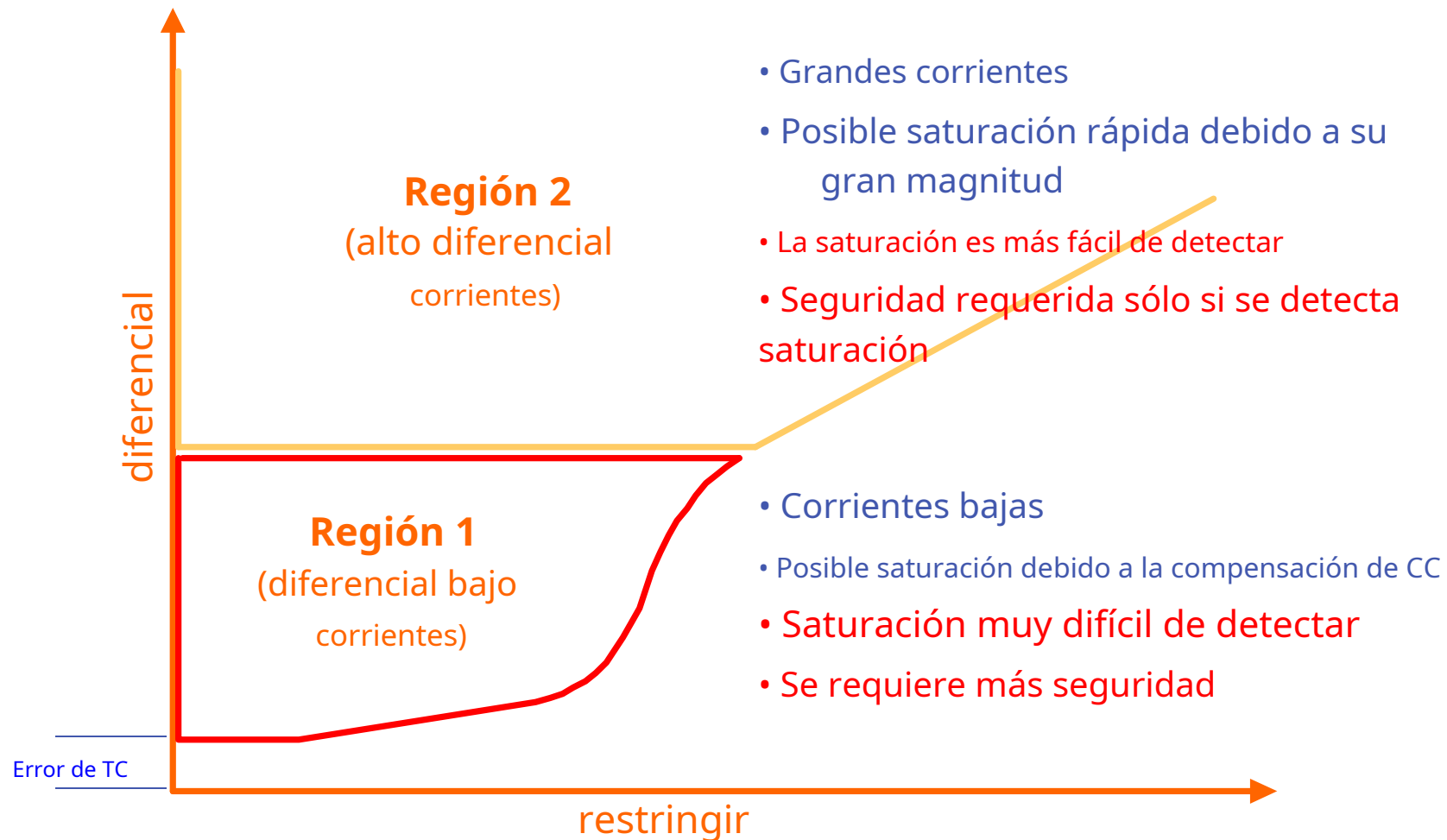
$$\text{promedio } |I_R - \sqrt{\frac{|I_1 - I_2 - I_3 - \dots - I_{\text{norte}}|^2}{n}}|$$

$$\text{máx. } |I_R - \max(|I_1|, |I_2|, |I_3|, \dots, |I_{\text{norte}}|)|$$

$$I_{DIF} = |I_1 - I_2 - \dots - I_{\text{norte}}|$$

Técnicas de protección de autobuses

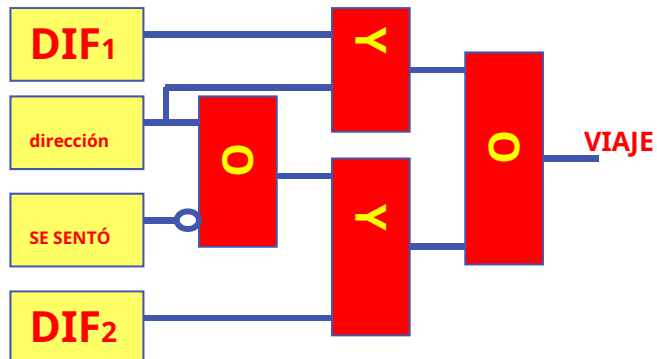
Diferencial porcentual: baja impedancia



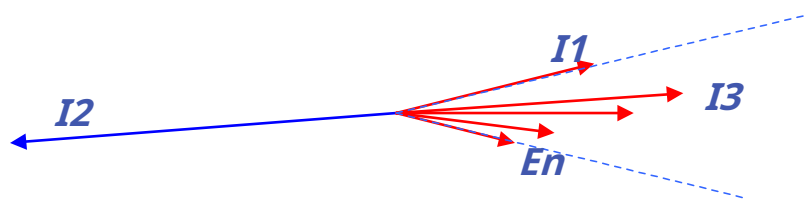
Técnicas de protección de autobuses

Diferencial porcentual: baja impedancia

Lógica de protección

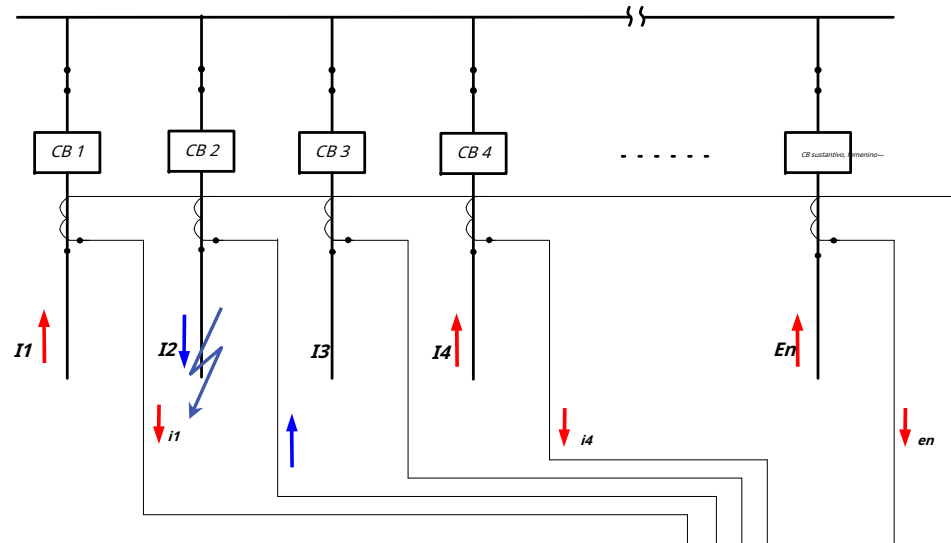


bandera direccional



DIR = 0

FALLO EXTERNO

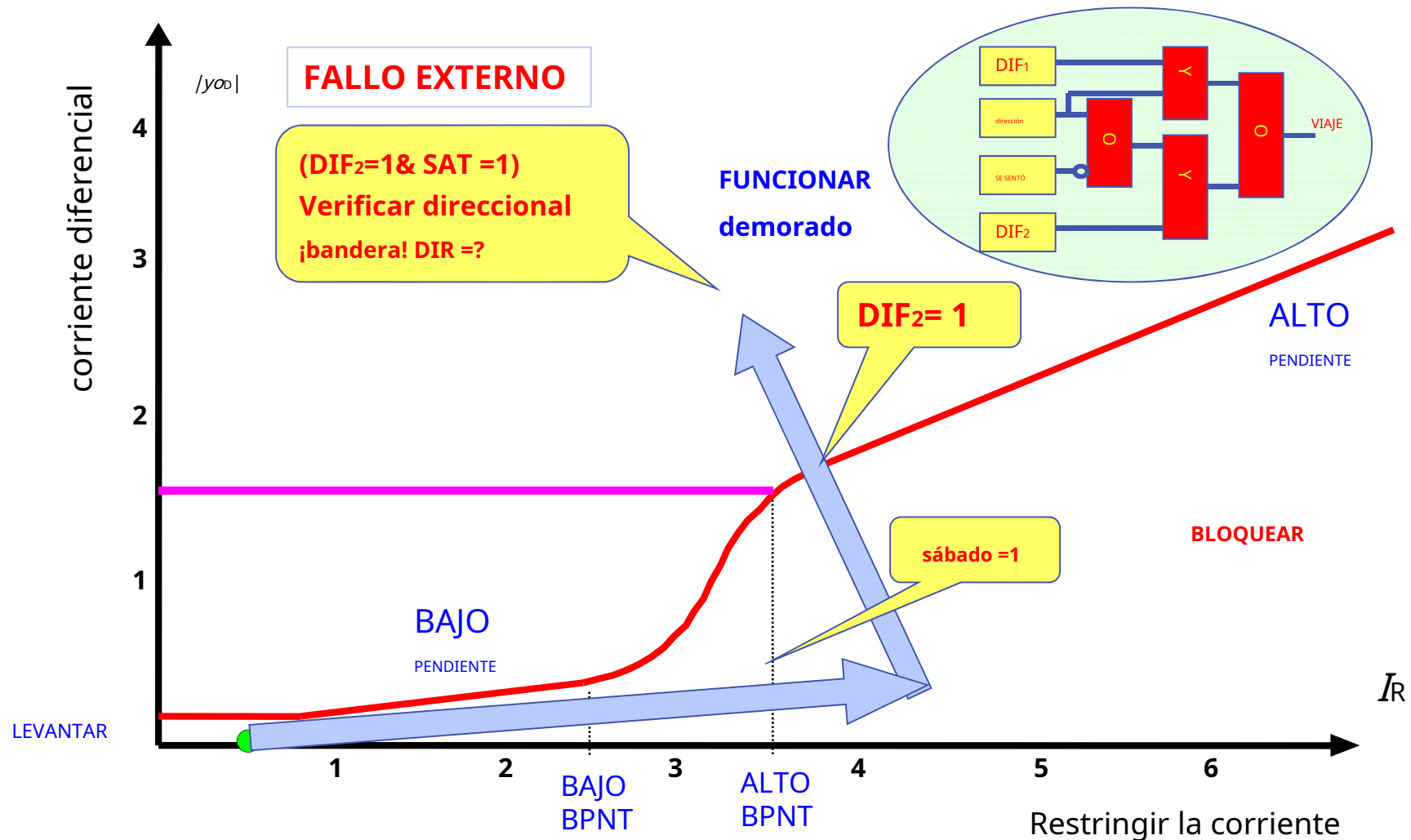


bandera de saturación

sábado = 1

Técnicas de protección de autobuses

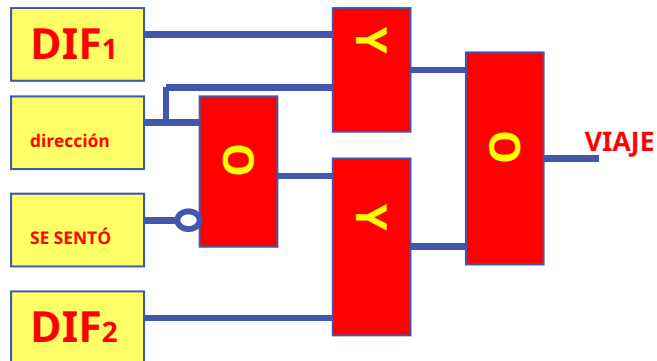
Diferencial porcentual: baja impedancia



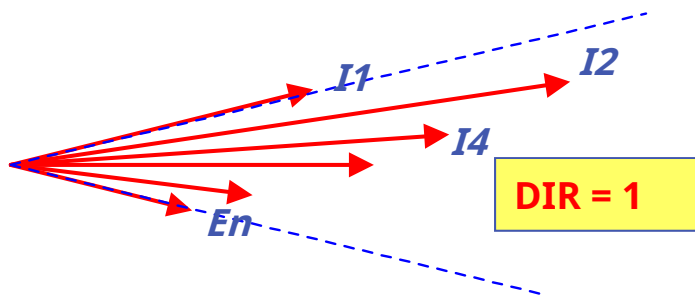
Técnicas de protección de autobuses

Diferencial porcentual: baja impedancia

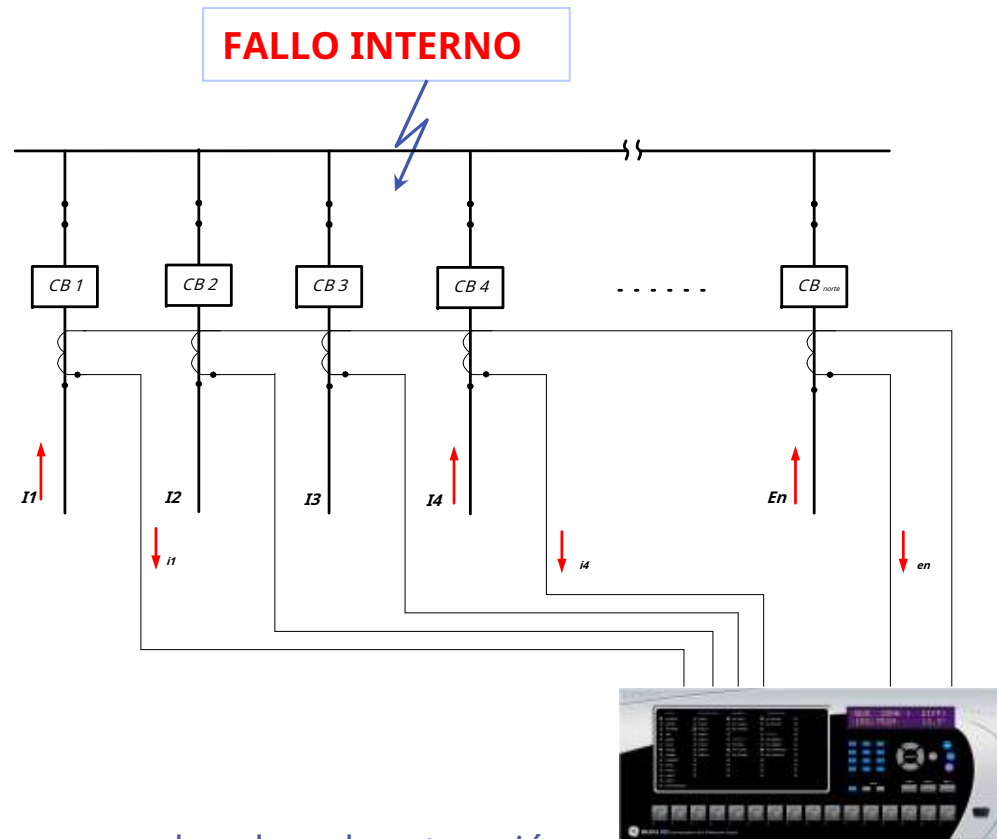
Lógica de protección



bandera direccional



FALLO INTERNO

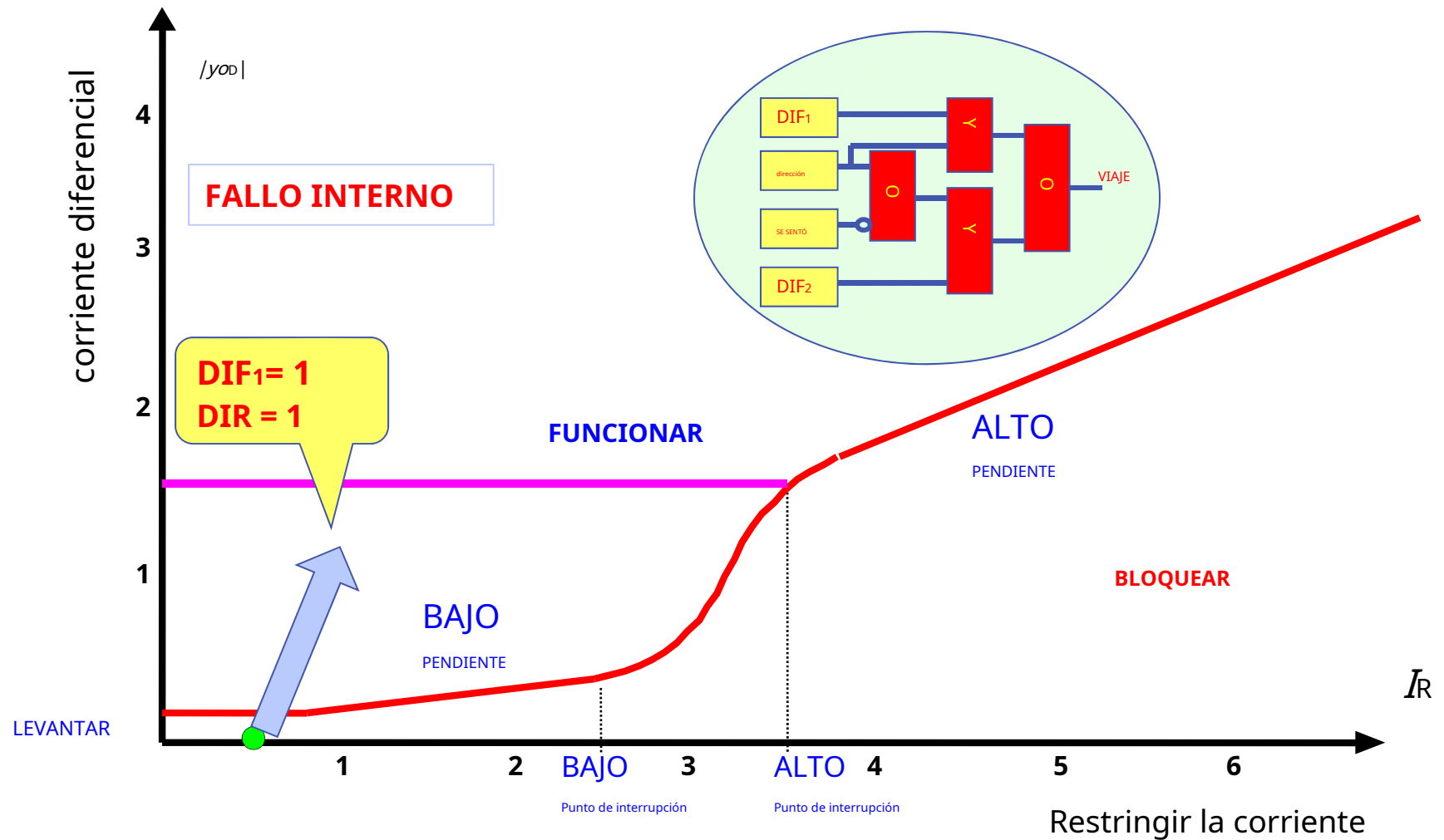


bandera de saturación

sábado = 0

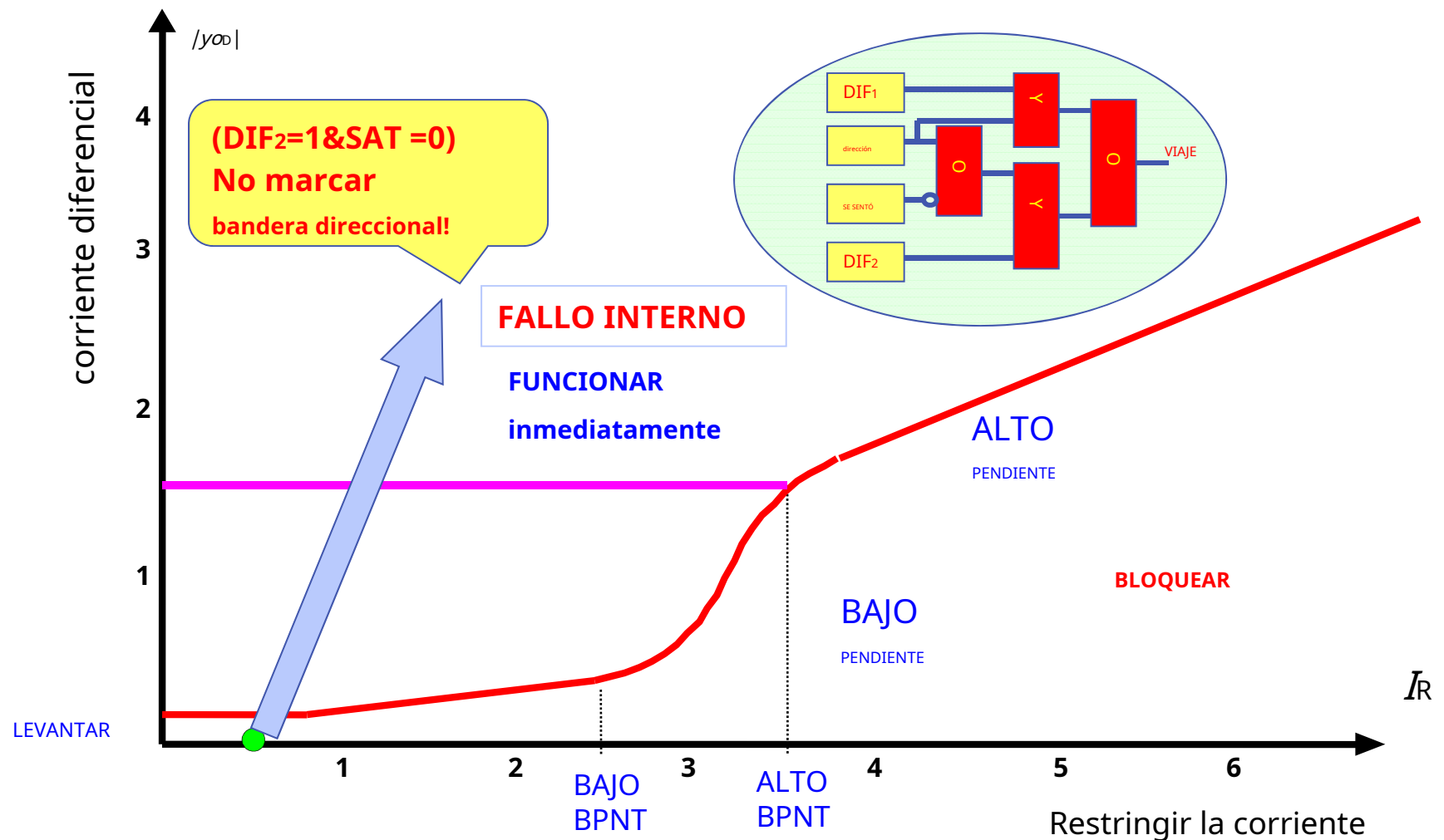
Técnicas de protección de autobuses

Diferencial porcentual: baja impedancia



Técnicas de protección de autobuses

Diferencial porcentual: baja impedancia



Protección del transformador

Fallas y detección de transformadores

- **FALLAS EXTERNAS**

- Sobrecargas
- Sobretensión
- **Subfrecuencia**
- Cortocircuitos del sistema externo.



- **FALLAS INTERNAS**

- *Fallas incipientes*

- Calentamiento excesivo
- **sobreflujo**
- Presión demasiada

- *Fallas activas*

- Cortocircuito en devanados conectados en estrella.
- Cortocircuitos en devanados delta.
- **Fallas entre fases**
- **Fallos entre giros**
- Fallas centrales
- Fallas del tanque

Fallos externos

SOBRECARGAS

En la mayoría de los casos, no se proporciona protección, pero se utiliza una alarma para advertir al personal operativo de la condición. Se puede configurar la protección de sobrecorriente (TOC) con retardo de tiempo definido.

SOBRETENSIÓN

Puede ocurrir debido a condiciones transitorias a corto plazo o condiciones de frecuencia eléctrica a largo plazo. Las sobretensiones transitorias provocan tensiones en los extremos de vuelta y posibles roturas del aislamiento. El Las condiciones son detectadas por **Voltios/Hercios** protección.

SUBFRECUENCIA

La baja frecuencia es causada por algunas perturbaciones del sistema que resultan en un desequilibrio entre generación y carga. Esta baja frecuencia crea un exceso de flujo en el núcleo del transformador, lo que lleva a sobrecalentar. **Voltios/Hercios** La protección se utiliza con una configuración de relación de captación típica de 1,1 pu.

CORTO CIRCUITOS

Las grandes corrientes de falla externas pueden causar una alta tensión mecánica en los devanados del transformador, y la tensión máxima ocurre durante el primer ciclo. Los transformadores no están protegidos durante tales condiciones externas. Es una cuestión de diseño y aplicación del transformador hacer frente a estas condiciones.

Fallas internas incipientes del transformador

CALENTAMIENTO EXCESIVO

Causado por:

- conexiones internas deficientes en el circuito eléctrico o magnético
- pérdida de refrigerante debido a fugas
- bloqueo del flujo de refrigerante
- pérdida de ventiladores o bombas

Buchholtz protecciones de relés y elementos térmicos como **Temperatura del punto más caliente, factor de envejecimiento** y **Pérdida de vida** se utilizan normalmente

SOBREFLUJO

El exceso de flujo continuo puede conducir gradualmente a la ruptura del aislamiento. La detección es proporcionada por **Voltios/Hercios** protección

PRESIÓN DEMASIADA

La sobrepresión en el tanque del transformador se produce debido a la liberación de gases que acompañan al calentamiento localizado. Un ejemplo es la falla espira, que puede arder lentamente, liberando burbujas de gases, que aumentan la presión. **Relé de presión repentino, o Relevo Buchholtz**

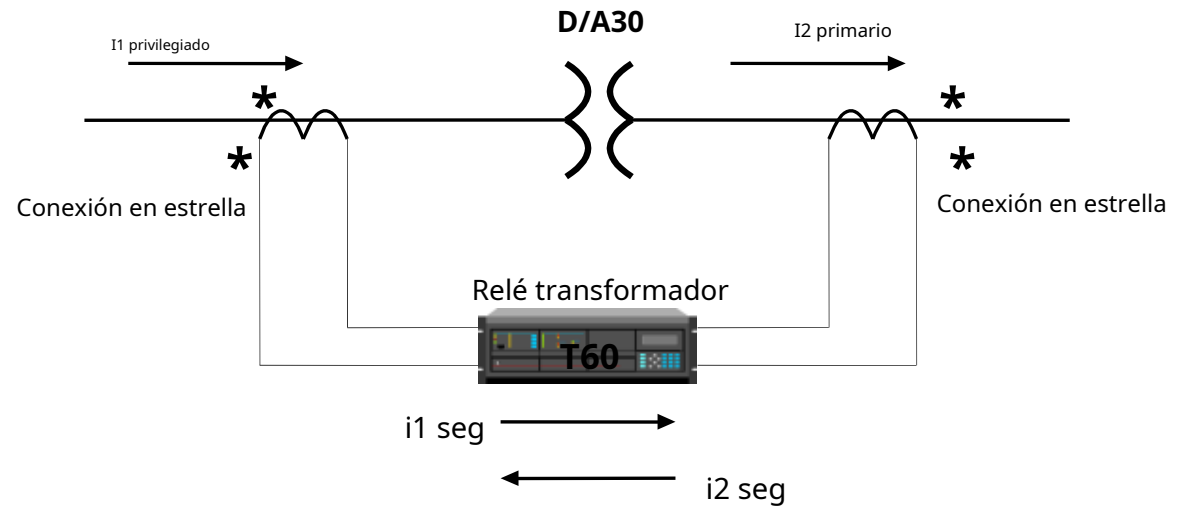
Causas de fallas en los transformadores

• Fallos de bobinado	51%
• Fallas en el cambiador de tomas.	19%
• Fallos de bujes	9%
• Fallas en el tablero de terminales	6%
• Fallos centrales	2%
• Fallos varios	13%

La protección diferencial puede detectar todos los tipos de fallas arriba

Protección contra fallas internas (87T)

- Fallas entre fases
- Fallas trifásicas
- Fallas a tierra
- Fallas centrales
- Fallas del tanque

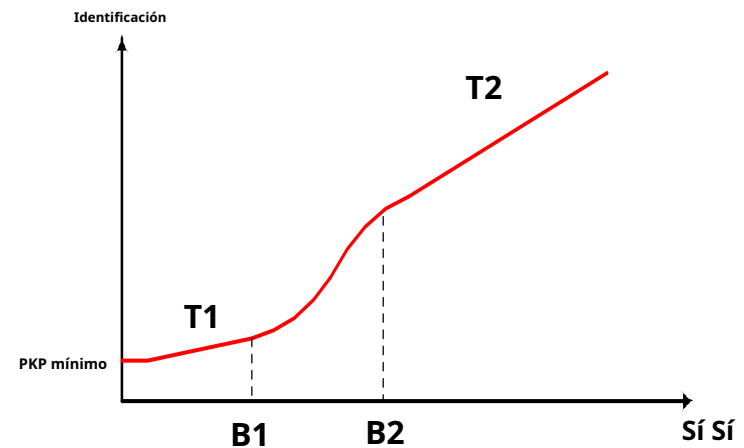


SEÑAL DIFERENCIAL:

$$I_{\text{DIFERENCIA}} = I1_{\text{COMP}} + I2_{\text{COMP}}$$

SEÑAL DE RESTRICCIÓN:

$$I_{\text{LISTA}} = \max (| I1_{\text{COMP}} | , | I2_{\text{COMP}} |)$$

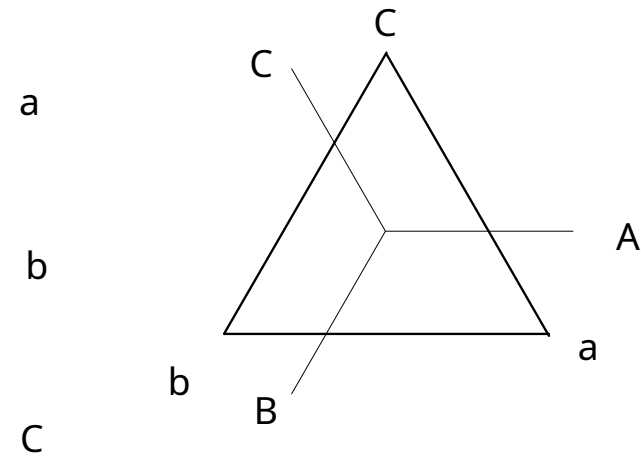
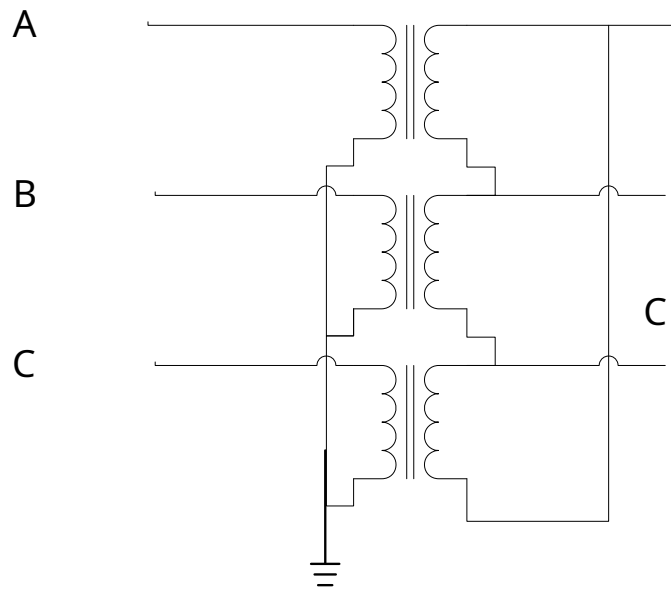


Desafíos diferenciales actuales

- Errores de TC: por errores y por saturación
- Con transformadores
 - Relación de fase desigual
 - Irrupción
 - Discrepancia actual
 - Pérdidas del transformador

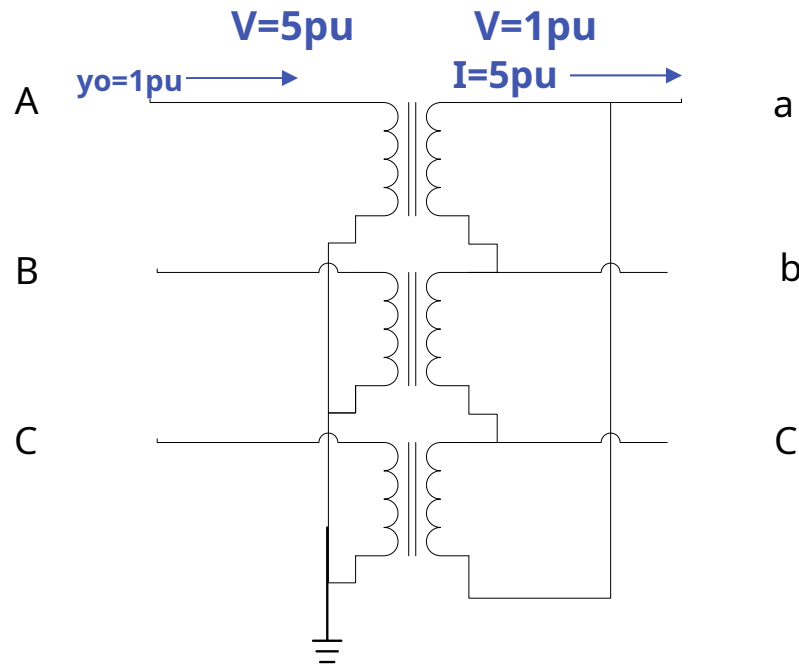
Desafíos diferenciales actuales

- Compensación de fase



Desafíos diferenciales actuales

- Compensación/desajuste de magnitud



Compensaciones de fase y magnitud

Configuración del relé EM:

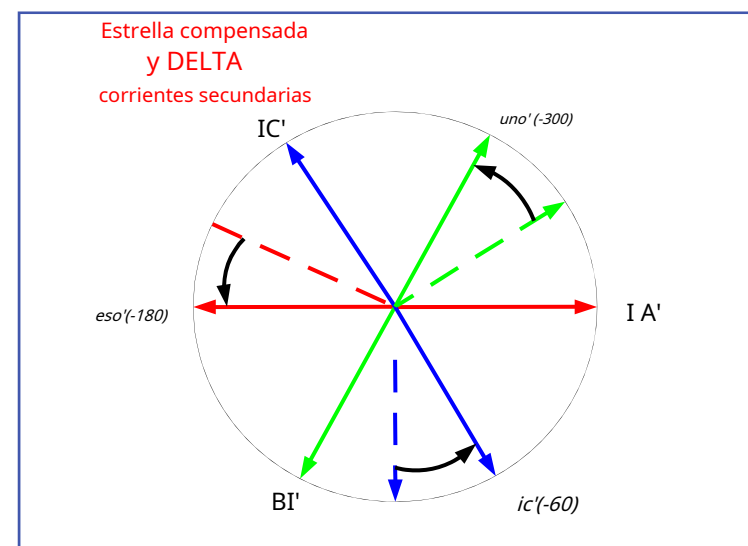
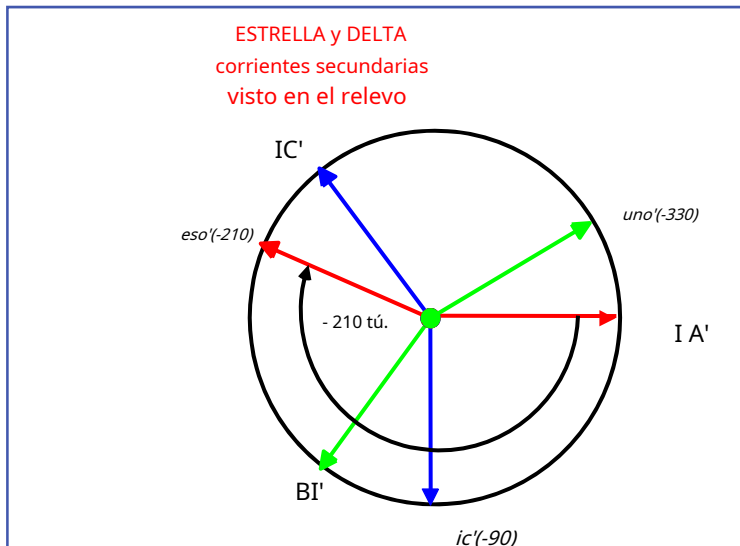
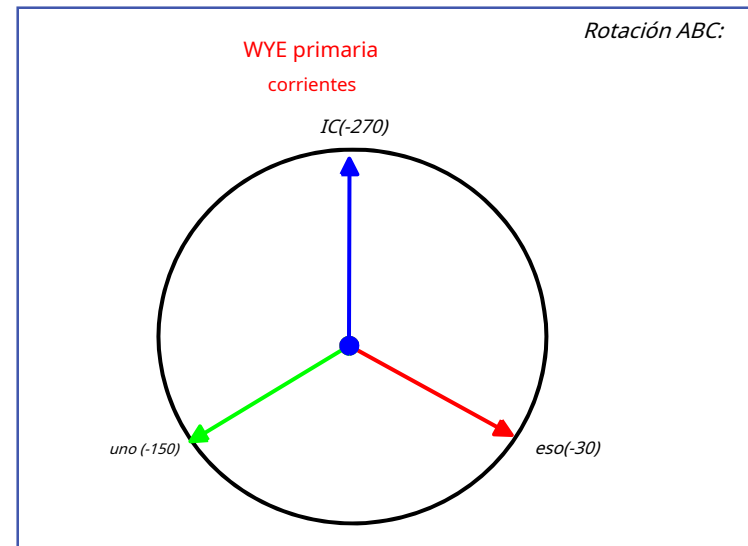
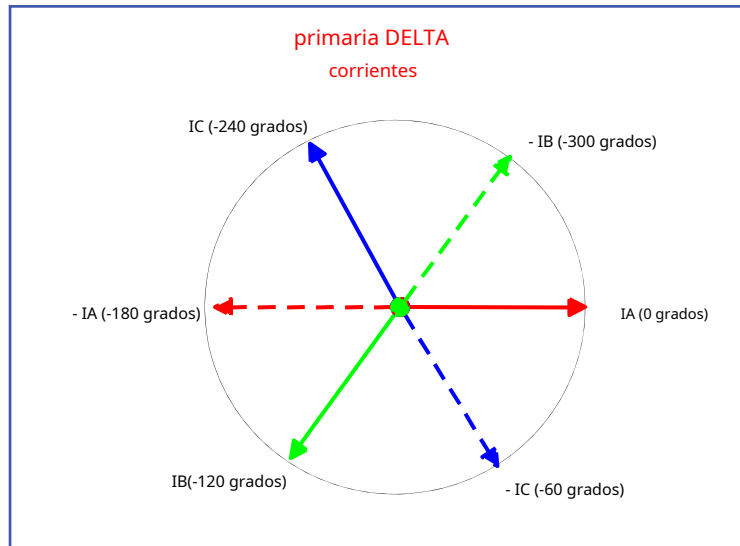
- Compensación de magnitud:
 - Cálculo de la toma del relé por entrada CT (***introduce inexactitud debido a la aproximación hacer coincidir el campo CT con la configuración de la toma del relé***)
- Compensación de cambio de fase:
 - CT externos conectados en triángulo en estrella y CT conectados en estrella en devanados en triángulo
(aumenta la posibilidad de cometer errores de conexión)

Configuración del relé digital:

- Magnitud automática compensación:
 - El firmware calcula compensación de magnitud factores para todas las corrientes de devanado y los escala internamente
- Compensación de cambio de fase:
 - El firmware detecta la configuración de cambio de fase ingresada en los devanados del transformador. **menú**, y lo compara con el cambio de fase real entre las corrientes conectadas en el relé terminales. Todos los CT de devanado se pueden conectar en estrella.

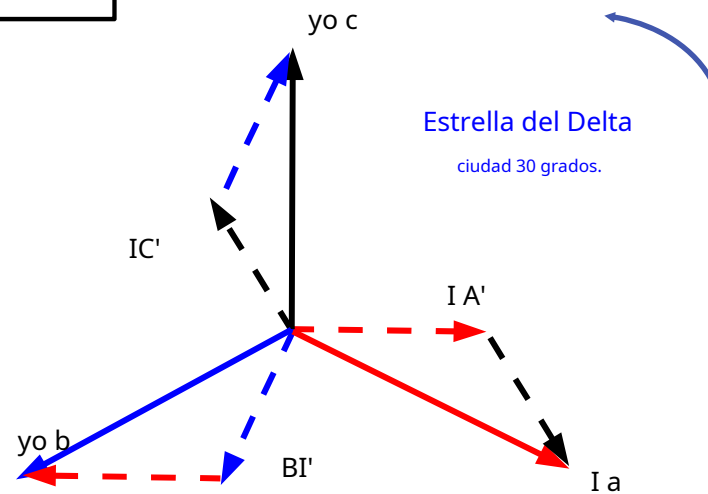
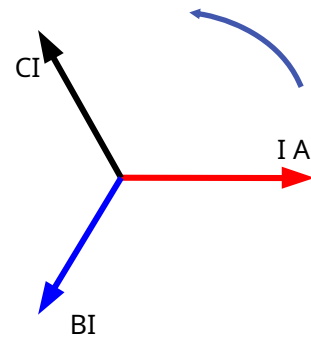
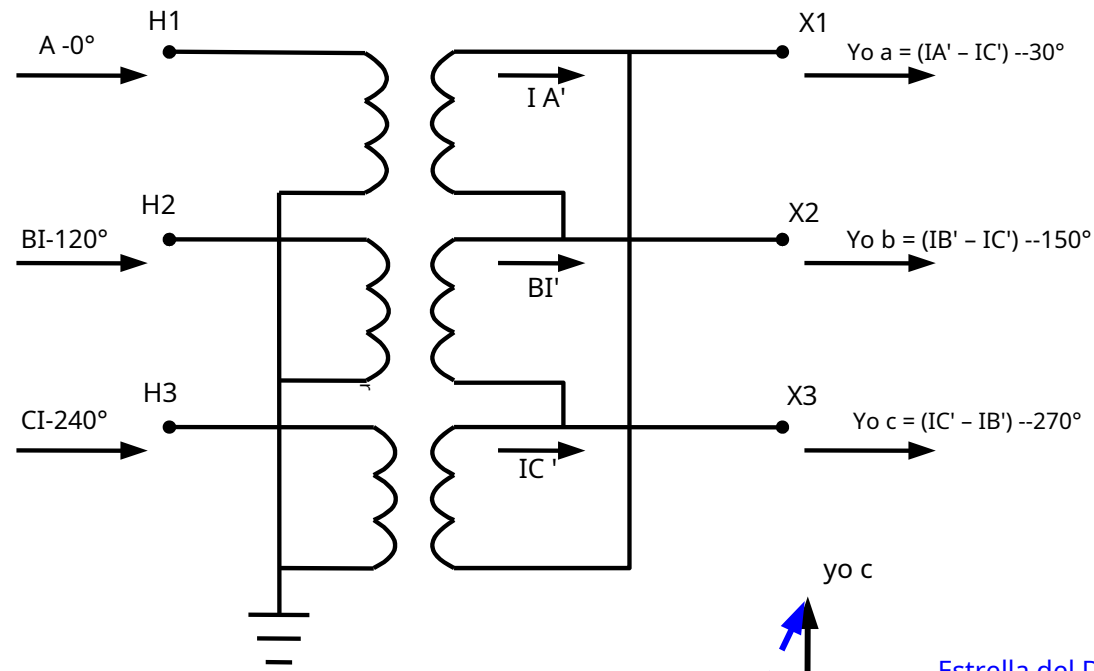
Compensación de fase

Transformador: D/Y30



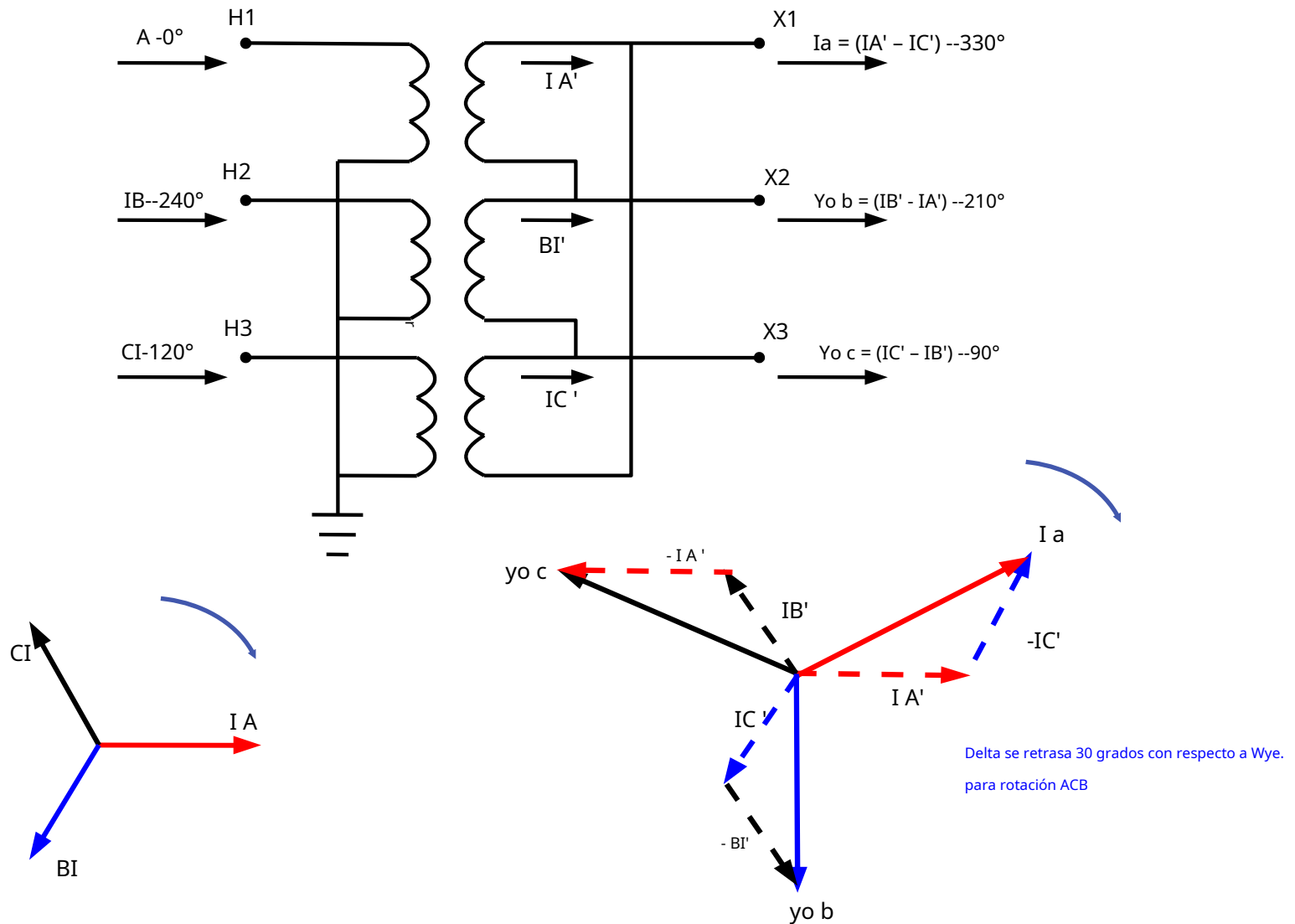
Compensación de fase

Rotación ABC: ángulo de compensación = $-30 - 0 = 30$ de retraso

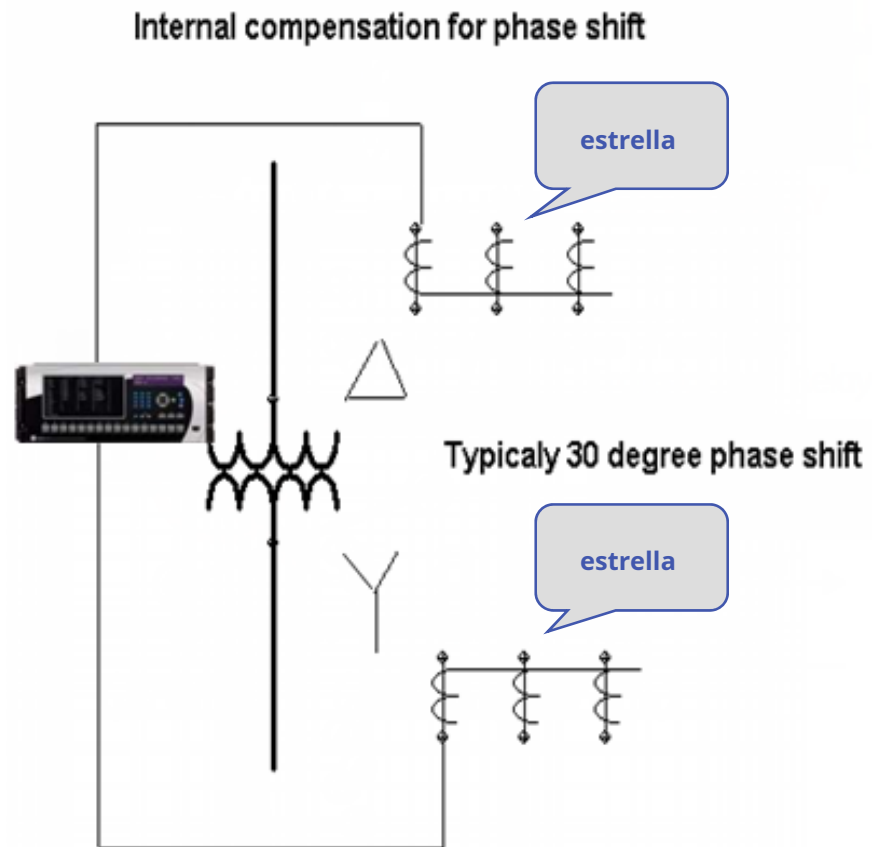
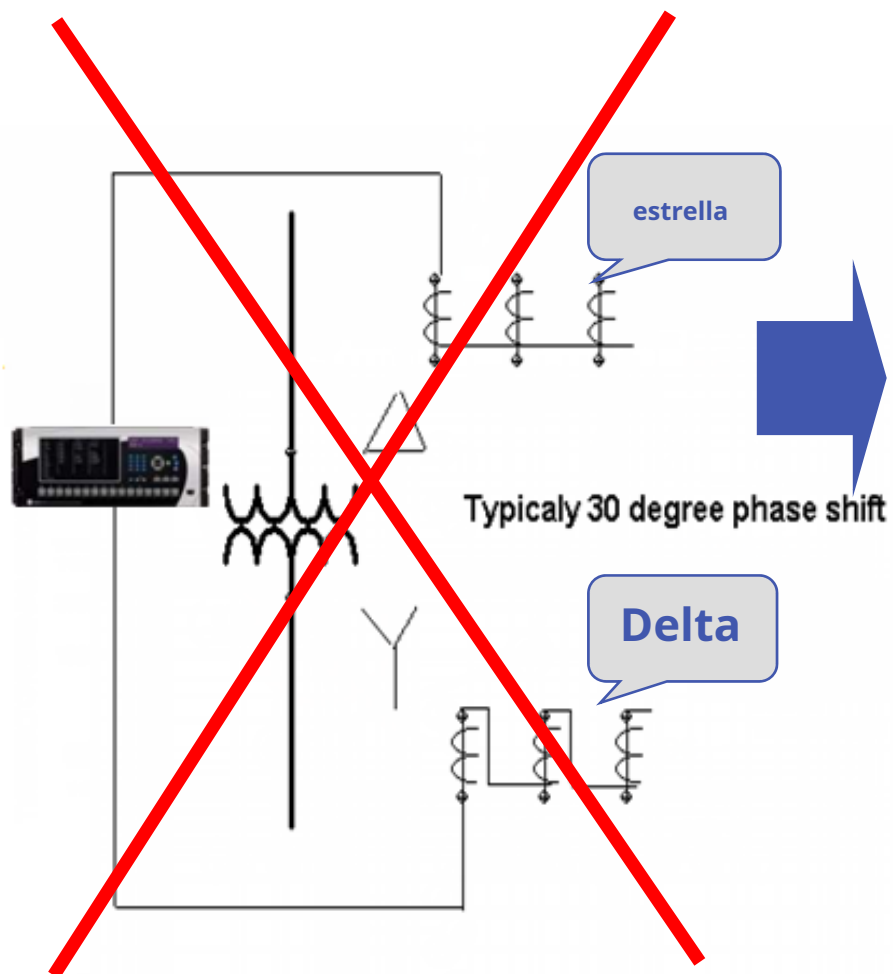


Compensación de fase

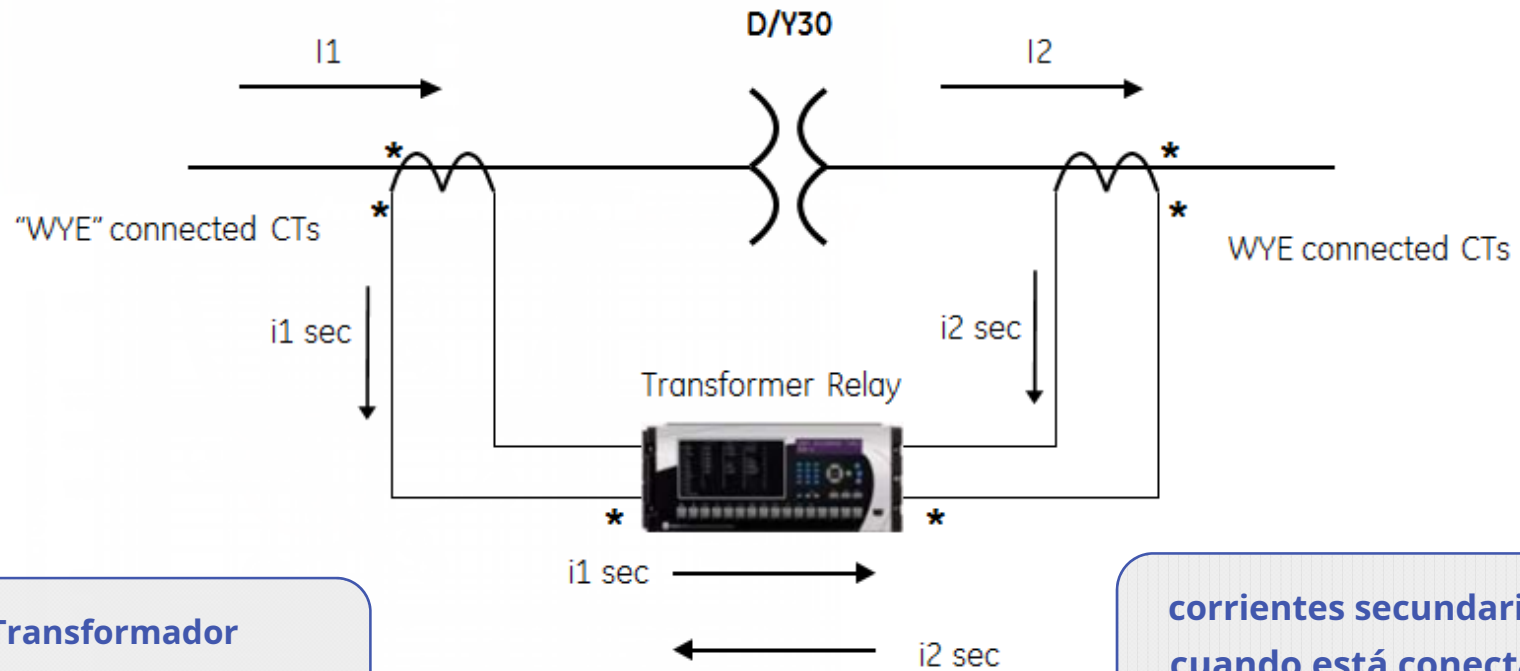
Rotación ACB: ángulo de compensación = $0 - (-330) = 330 = 30$ de retraso



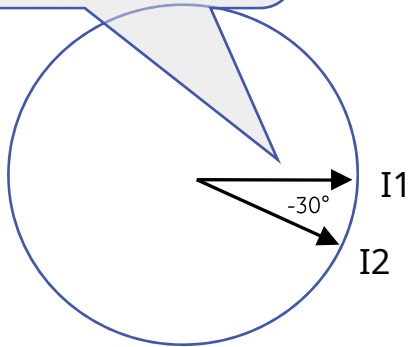
Cableado y polaridad CT



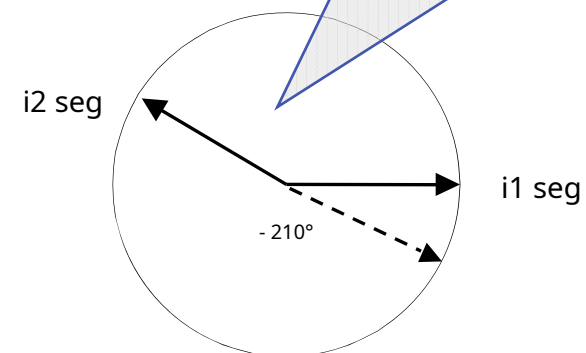
Cableado y polaridad CT



**Transformador
corrientes primarias -
fase A**



**corrientes secundarias CT,
cuando está conectado al
relé - fase A**



Configuración de CT y devanados de transformador

PASO 1 . Definir entradas CT

PASO 2 . Configuración de origen (si corresponde)

PASO 3 . Número de devanados

ETAPA 4 . Definir devanados de transformador

The screenshot displays three stacked configuration windows for a transformer model (UR T60).

Current // Network: UR T60: Settings: System Setup: AC Inputs

PARAMETER	CT F1	CT F5	CT M1	CT M5
Phase CT Primary	500 A	1000 A	1 A	1 A
Phase CT Secondary	5 A	5 A	1 A	1 A
Ground CT Primary	1 A	1000 A	1 A	1 A
Ground CT Secondary	1 A	5 A	1 A	1 A

Signal Sources // Network: UR T60: Settings: System Setup

PARAMETER	SOURCE 1	SOURCE 2	SOURCE 3
Name	SRC 1	SRC 2	SRC 3
Phase CT	F1	F5	None
Ground CT	F1	F5	None
Phase VT	U5	U5	None
Aux VT	U5	U5	None

General // Network: UR T60: Settings: System Setup: Transform...

SETTING	PARAMETER
Number Of Windings	2
Phase Compensation	Internal (software)

UR T60 Settings: System Setup: Transformer

PARAMETER	WINDING 1	WINDING 2
Source	SRC 1 (SRC 1)	SRC 2 (SRC 2)
Rated MVA	100.000 MVA	100.000 MVA
Nominal Phs-phs Voltage	230.000 kV	69.000 kV
Connection	Delta	Wye
Grounding	Not within zone	Within zone
Angle Wrt Winding 1	0.0 °	-30.0 °

Paso 4: configuración de los devanados del transformador

Fuente (SRC) para las corrientes del devanado 2 según el paso 3

Fuente (SRC) para las corrientes del devanado 1 según el paso 3

acididad (MVA) por placa de identificación - igual gusanos

encontrando fase a fase
Clasificación de voltaje según la placa de identificación del respondedor.

Tipo de conexión de bobinado

Puesta a tierra del devanado dentro de la zona de protección 87T

Resistencia en serie del devanado: se usa solo con térmica. proteccion

El ángulo del devanado 1 debe ingresarse como 0° para cualquier configuración de transformador

Ángulo por el cual las corrientes del devanado 2 se retrasan las corrientes del devanado 1 "con respecto a" (WRT) Ángulo del devanado 1 de 0° grados

PARAMETER	WINDING 1	WINDING 2
Source	SRC 1 (SRC 1)	SRC 2 (SRC 2)
Rated MVA	100.000 MVA	100.000 MVA
Nominal Phs-phs Voltage	230.000 kV	69.000 kV
Connection	Delta	Wye
Grounding	Not within zone	Within zone
Angle Wrt Winding 1	0.0 °	-30.0 °
Resistance	10.0000 ohms	10.0000 ohms

Paso 4: configuración de los devanados del transformador

PARAMETER	WINDING 1	WINDING 2
Source	SRC 1 (SRC 1)	SRC 2 (SRC 2)
Rated MVA	100.000 MVA	100.000 MVA
Nominal Phs-phs Voltage	230.000 kV	69.000 kV
Connection	Delta	Wye
Grounding	Not within zone	Within zone
Angle Wrt Winding 1	0.0 °	-30.0 °
Resistance	10.0000 ohms	10.0000 ohms

Puesta a tierra del devanado dentro de la zona de protección 87T

"Dentro de zona" y "Fuera de zona"

Para "Dentro de zona", el relé elimina las corrientes de secuencia cero antes de formar su señal diferencial.

Para "Fuera de la zona", no se realiza la eliminación de secuencia cero

Paso 4: configuración de los devanados del transformador

Windings // T60 for 4_6 fw - sample.urs : C:\Program Files\GE Power Management\...

Save Restore Default Reset

PARAMETER	WINDING 1	WINDING 2
Source	SRC 1 (SRC 1)	SRC 2 (SRC 2)
Rated MVA	100.000 MVA	100.000 MVA
Nominal Phs-phs Voltage	230.000 kV	69.000 kV
Connection	Delta	Wye
Grounding	Not within zone	Within zone
Angle Wrt Winding 1	0.0 °	-30.0 °
Resistance	10.0000 ohms	10.0000 ohms

El ángulo del devanado 1 debe ingresarse como 0° para cualquier configuración de transformador

Ángulo en el que las corrientes del devanado 2 retrasan las corrientes del devanado 1 con respecto al ángulo del devanado 1 (WRT) de 0° grados

La configuración **ANGLE WRT** requiere el 'ángulo con respecto a'. El ángulo WRT del devanado 1 debe ser cero para todos los transformadores.

configuraciones y el

Los ángulos para los otros devanados deben ser ingresado con respecto al **Devanado 1**. **Negativo** los valores representan ángulos retrasados.

Compensación de magnitud

Save Restore Default

SETTING	PARAMETER
Number Of Windings	2
Reference Winding Selection	Automatic Selection
Phase Compensation	Internal (software)
Load Loss At Rated Load	100 kW
Rated Winding Temperature Rise	65°C (oil)
No Load Loss	10 kW
Type Of Cooling	OA
Top-oil Rise Over Ambient	35 °C
Thermal Capacity	100.00 kWh/°C
Winding Thermal Time Constant	2.00 min

T60 Settings: System Setup: Transformer

“Selección de devanado de referencia”: el usuario puede seleccionar un devanado del menú para que sea una referencia. devanado, que selecciona automáticamente el CT de este devanado (configuración de CT) como la unidad para la protección diferencial porcentual.

Save Restore Default

SETTING	PARAMETER
Number Of Windings	2
Reference Winding Selection	Winding 1
Phase Compensation	Automatic Selection
Load Loss At Rated Load	Winding 1
Rated Winding Temperature Rise	Winding 2
No Load Loss	Winding 3
Type Of Cooling	Winding 4
Top-oil Rise Over Ambient	Winding 5
Thermal Capacity	100.00 kWh/°C
Winding Thermal Time Constant	2.00 min

T60 Settings: System Setup: Transformer

Compensación de magnitud

Referencia de magnitud 87T configurada en "Selección automática"

1. Calcula la corriente nominal por cada devanado:

$$I_{\text{nominal}}(w1) = \text{MVA} / (kV(w1)^* - 3) \quad I_{\text{nominal}}(w2) = \text{MVA} / (kV(w2)^* - 3)$$

2. Calcula el margen CT para cada devanado: Margen

$$L(w1) = CT_{\text{primario}}(w1) / I_{\text{nominal}}(w1) \quad \text{Margen } L(w2) = CT_{\text{primario}}(w2) / I_{\text{nominal}}(w2)$$

3. Encuentra el margen CT más bajo:

$$TC \text{ DE REFERENCIA} = \min [\text{Margen } L(w1), \text{ margen } L(w2)]$$

4. Encuentra los coeficientes de magnitud por los cuales se multiplican las corrientes del devanado correspondiente.

$$M(W) = [CT_{\text{prim}}(W) * V_{\text{nom}}(W)] / [CT_{\text{prim}}(W_{\text{ref}}) * V_{\text{nom}}(W_{\text{ref}})]$$

Compensación de magnitud

Referencia de magnitud 87T configurada en "Winding X"

REFERENCIA: $kV(Wx)$, $CT(Wx)$

Encuentra los coeficientes de escala de magnitud por los cuales se multiplican las corrientes de los devanados correspondientes.

$$M(W) = [CT \text{ prim}(W) * V \text{ nom}(W)] / [CT \text{ prim}(Wx) * V \text{ nom}(Wx)]$$

Corrientes diferenciales y de restricción

CORRIENTES COMPENSADAS:

$$\overrightarrow{I1_{COMP}} = C1 * M1(w1) * (\overrightarrow{I1_{SEGUNDO}} * CT1_{RELACION})$$

$$\overrightarrow{I2_{COMP}} = C2 * M2(w2) * (\overrightarrow{I2_{SEGUNDO}} * CT2_{RELACION})$$

dónde,

C1, C2 - coeficientes de cambio de fase (C = 1 para el devanado de referencia de fase)

M1, M2 - coeficientes de magnitud (M = 1 para el devanado de referencia de magnitud)

SEÑAL DIFERENCIAL:

$$\overrightarrow{I_{DIFERENCIA}} = \overrightarrow{I1_{COMP}} + \overrightarrow{I2_{COMP}}$$

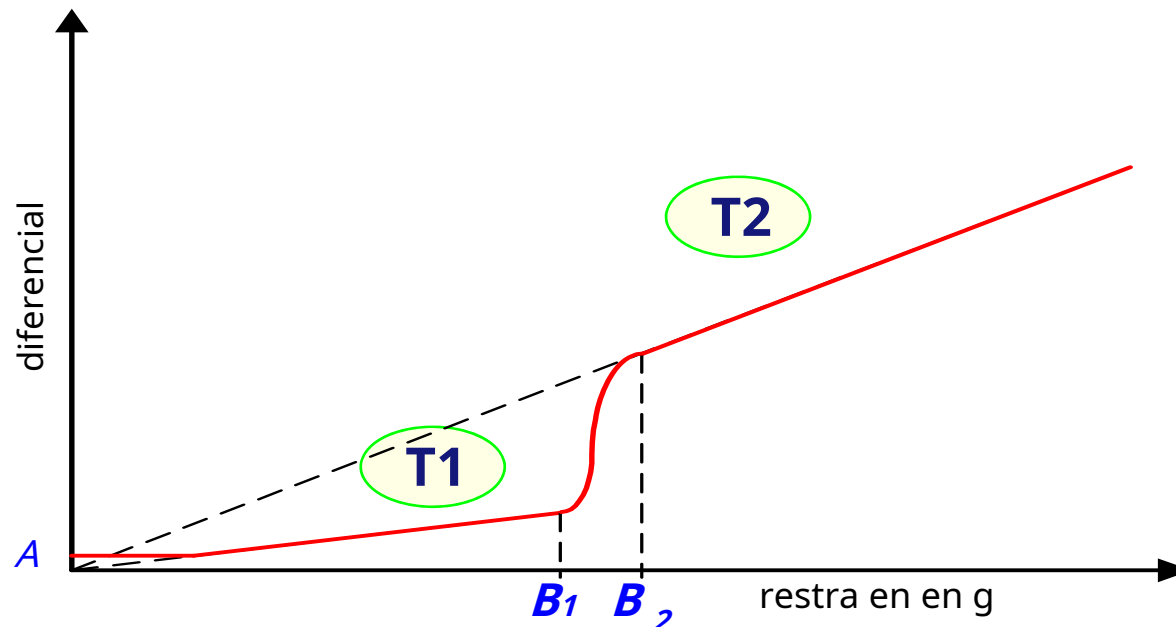
SEÑAL DE RESTRICCIÓN:

$$I_{LISTA} = \max (|\overrightarrow{I1_{COMP}}| , |\overrightarrow{I2_{COMP}}|)$$

Diferencial - Característica de retención

Se utilizan dos vertientes para hacer frente a:

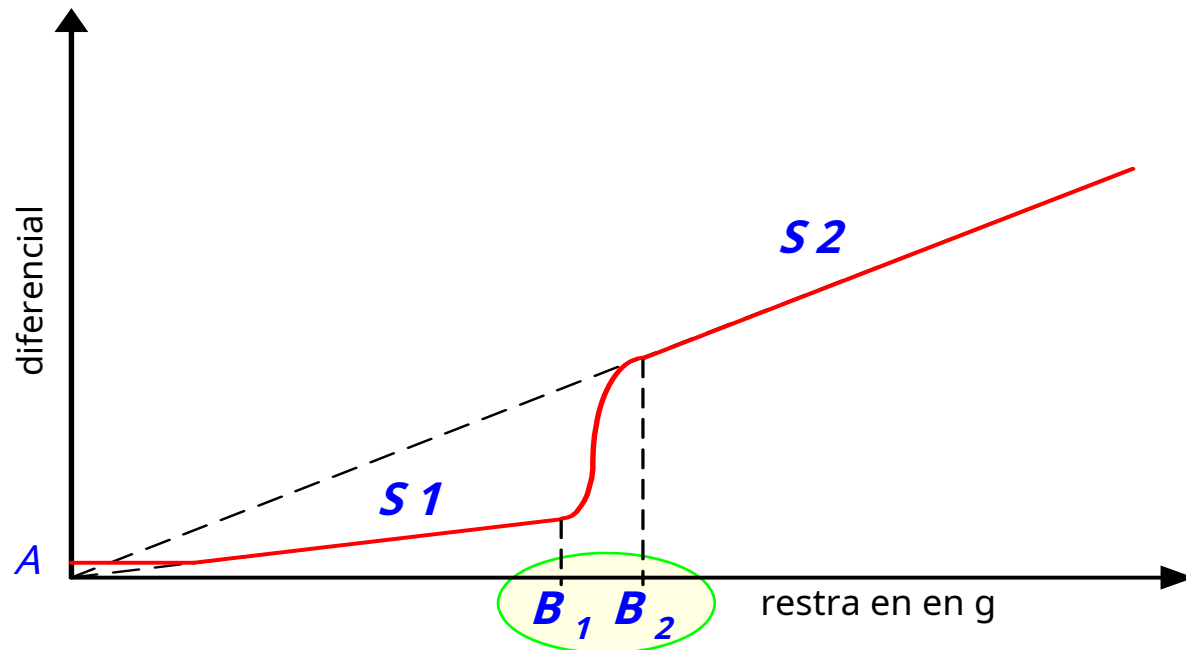
- > Pequeños errores durante el funcionamiento lineal de los CT (S1) y
- > Grandes errores de TC (saturación) para corrientes de paso altas (S2)



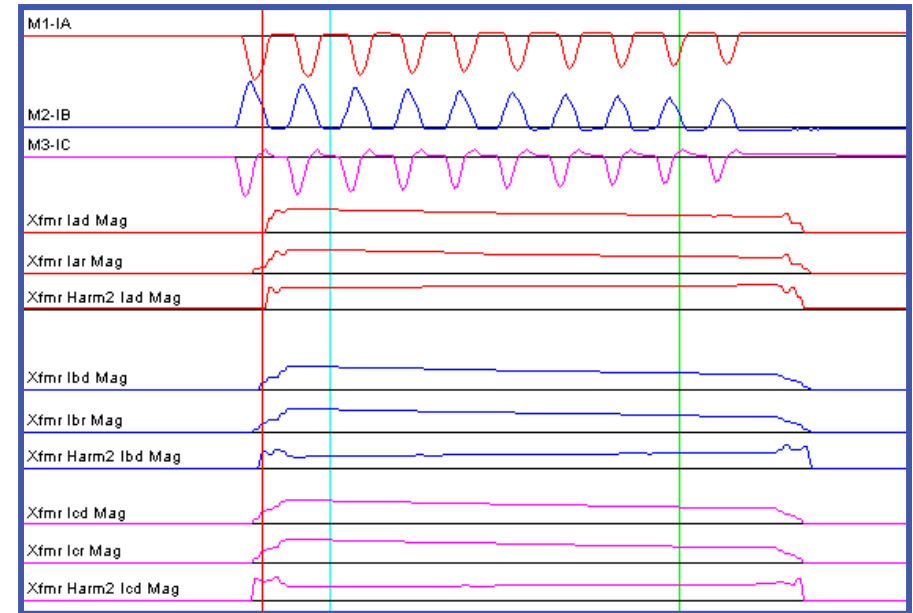
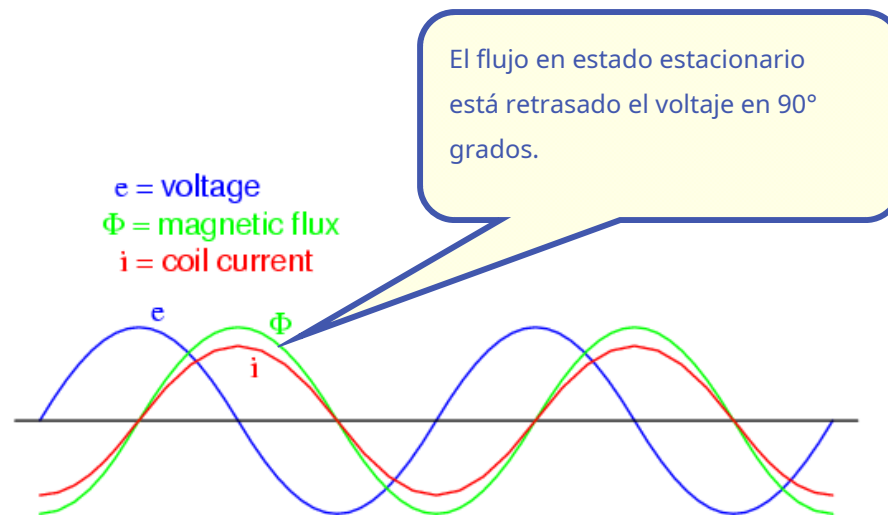
Diferencial - Característica de retención

Se utilizan dos puntos de interrupción para especificar:

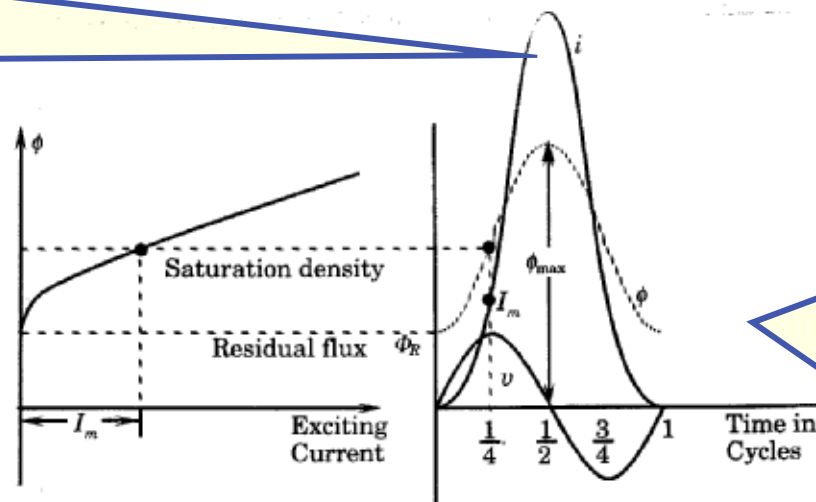
- > El límite seguro de funcionamiento lineal del CT (B_1) y
- > El nivel de corriente mínimo que puede causar grandes señales diferenciales espurias debido a la saturación del CT (B_2)



irrupción del transformador



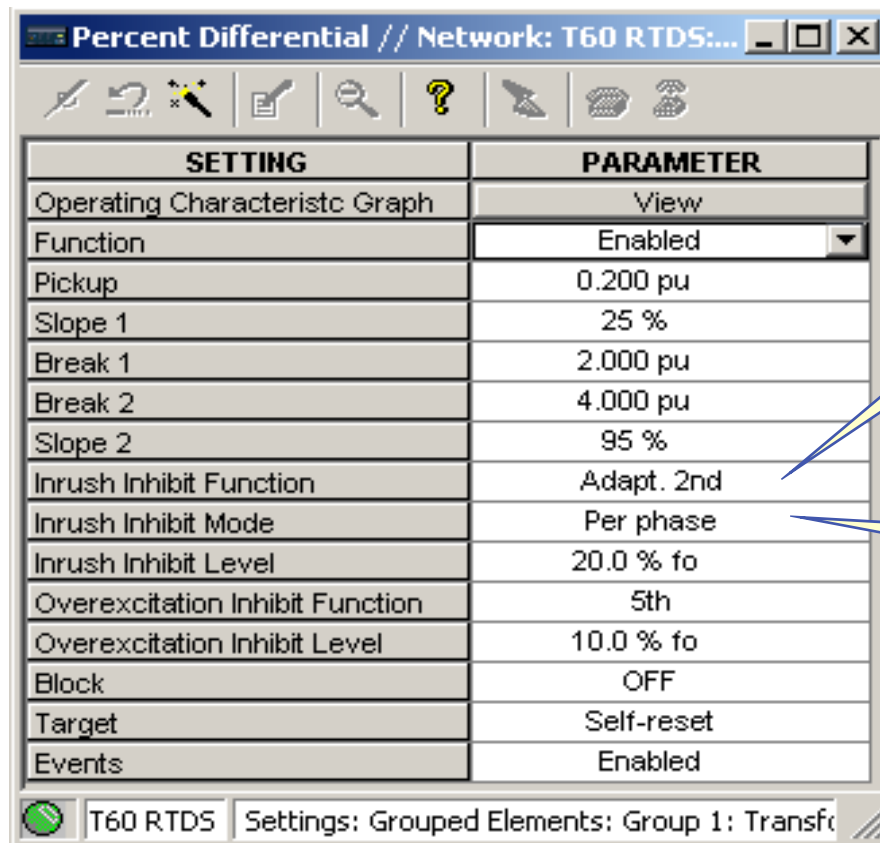
A medida que aumenta el flujo, la excitante corriente crece con el flujo.



El flujo aumenta desde cero, cuando se aplica el voltaje en el cruce por cero, y puede alcanzar 2 veces el flujo máximo. El corriente magnetizante aumenta aún más si el transformador está energizado en el punto cero de la onda de voltaje, y hay flujo residual

87T – Inhibición del segundo armónico

Cuando el transformador está energizado (la corriente se aplica solo en un lado del transformador), los 2^{Dakota del Norte}El contenido armónico de la corriente se puede utilizar para bloquear el funcionamiento del elemento diferencial durante la energización.

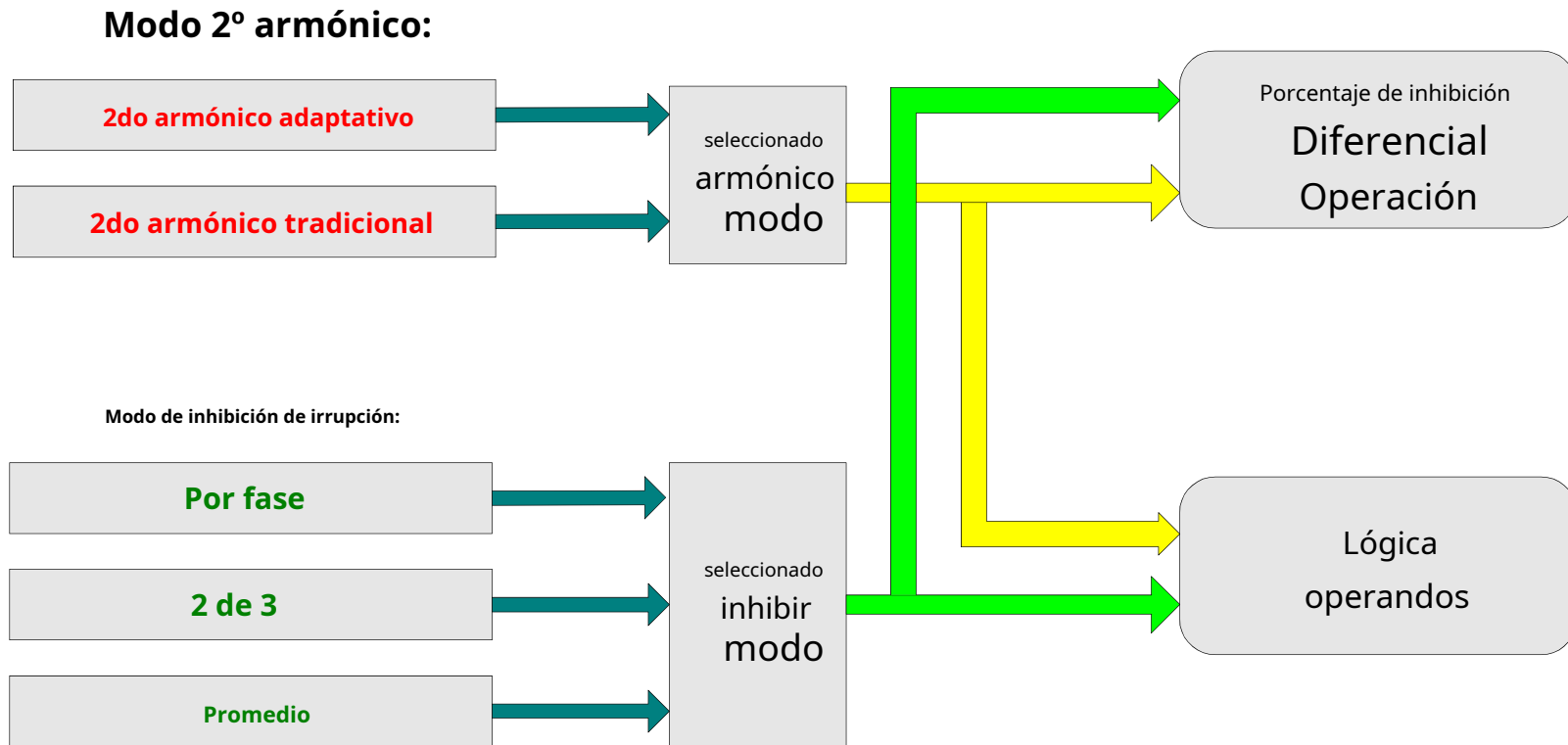


- Adaptar. 2^{Dakota del Norte}
- Comercial. 2^{Dakota del Norte}

- Por fase
- 2 de 3
- Promedio

87T – Inhibición del segundo armónico

Porcentaje de inhibición armónica diferencial



87T – Inhibición del segundo armónico

2do armónico adaptativo

- Utiliza tanto la magnitud como la relación de fase entre los componentes del segundo armónico y la frecuencia fundamental (60 Hz).

2do armónico tradicional

- Utiliza sólo la magnitud del 2º armónico, sin considerar el ángulo de fase con la componente fundamental.

87T – Inhibición del segundo armónico

Por fase

El 2do armónico de una fase individual, bloquea el funcionamiento de la protección diferencial solo para esa fase, si está por encima del ajuste del 2do armónico

2 de 3

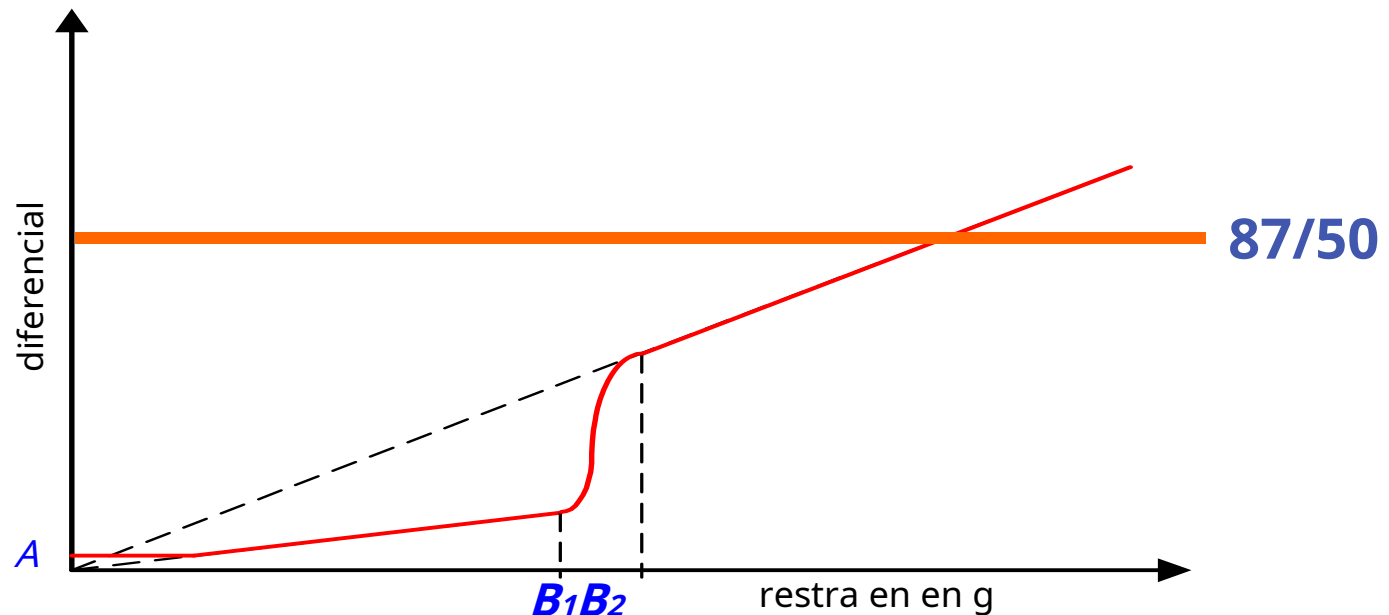
La detección de un segundo armónico en dos fases cualesquiera que sea superior al ajuste, bloquea la protección diferencial en las tres fases.

Promedio

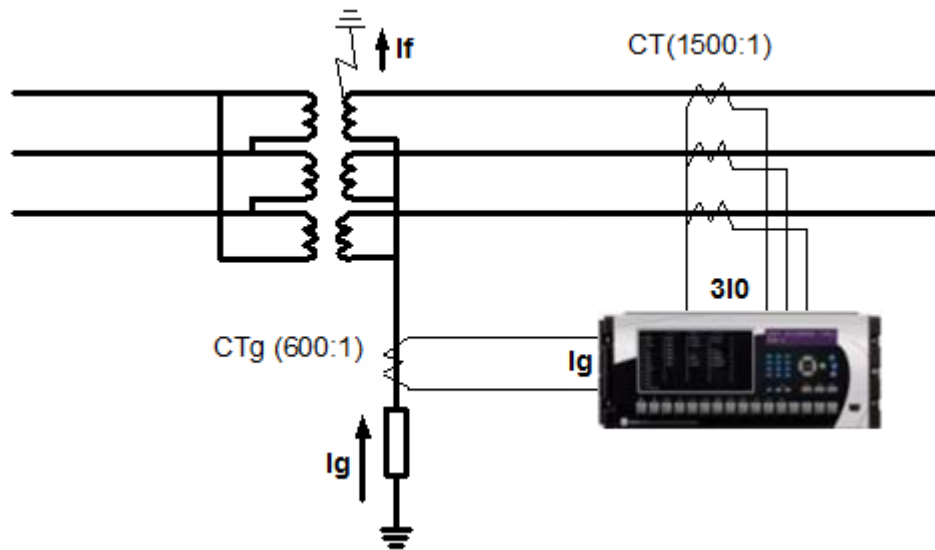
La cantidad promediada del segundo armónico de las tres fases bloquea la protección diferencial para todas ellas, si está por encima del ajuste

Protección diferencial instantánea

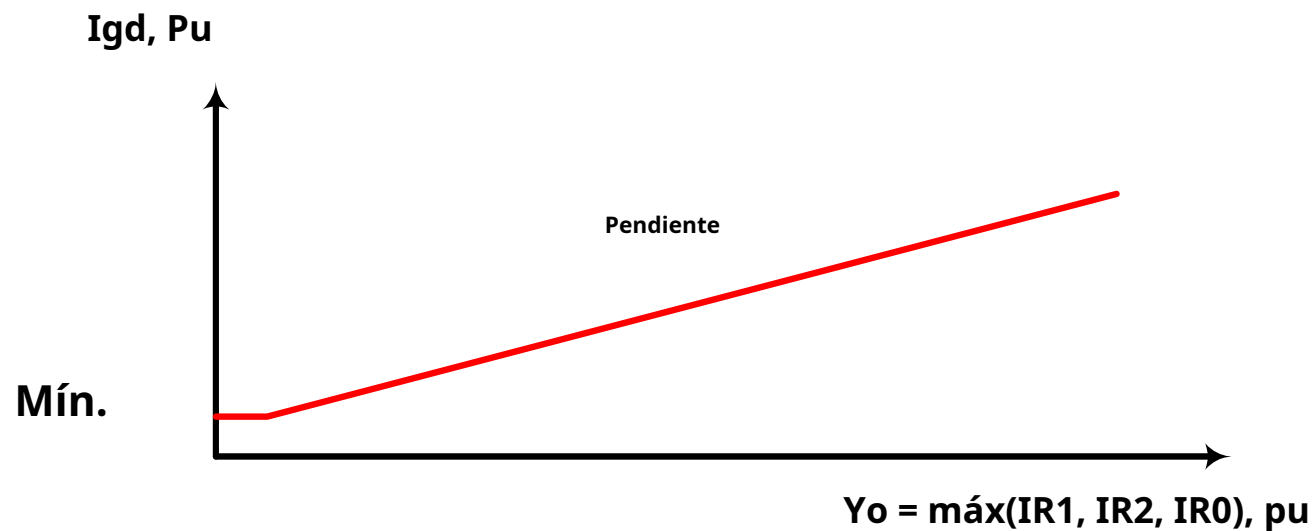
- Definida como función **87/50** y funciona sin demora
- El ajuste debe ser mayor que la corriente diferencial máxima que el relé puede detectar a través de fallas que tienen en cuenta la saturación del CT.
- El ajuste debe ser mayor que la corriente de entrada máxima durante la energización.
- El ajuste debe ser inferior a la corriente de fallo interna máxima.



Protección restringida de falla a tierra



- Protección diferencial de tierra de baja impedancia
- Ajustes ajustables de recogida e inclinación para hacer frente a los desequilibrios durante carga y a través de corrientes de falla
- Retardo de tiempo configurable



Protección restringida de falla a tierra

Save Restore Default	
PARAMETER	RGF1
Function	Enabled
Source	SRC 1 (SRC 1)
Pickup	0.080 pu
Slope	50 %
Pickup Delay	0.00 s
Reset Delay	0.00 s
Block	OFF
Target	Self-reset
Events	Disabled

Restricción basada en secuencia positiva:

$IR1 = 3 * (|I1| - |I0|)$, si $|I1| > 1,5 \text{ pu}$, y $|I1| > |I0|$

de lo contrario $IR1 = |I1| / 8$

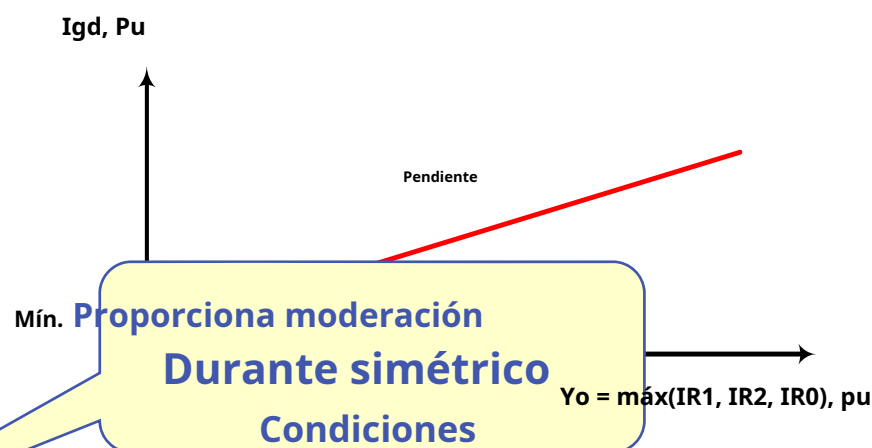
Restricción basada en secuencia negativa: $IR2 = |I2|$

durante los primeros 2 ciclos de energización del transformador

$IR2 = 3 * |I2|$ - en condiciones normales

Restricción basada en secuencia cero: $IR0$

$= |IG - EN| = |IG - (IA + IB + IC)|$



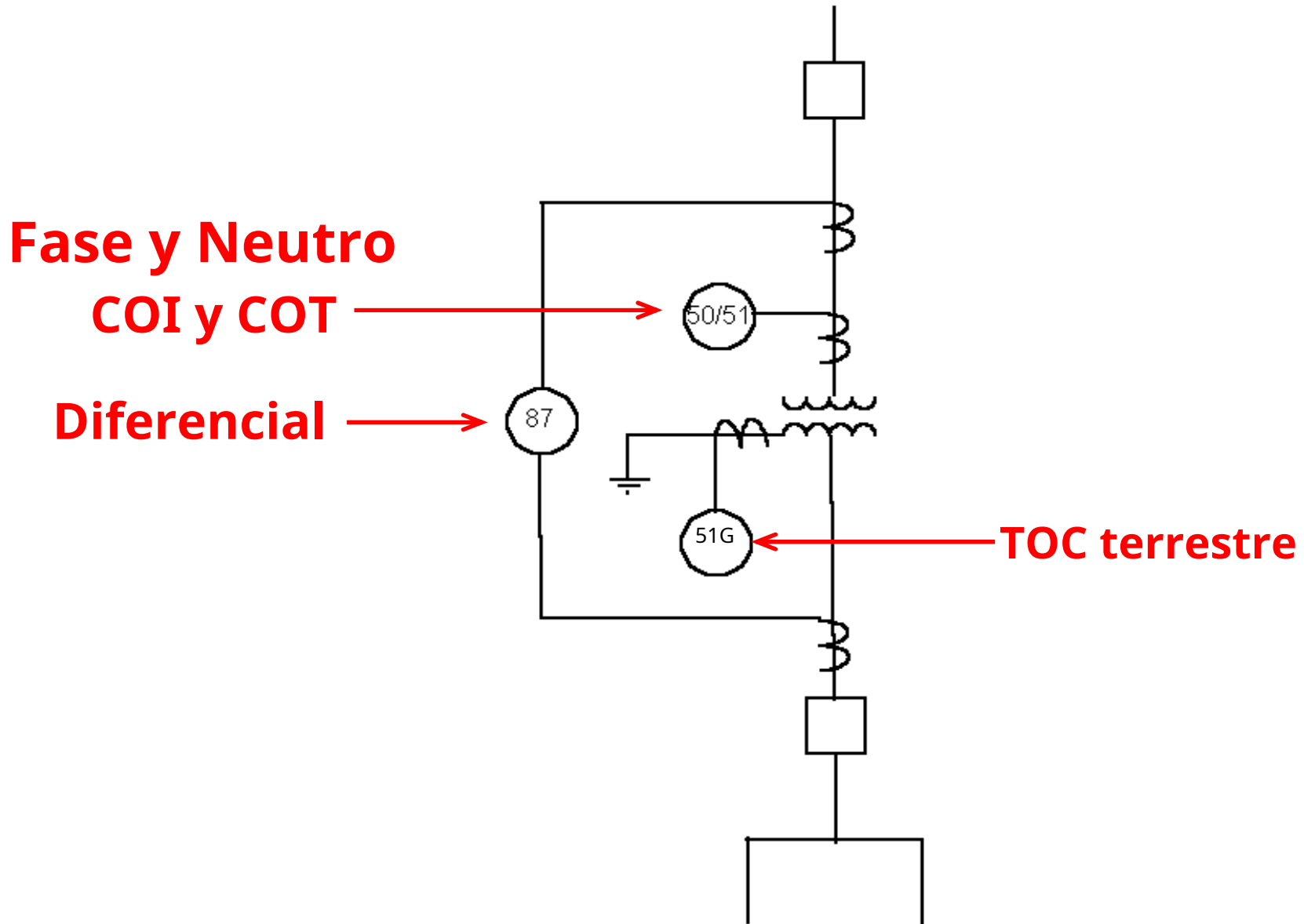
Corriente diferencial de tierra: $I_{gd} = |IG + EN| = |IG + IA + IB + IC|$

Corriente de restricción de tierra: $I_{gr} = \max(IR1, IR2, IR0)$

Proporciona restricción durante fallas externas de fase a fase

Proporciona moderación durante Fallas a tierra externas

Transformador O en Esr C en r Es t B



Protección contra sobreexcitación (V/Hz)

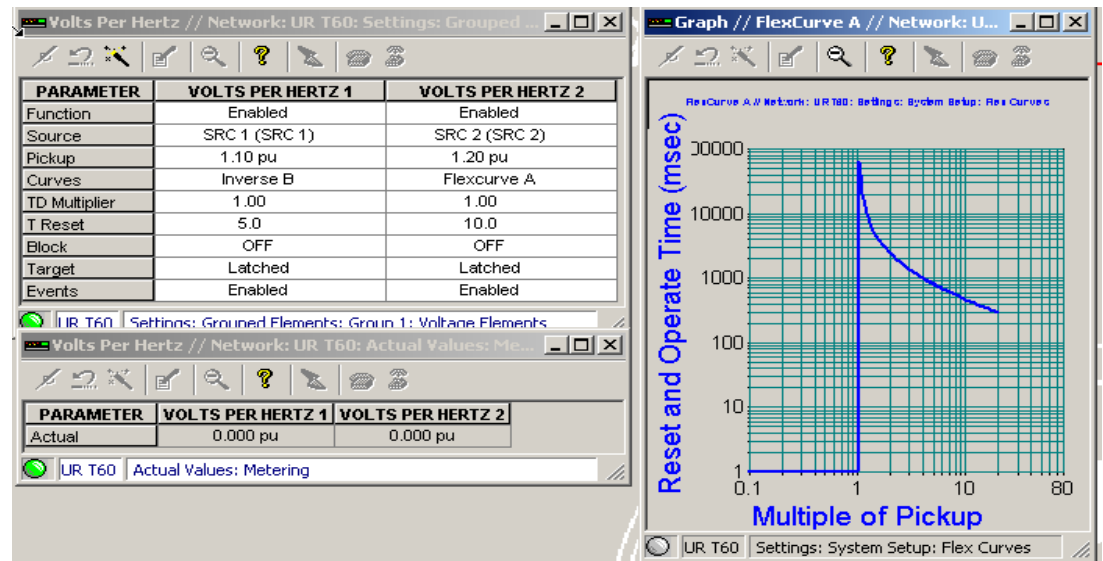
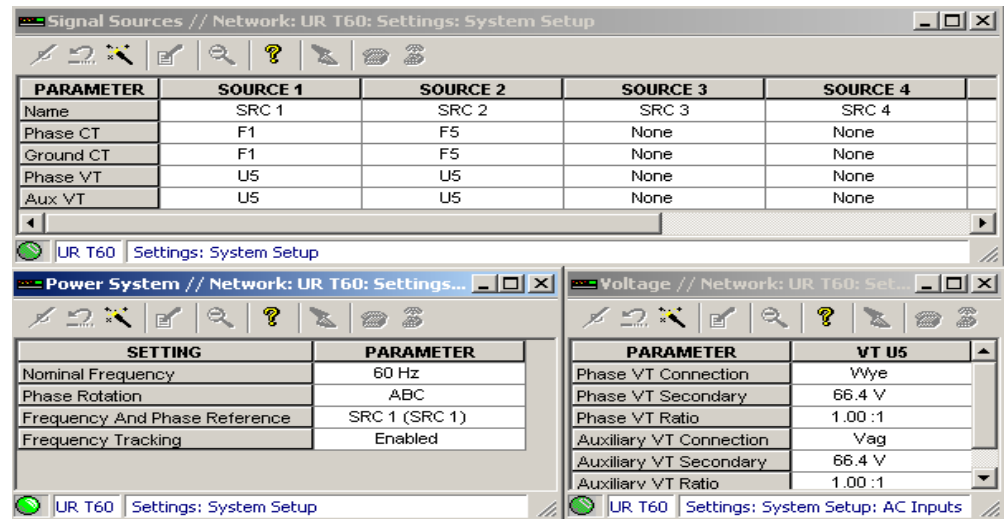
- función ANSI24
- Protección contra sobreflujo: resultado de sobretensiones del sistema o baja frecuencia del sistema
- Un transformador está diseñado para funcionar a una densidad de flujo magnético máxima o por debajo de ella en el núcleo del transformador.
- Por encima de este límite de diseño, las corrientes parásitas en el núcleo y los componentes conductores cercanos provocan un sobrecalentamiento que en muy poco tiempo puede provocar daños graves.
- El flujo magnético en el núcleo es proporcional al voltaje aplicado al devanado dividido por la impedancia del devanado.
- El flujo en el núcleo aumenta al aumentar el voltaje o al disminuir la frecuencia.

Protección contra sobreexcitación (V/Hz)

- Durante el arranque o apagado de transformadores conectados al generador, o después de un rechazo de carga, el transformador puede experimentar una relación excesiva de voltios a hercios, es decir, sobreexcitarse.
- Cuando el núcleo de un transformador está sobreexcitado, el núcleo está operando en una región magnética no lineal y crea componentes armónicos en la corriente de excitación.
- Una cantidad significativa de corriente en el quinto armónico es característica de la sobreexcitación.

Protección contra sobreexcitación (V/Hz)

- El ajuste por unidad debe hacer frente a las recomendación para el transformador
- 1,1 x voltaje continuo Vnom: configurado justo por encima de ese voltaje para alarma y disparo
- $66,4 \text{ V} / 60 \text{ Hz} = 1 \text{ PU}$
- Curva térmica personalización a través de la curva personalizada
- Tiempo de reinicio de enfriamiento mejorado



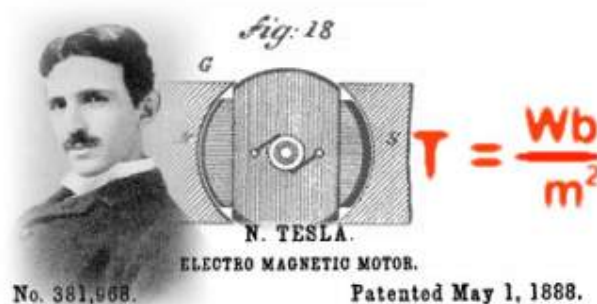
Protección del motor

Historia y hechos del motor

- La primera patente estadounidense para un motor se concedió a Thomas Davenport en 1837.



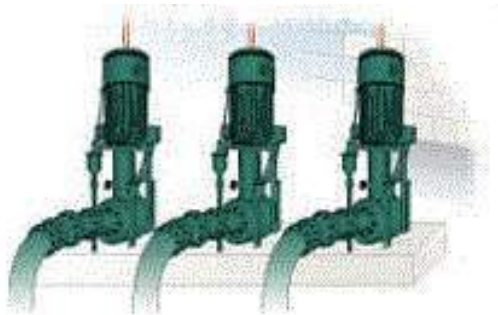
- En 1888, Nikola Tesla patentó el primer motor polifásico de CA.



- Hoy en día, en América del Norte hay más de mil millones de motores en servicio.
- Los motores consumen el 25% de la electricidad en América del Norte
- El consumo de electricidad de los motores en el sector manufacturero es del 70%.
En las industrias de petróleo, gas y minería alrededor del 90%
- Los motores de inducción trifásicos de jaula de ardilla representan más del 90% del motor instalado.
capacidad

Diversas aplicaciones de motores industriales

- ventiladores, sopladores
- Bombas, Compresores
- Trituradoras, astilladoras
- Transportadores, Trituradoras
- Trituradoras, Mezcladoras
- Grúas, Extrusoras
- Refinadores, enfriadores



Tasas y costos de fallas del motor

- La tasa de falla del motor se estima de manera conservadora entre 3% y 5% por año.
 - En la industria de la minería, la pulpa y el papel, la tasa de fallas del motor puede llegar al 12%.
- Contribuyentes al costo de fallas del motor:
 - Reparación o reemplazo
 - Desmontaje e instalación
 - Pérdida de producción
- Fallas de motores divididas en 3 grupos:
 - Eléctrico
 - Mecánico
 - Ambiental, Mantenimiento y otros

ESTUDIO IEEE		ESTUDIO EPRI		PROMEDIO
CONTRIBUIDOR DE FRACASO	%	COMPONENTE FALLADO	%	%
Sobrecarga persistente	4,20%	Aislamiento de tierra del estator	23.00	Eléctrico Fallos relacionados 33%
Deterioro normal	26,40%	Gire el aislamiento	4.00	
		Vigorizante	3.00	
		Centro	1.00	
		Jaula	5.00	
Total relacionado con electricidad	30,60%	Total relacionado con electricidad	36,00%	
Alta vibración	15,50%	Cojinetes de manguito	16.00	Mecánico Fallos relacionados 31%
Mala lubricación	15,20%	Rodamientos antifricción	8.00	
		Rodamientos de confianza	5.00	
		Eje del rotor	2.00	
		Núcleo del rotor	1.00	
Relacionados con la mecánica Total	30,70%	Relacionados con la mecánica Total	32,00%	
Temperatura ambiente alta.	3	Sellos de rodamientos	6.00	Ambiental, Mantenimiento y Otras razones Fallos relacionados 36%
Humedad anormal	5.8	Fuga de aceite	3.00	
Voltaje anormal	1.5	Marco	1.00	
Frecuencia anormal	0,6	Porciones	1.00	
Productos químicos abrasivos	4.2			
Mala ventilación Enfriamiento	3.9			
Otras razones	19.7	Otros componentes	21.00	
Relacionados con el medio ambiente y Otras razones: Total	38,70%	Relacionados con el mantenimiento y Otras Partes: Total	32,00%	

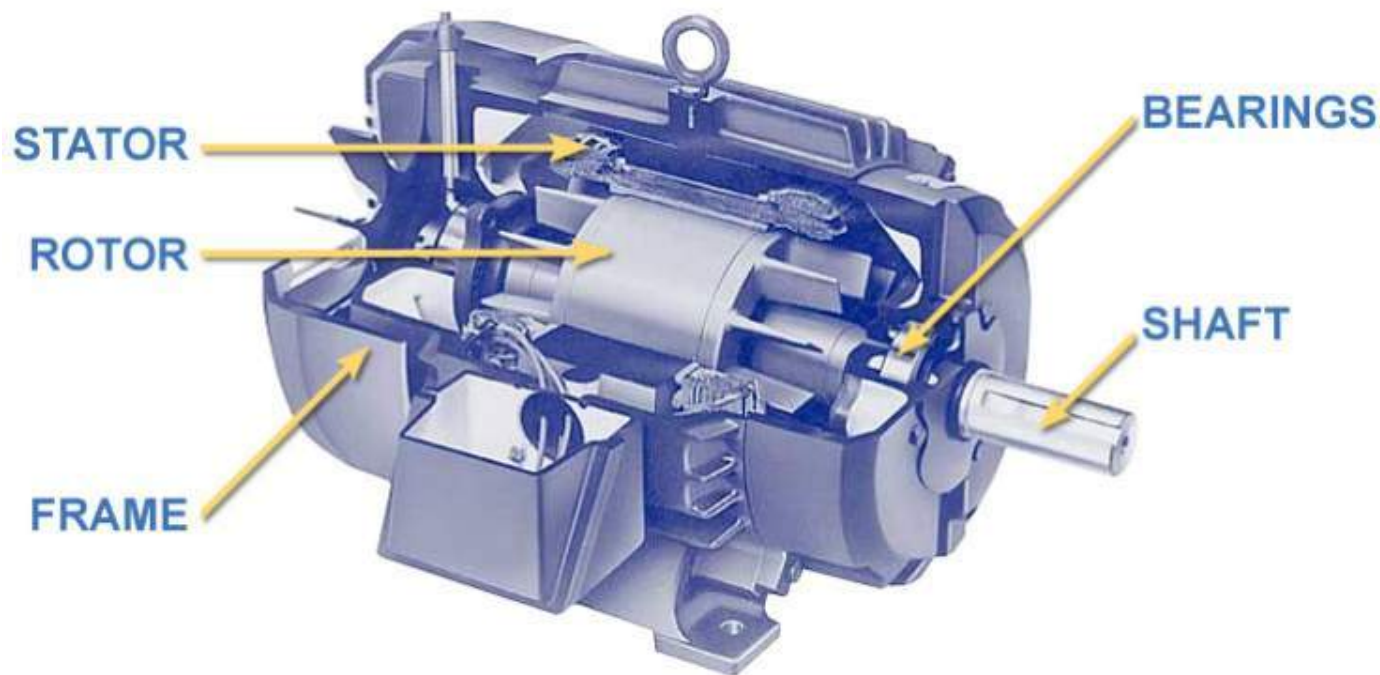
Protección eléctrica de motores

- Sobrecarga térmica
 - Proceso causado (carga excesiva)
 - Condiciones ambientales elevadas (ventilación bloqueada y caliente)
 - Problemas con el suministro de energía (desequilibrio de voltaje/corriente, armónicos)
- Fallo de fase
- Falla a tierra
- Condiciones de funcionamiento anormales
 - Sobre y bajo voltaje
 - Subfrecuencia
 - Desequilibrio de tensión y corriente
 - Pérdida de carga
 - Interferencia
 - Correr



El estrés térmico provoca fallas en el motor

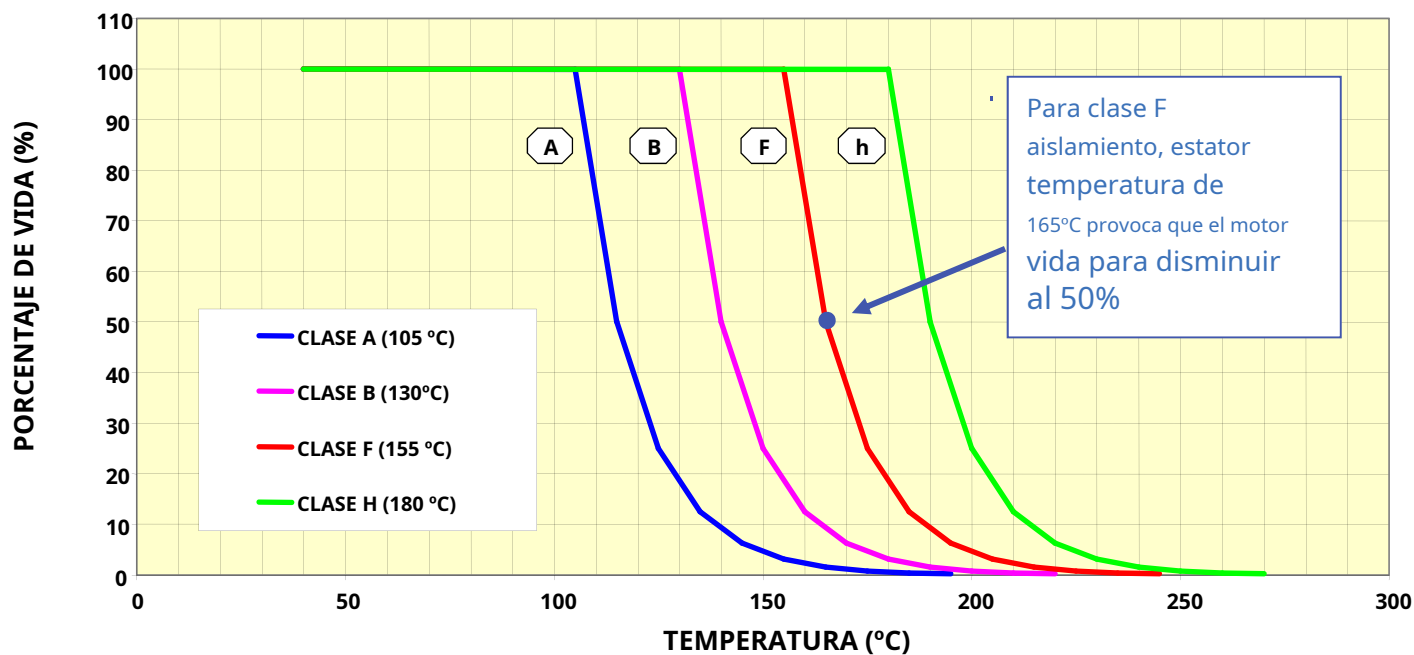
- La mayoría de los factores que contribuyen a las fallas del motor y los componentes fallidos del motor están relacionados con el sobrecalentamiento del motor.
- El estrés térmico puede causar potencialmente la falla de todas las partes principales del motor: estator, rotor, cojinetes, eje y bastidor.



Riesgos de un motor sobrecalentado

- Degradación del aislamiento de los devanados del estator (para motores limitados por estator)

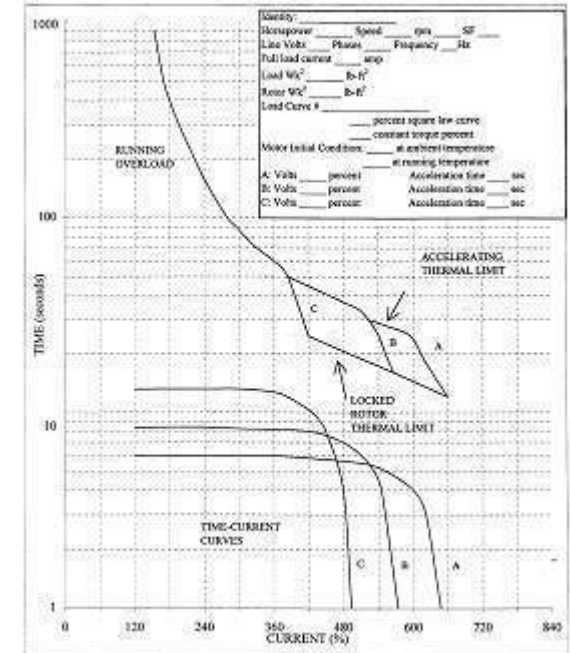
La vida útil del aislamiento se reduce a la mitad si la temperatura de funcionamiento del motor supera el límite térmico en 10 °C durante cualquier período de tiempo.



- Conductores del rotor deformándose o derritiéndose (para rotor limitado: el límite térmico está definido por el tiempo de parada del motor)

Protección contra sobrecarga – Modelo térmico

- Un motor puede funcionar sobrecargado sin que se produzca un fallo en el motor o en el suministro.
- Un elemento primario de protección del motor del relé de protección del motor es el **elemento de sobrecarga térmica** y esto se logra mediante el modelado de imágenes térmicas del motor. Este modelo debe tener en cuenta el proceso térmico en el motor mientras el motor está arrancando, funcionando con carga normal, funcionando sobrecargado y detenido. El algoritmo del modelo térmico integra el calentamiento del estator y del rotor en un solo modelo.
- Los Principales Factores y Elementos que Conforman el Modelo Térmico son:
 - Nivel de recogida de sobrecarga
 - Curva de sobrecarga
 - Constantes de tiempo de enfriamiento en funcionamiento y detenido
 - Relación de tiempo de parada caliente/fría
 - RTD y polarización de desequilibrio
 - Máquina de estados del motor



Modelo Térmico – Estados del Motor

- **Motor Parado:**

Corriente < umbral "0" y el contactor/disyuntor está abierto

- **Arranque de motores:**

El estado anterior es "Detenido" y actual > umbral "0". La corriente del motor debe aumentar a un nivel superior al del arranque de sobrecarga dentro de segundos, de lo contrario el algoritmo del motor declarará el estado "En funcionamiento"

- **Motor en marcha:**

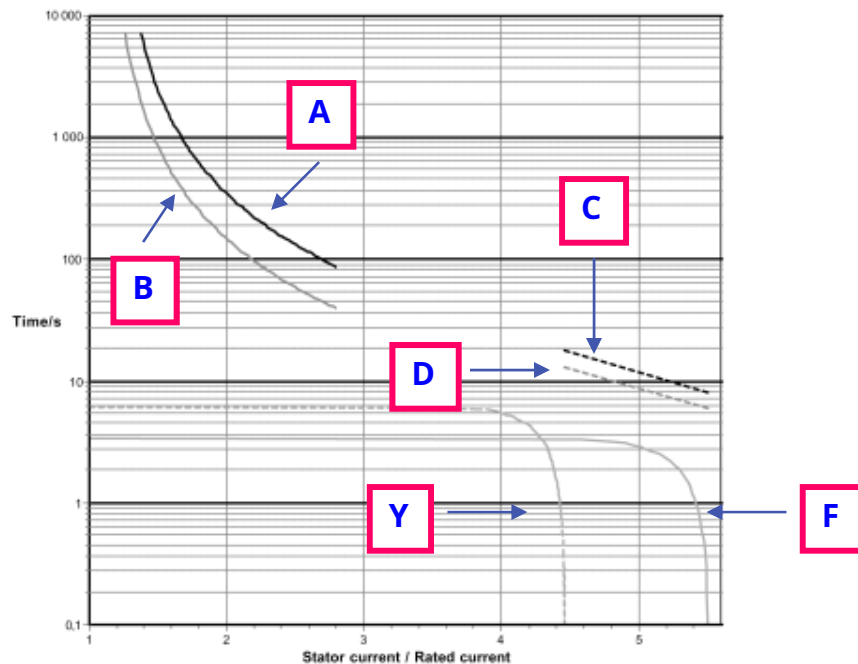
El estado anterior es "Arranque" o "Sobrecarga" y la corriente cae por debajo del nivel de activación de sobrecarga

- **Sobrecarga del motor:**

El estado anterior es "En funcionamiento" y la corriente supera el nivel de activación de sobrecarga. La Capacidad Térmica Utilizada (TCU) comienza a acumularse

Curvas de límite térmico del motor

- El límite térmico del modelo está dictado por la curva de sobrecarga construida en el dispositivo de protección del motor en referencia a las curvas de daño térmico normalmente proporcionadas por el fabricante del motor.
- El dispositivo de protección del motor está equipado con un conjunto de curvas estándar y es capaz de construir curvas personalizadas para cualquier aplicación de motor.



Curvas de límite térmico:

A. Sobrecarga de funcionamiento en frío

B. Sobrecarga de funcionamiento en caliente

C. Curva de rotor bloqueado en frío

D. Curva de rotor bloqueado en caliente

Y. Curva de aceleración al 80 % de la tensión nominal

F. Curva de aceleración @100% voltaje

Recogida de sobrecarga térmica

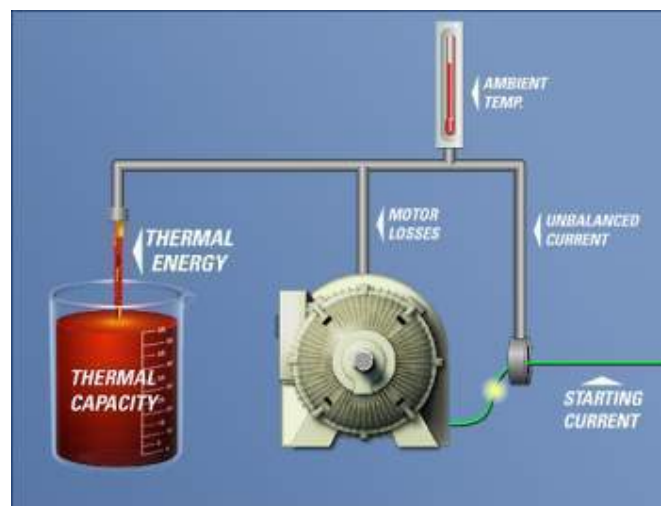
- Establecer al máximo permitido por el factor de servicio del motor.
- Establecer ligeramente por encima del factor de servicio del motor entre un 8% y un 10% para tener en cuenta errores de medición
- Si se utiliza la polarización RTD del modelo térmico, la configuración de sobrecarga térmica se puede establecer en un valor más alto
- Nota: los cables de alimentación del motor normalmente tienen un tamaño de 1,25 veces la corriente nominal de carga completa del motor, lo que limitaría el ajuste de activación de sobrecarga del motor a un máximo de 125 %.

POWER	:8000 HP	TYPE	:K
POLES	:4	FRAME	:8713Z
VOLTAGE	:13200 V	ENCLOSURE	:N1
FREQUENCY	:60 Hz	PHASES	:3
TEMPERATURE RISE:80 C /RTD @ SF 1.0		SERVICE FACTOR	:1.00
		INSULATION CLASS	:F (POLYIMIDE)
DRIVEN LOAD :FAN CLOSED VALVE			
MAX. ALTITUDE :3300 Ft			
LOAD WK2 REF. TO MOTOR SHAFT : 49249 Lbft2			
		Calculated Performance	
RATED RPM	:1780	NEMA STARTING CODE	:F
RATED CURRENT	: 297 A	LOCKED ROTOR CURRENT	:540 %
RATED TORQUE	:23571 lbft	LOCKED ROTOR TORQUE	:77 %
RATED KVA	:6790	PULL UP TORQUE	:77 %
STATOR CONNECTION	:Y	BREAKDOWN TORQUE	:245 %
MIN. STG. VOLTAGE	:70% V	COUPLING TYPE	:DIRECT
TIME RATING	:CONTINUOUS	ARRANGEMENT	:F1
AMB. TEMP. (MIN/MAX)	: -18/40 C	ROTATION	:DUAL
TOTAL WEIGHT (calc.)	:53700 lb	MAX. BRG.VIBR. (PK-PK)	:0.0016 in
ROTOR WK2 (calculated)	:10422 Lbft2	BEARING TYPE	:SLEEVE
		BEARING LUBRICATION	:OIL
NOISE LEVEL (dBA)	: 85.0 @ 3.3 ft	END PLAY	:0.50 in
MAX CAPACITOR KVAR	:1000	LOCKED ROTOR TIME	
STATOR RESIST. @ 25C	:0.1910 Ohms L-L	COLD	:35 Sec
X/R RATIO	: 33.960	HOT	:30 Sec
OPEN CIRC. CONSTANT	:1.5680 S	NUMBER OF STARTS (NEMA MG1-20.43)	
ACCELERATION TIME	:15 Sec	COLD	:2
		OR HOT	:1

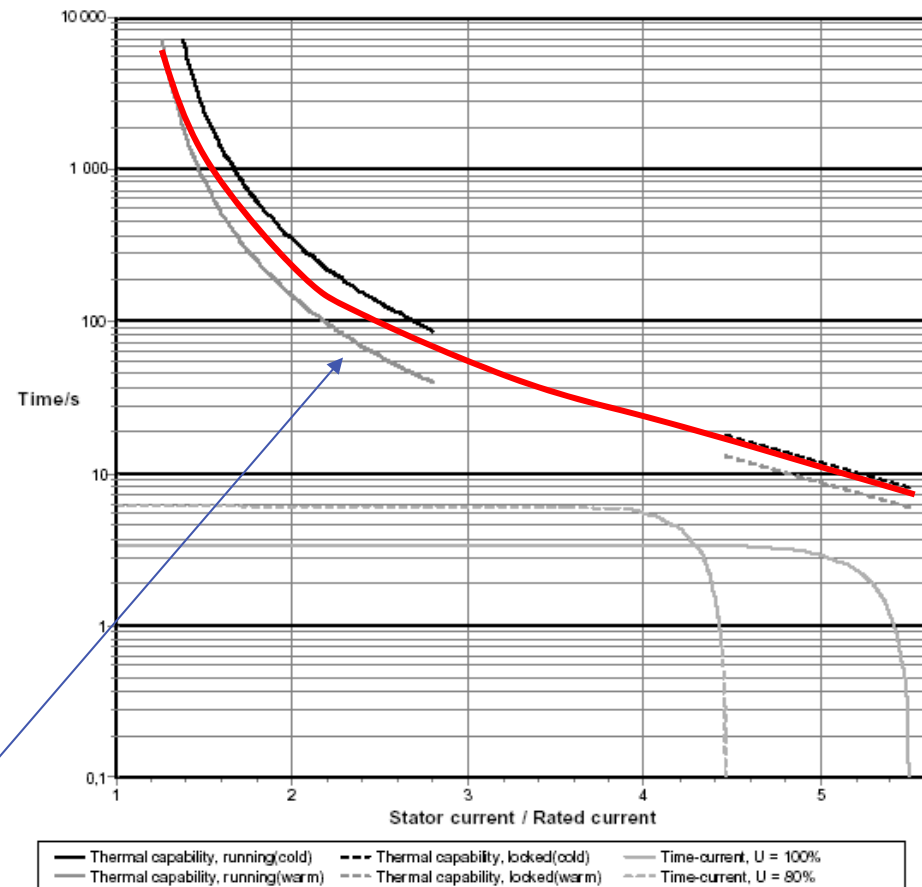
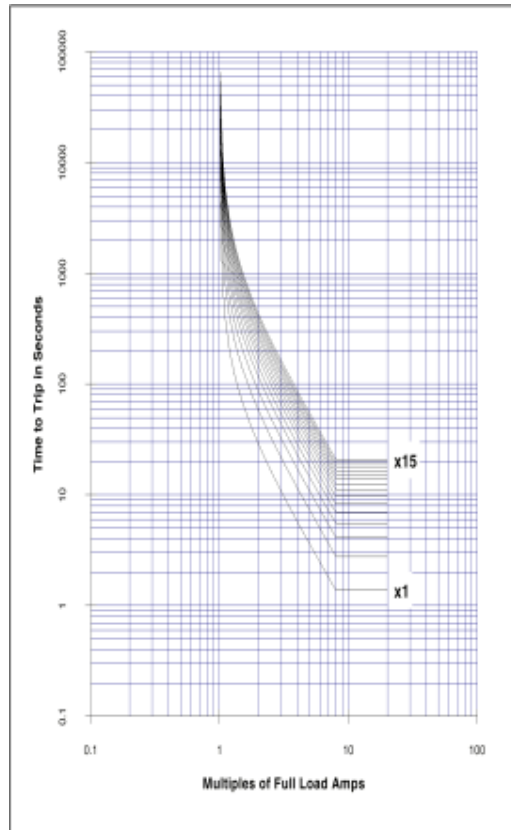
SF	Recogida de sobrecarga térmica
1.0	1.1
1.15	1.25

Modelo térmico: capacidad térmica utilizada

- La capacidad térmica utilizada (TCU) es un criterio seleccionado en el modelo térmico para evaluar la condición térmica del motor.
- TCU se define como el porcentaje del límite térmico del motor utilizado durante el funcionamiento del motor.
- Un motor en funcionamiento tendrá algún nivel de capacidad térmica utilizada debido a las pérdidas del motor.
- Disparo térmico cuando la capacidad térmica utilizada es del 100%



Selección de curva de sobrecarga



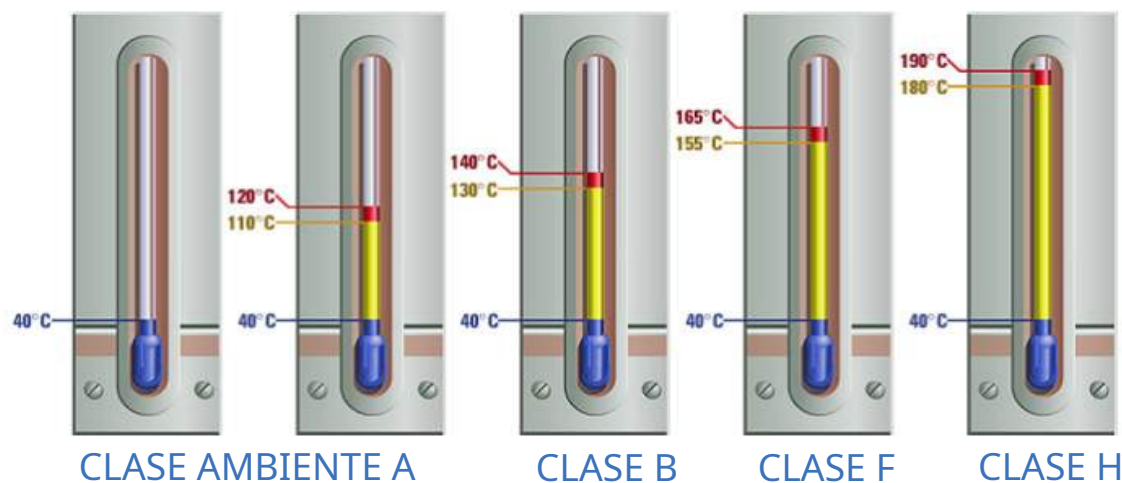
Curva de sobrecarga

Establezca la curva de sobrecarga por debajo del límite térmico en frío y por encima del límite térmico en caliente. Si el fabricante solo proporciona la curva en caliente, entonces debe establecerse por debajo del límite térmico en caliente.

Modelo Térmico

Relación de tiempo de parada caliente/fría (HCR)

- Normalmente, el fabricante del motor proporciona los valores de los límites térmicos del rotor bloqueado para 2 condiciones del motor:
 - *FRÍO*: motor a temperatura ambiente
 - *CALIENTE*: motor a temperatura nominal para clase y factor de servicio específicos.
- Aumentos de temperatura estándar NEMA para motores de hasta 1500 HP y factores de servicio 1 y 1,15 respectivamente



- Cuando el motor está funcionando por debajo del nivel de sobrecarga, la TCU aumentará o disminuirá al valor basado en la corriente promedio y HCR. HCR se utiliza para calcular el nivel de la TCU por relé, en el cual el motor se estabilizará para una corriente por debajo del arranque de sobrecarga.

Modelo Térmico

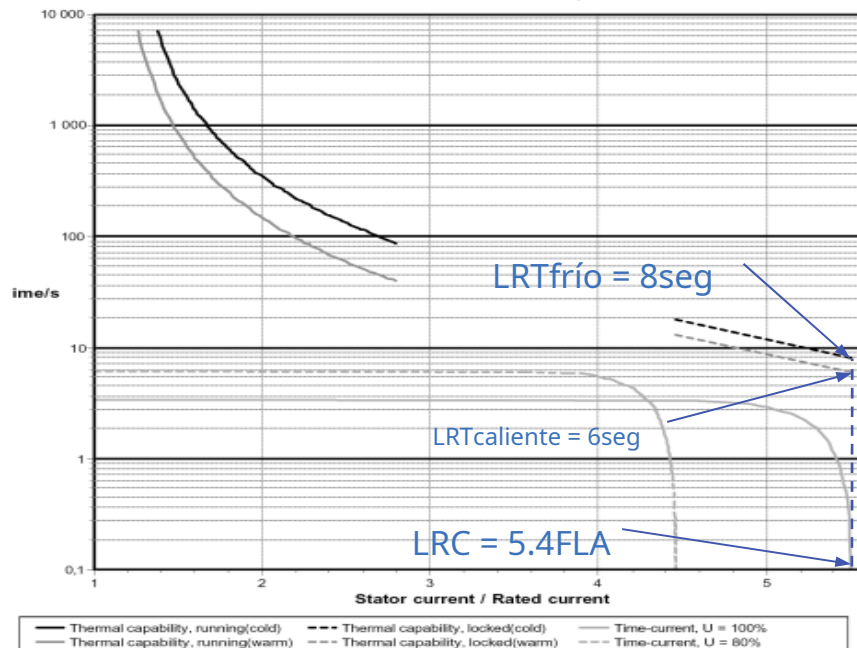
Relación de parada segura frío/calor

POWER : 8000 HP	TYPE : K
POLES : 4	FRAME : 8713Z
VOLTAGE : 13200 V	ENCLOSURE : WP11
FREQUENCY : 60 Hz	SERVICE FACTOR : 1.00
PHASES : 3	INSULATION CLASS : F (POLYSEAL)
TEMPERATURE RISE: 80 C /RTD @ SF 1.0	
DRIVEN LOAD : FAN CLOSED VALVE	
MAX. ALTITUDE : 3300 Ft	
LOAD WK2 REF. TO MOTOR SHAFT : 49249 Lbft2	
Calculated Performance	
RATED RPM : 1780	NEMA STARTING CODE : F
RATED CURRENT : 297 A	LOCKED ROTOR CURRENT : 540 %
RATED TORQUE : 23571 lbft	LOCKED ROTOR TORQUE : 77 %
RATED KVA : 6790	PULL UP TORQUE : 77 %
STATOR CONNECTION : Y	BREAKDOWN TORQUE : 245 %
MIN. STG. VOLTAGE : 70% V	COUPLING TYPE : DIRECT
TIME RATING : CONTINUOUS	ARRANGEMENT : F1
AMB. TEMP. (MIN/MAX) : -18/40 C	ROTATION : DUAL
TOTAL WEIGHT (calc.) : 53700 lb	MAX. BRG. VIBR. (PK-PK) : 0.0016 in
ROTOR WK2 (calculated) : 10422 Lbft2	BEARING TYPE : SLEEVE
NOISE LEVEL (dBA) : 85.0 @ 3.3 ft	BEARING LUBRICATION : OIL
MAX CAPACITOR KVAR : 1000	END PLAY : 0.50 in
STATOR RESIST. @ 25C : 0.1910 Ohms L-L	LOCKED ROTOR TIME : 35 Sec
X/R RATIO : 33.960	COLD : 30 Sec
OPEN CIRC. CONSTANT : 1.5680 S	NUMBER OF STARTS (REPR. WKT 20-437)
ACCELERATION TIME : 15 Sec	COLD : 12
	OR HOT : 11

$$HCR = \frac{LRT_{\text{CALIENTE}}}{LRT_{\text{FRÍO}}}$$

Relación frío/calor =
30/35
=> 0,86

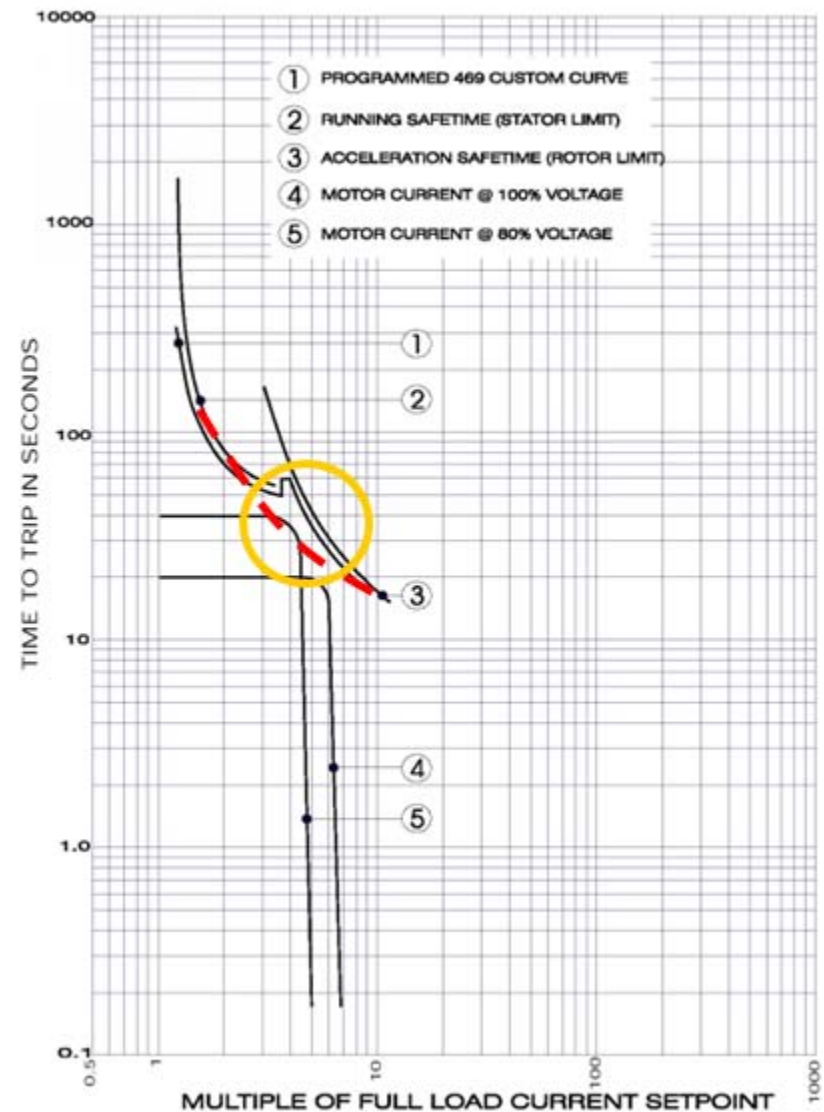
Método de curva de sobrecarga



- Si se utilizan las curvas de límites térmicos para determinar la relación CALIENTE/FRÍO, proceda de la siguiente manera:
- Desde las curvas de límites térmicos corre una línea perpendicular al eje actual que cruza las curvas de calor y frío en el punto de pérdida o LRA
- La relación frío/calor ahora se puede calcular de la siguiente manera:
= 6 s/8 s = 0,75
- Si no se proporcionan los tiempos de calor y frío y solo se proporciona una curva, verifique con el fabricante que sea la curva de calor (que es el peor de los casos), entonces la relación Caliente/Frío debe establecerse en 1,0.

Selección de curva de sobrecarga

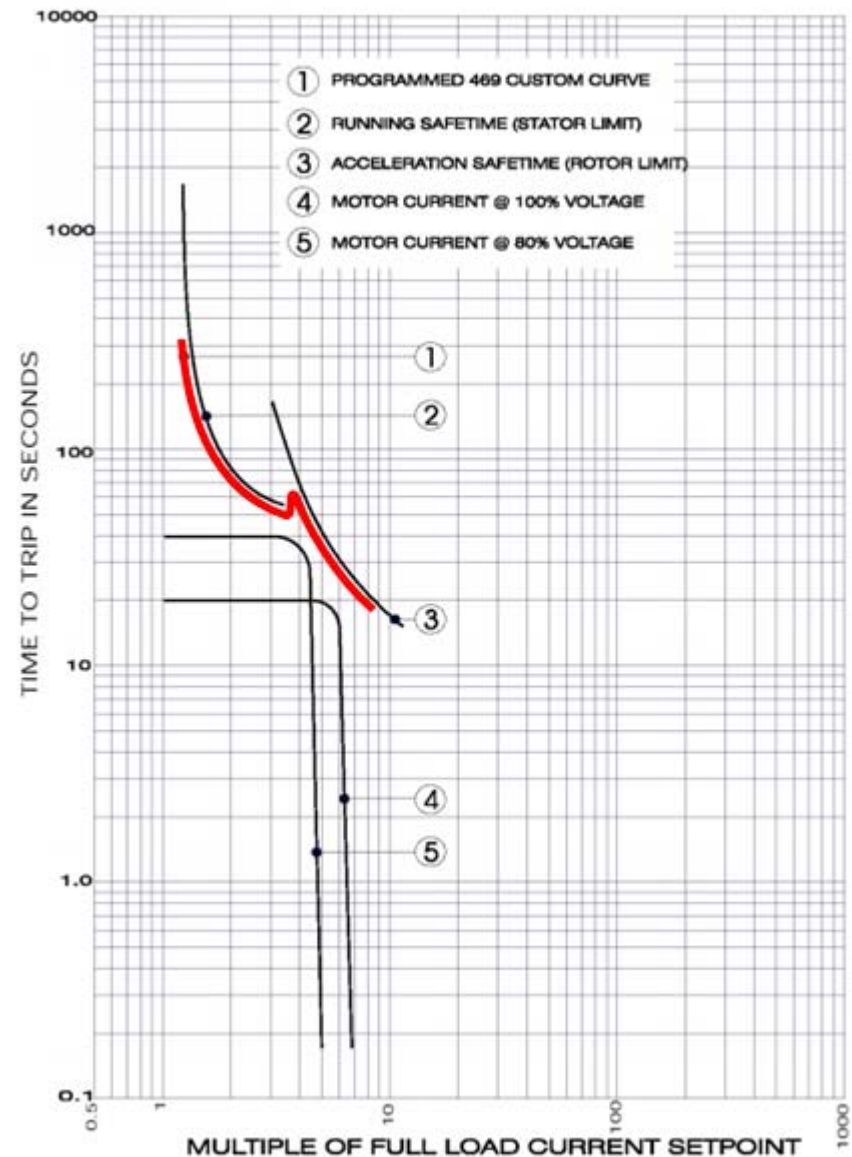
Si la corriente de arranque del motor comienza a infringir las curvas de daño térmico o si se requiere que el motor impulse una carga de alta inercia de modo que el tiempo de aceleración exceda el tiempo de parada segura, **personalizado o voltaje** **curva de sobrecarga dependiente** puede ser requerido



Selección de curva de sobrecarga

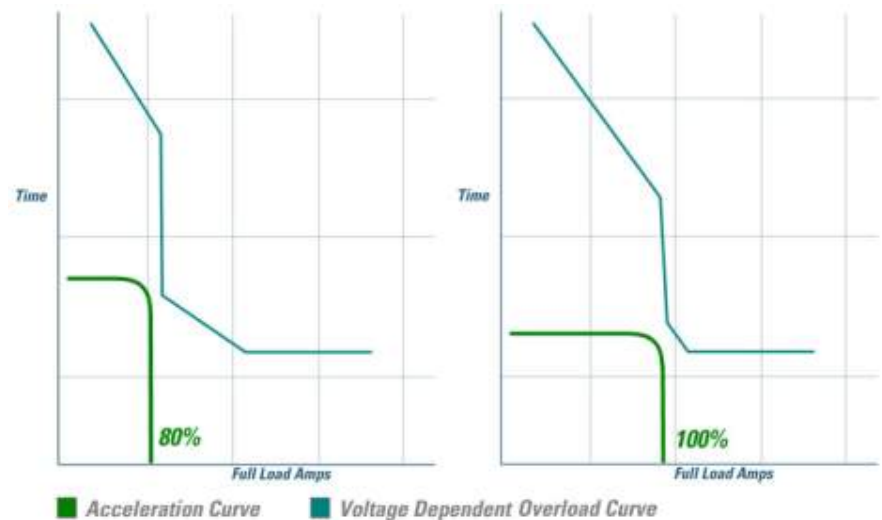
A curva de sobrecarga

personalizada permitirá al usuario adaptar el daño térmico del relé curva hacia el motor de tal manera que pueda ocurrir un arranque exitoso sin comprometer protección mientras que al mismo tiempo utiliza el motor a su máximo potencial durante la condición de funcionamiento



Comportamiento del modelo térmico: comienzos largos

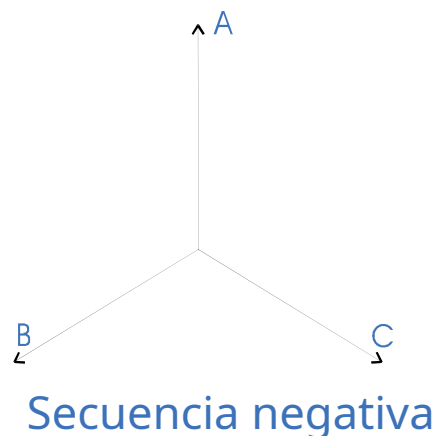
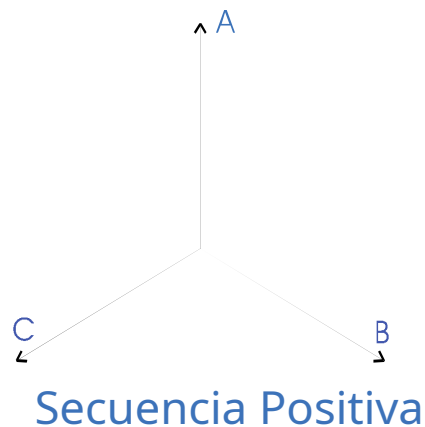
- Problema: la duración del arranque de una carga de alta inercia es mayor que el tiempo de parada segura del motor permitido.
 - Para estos arranques, el modelo térmico debe tener en cuenta el cambio actual durante la aceleración y también utilizar los límites térmicos de aceleración para los cálculos de la TCU.
 - El límite térmico del motor aumenta junto con la velocidad de rotación del motor durante la aceleración.
 - La corriente de arranque es proporcional al voltaje del sistema durante la aceleración del motor, por lo que el voltaje podría ser una buena indicación del nivel de corriente correspondiente a la condición del rotor bloqueado.
- Se emplea una curva de límite térmico dinámico dependiente del voltaje para mejorar el algoritmo del modelo térmico.
- El relé del motor cambiará la curva de límite térmico de aceleración linealmente y basado constantemente en el voltaje de línea medido durante el arranque del motor



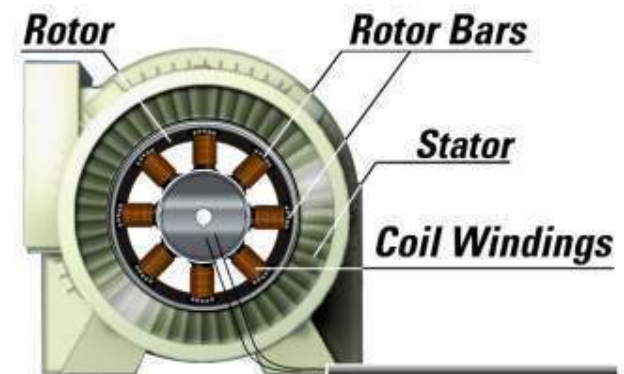
Modelo Térmico

Sesgo de desequilibrio actual

Las corrientes de secuencia negativa (o corrientes de fase desequilibradas) provocarán un calentamiento adicional del rotor que se tendrá en cuenta en el modelo térmico.



- Principales causas del desequilibrio actual
 - Fusibles quemados
 - Conexiones sueltas
 - Fallos entre espiras del estator
 - Distorsión y desequilibrio del voltaje del sistema.
 - Fallos



Modelo Térmico

Sesgo de desequilibrio actual

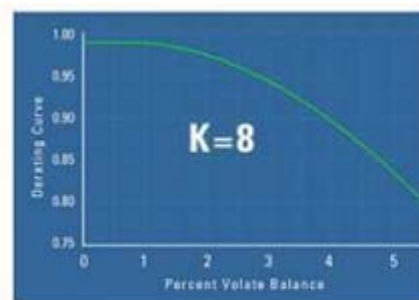
- **Corriente equivalente del motor de calefacción** se emplea para sesgar el modelo térmico en respuesta al desequilibrio actual

$$I_{\text{Ecuilizador}} = \sqrt{I_{\text{METRO}}^2 - (1 - K)(I_1^2 + I_2^2)}$$

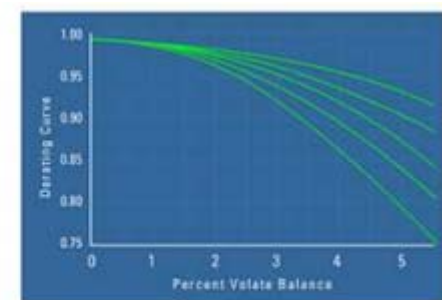
- I_m - corriente real del motor; K - factor de sesgo de desequilibrio; I_1 & I_2 - componentes de secuencia positiva y negativa de la corriente del motor
- El factor K refleja el grado de calentamiento adicional causado por el componente de secuencia negativa de la corriente del motor.
- Directrices IEEE para estimaciones típicas y conservadoras de K

$K = 175 \phi_{LRC}$ TÍPICO

$K = 230 \phi_{LRC}$ CONSERVADOR



NEMA



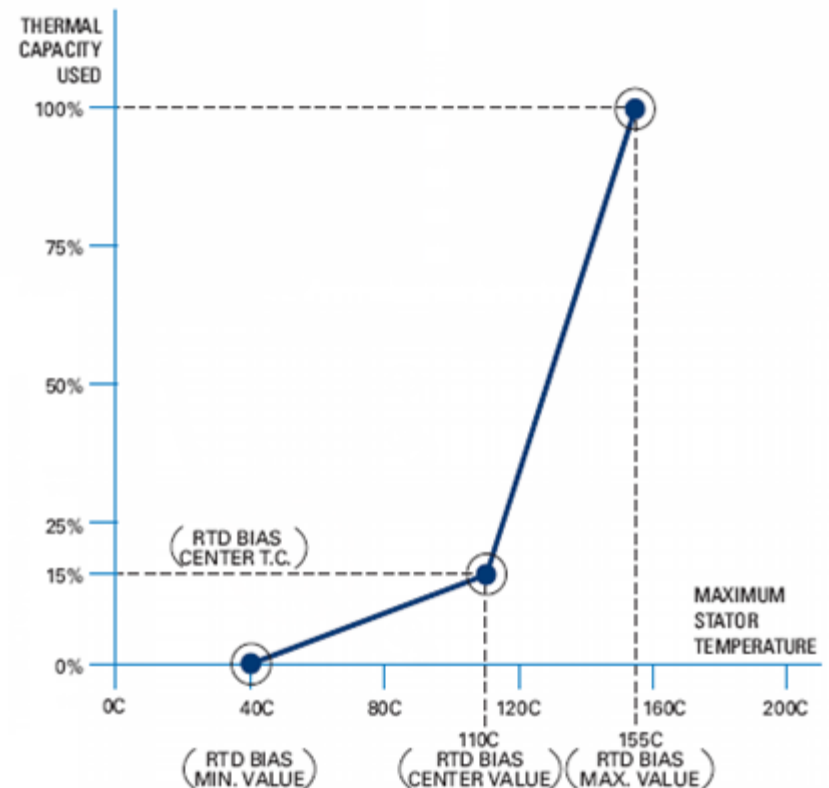
MOTOR RELAY

Motor Derating Curves

Modelo Térmico

Sesgo de IDT

- Acelera el disparo térmico para devanados del estator calientes
- El modelo de polarización RTD determina la capacidad térmica utilizada en función de la temperatura del estator y es independiente del modelo de sobrecarga para calcular la TCU.
- El relé del motor utilizará la capacidad térmica calculada a menos que la capacidad térmica RTD es mayor
- Esta función no disparará el motor en el punto máximo de temperatura a menos que la corriente promedio sea mayor que el ajuste de activación de sobrecarga.
- La polarización RTD es un elemento de protección de respaldo que tiene en cuenta cosas como la pérdida de refrigeración o una temperatura ambiente inusualmente alta.

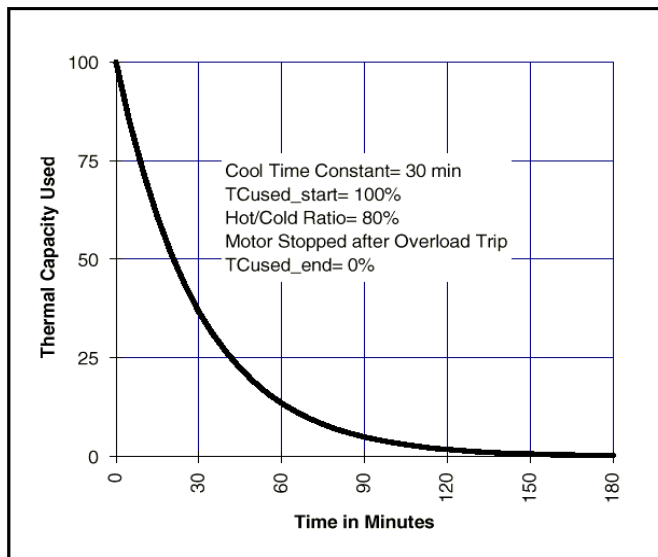


Modelo Térmico

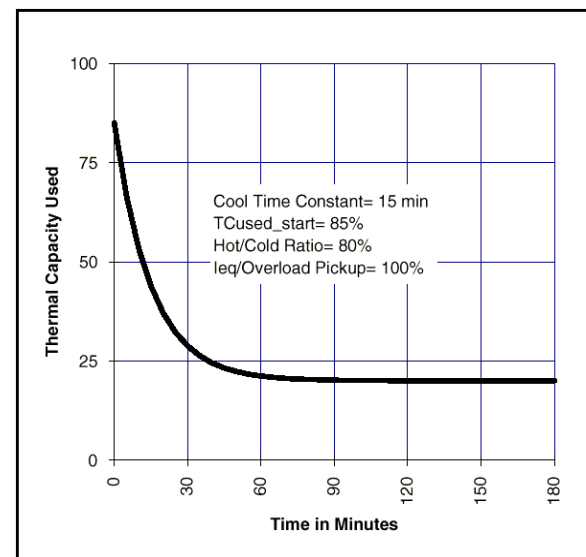
Enfriamiento de motores

- La refrigeración del motor se caracteriza por constantes de tiempo de refrigeración (CTC) separadas para los estados del motor en funcionamiento y detenido. La proporción típica entre el CTC detenido y en funcionamiento es 2/1
- El motor normalmente necesita 5 constantes de tiempo para enfriarse.

Motor de enfriamiento del modelo térmico disparado



Modelo Térmico Enfriamiento 100% de carga - En funcionamiento



Proteccion al sobrevoltaje

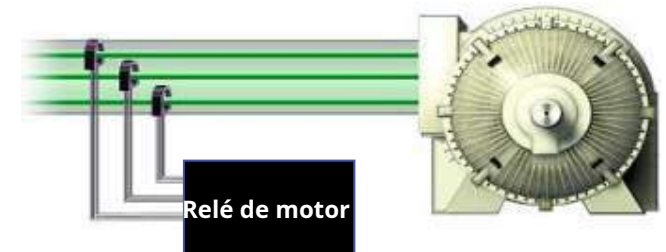
- El resultado general de una condición de sobretensión es una disminución en la corriente de carga y un factor de potencia deficiente.
- Aunque los motores antiguos tenían un diseño robusto, los motores nuevos están diseñados cerca del punto de saturación para una mejor utilización de los materiales del núcleo y el aumento de la relación V/Hz provoca la saturación del flujo del entrehierro, lo que provoca el calentamiento del motor.
- El elemento de sobretensión debe configurarse al 110 % de la placa de identificación del motor, a menos que se indique lo contrario en las hojas de datos.

Protección contra subtensión

- El resultado general de una condición de bajo voltaje es un aumento en la corriente y el calentamiento del motor y una reducción en el rendimiento general del motor.
- El elemento de protección contra subtensión se puede considerar como una protección de respaldo para el elemento de sobrecarga térmica. En algunos casos, si existe una condición de bajo voltaje, puede ser conveniente disparar el motor más rápido que el elemento de sobrecarga térmica.
- El disparo por subtensión debe configurarse en el 90% de la placa de identificación a menos que se indique lo contrario en las hojas de datos del motor.
- Los motores que están conectados a la misma fuente/bus pueden experimentar una subtensión temporal cuando uno de los motores arranca. Para anular estas caídas de voltaje temporales, se debe establecer un punto de ajuste de retardo mayor que el tiempo de arranque del motor.

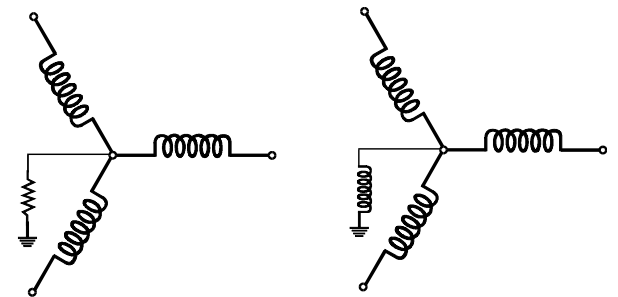
Protección de desequilibrio

- Indicación de desequilibrio - corriente/voltaje de secuencia negativa
- El desequilibrio provoca tensión en el motor y aumento de temperatura.
- El desequilibrio de corriente en un motor es el resultado de voltajes de línea desiguales.
 - Alimentación desequilibrada, fusible quemado, monofásico
- El desequilibrio actual también puede estar presente debido a:
 - Conexiones flojas o malas
 - Conexión de rotación de fase incorrecta
 - Fallos entre espiras del estator
- Para un motor de inducción trifásico típico:
 - Un desequilibrio de tensión del 1% (V_2) se relaciona con un desequilibrio de corriente del 6% (I_2)
 - Para motores pequeños y medianos, sólo están disponibles transformadores de corriente (CT) y no transformadores de tensión (TT). Mida el desequilibrio actual y proteja el motor.
 - El efecto de calentamiento causado por el desequilibrio de corriente se protegerá habilitando la entrada de desequilibrio al modelo térmico.
 - Por ejemplo, sería apropiado un ajuste del 10 % x FLA para la alarma de desequilibrio actual con un retraso de 10 segundos y un ajuste del nivel de disparo del 25 % x FLA para el disparo de desequilibrio actual con un retraso de 5 segundos.

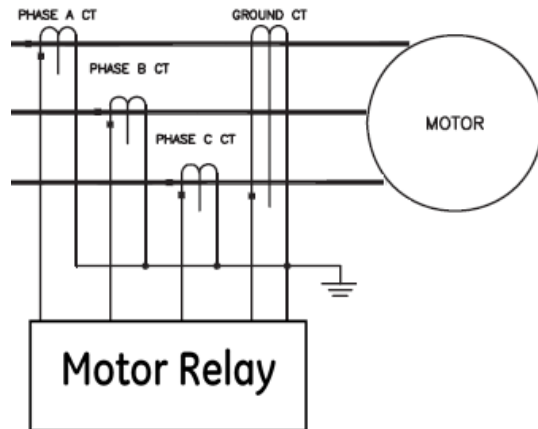


Protección de falla a tierra

- Una falla a tierra es una falla que crea un camino para que la corriente fluya desde una de las fases directamente al neutro a través de la tierra sin pasar por la carga.
- Se producen fallas a tierra en un motor:
 - Cuando el aislamiento del conductor de fase se daña, por ejemplo debido a tensión de tensión, se produce humedad o una falla interna entre el conductor y tierra.
- Para limitar el nivel de la corriente de falla a tierra, conecte una impedancia entre el suministra neutro y tierra. Esta impedancia puede tener la forma de una resistencia o un transformador de conexión a tierra dimensionado para garantizar que la corriente máxima de falla a tierra sea limitada..



Protección de falla a tierra

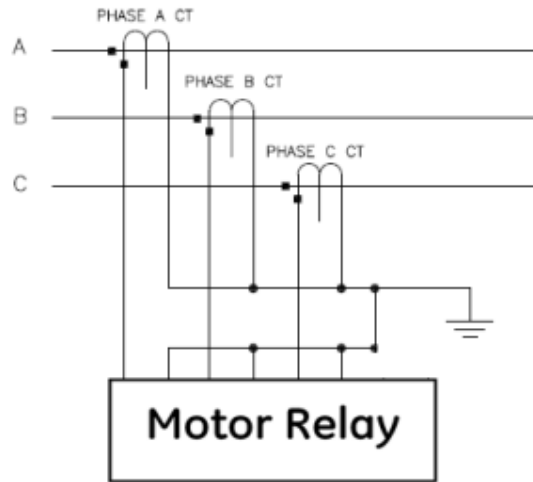


Conexión CT de secuencia cero

- Mejor método
- Inmunidad al ruido más sensible e inherente

- Todos los conductores de fase pasan a través de la ventana del mismo CT denominado CT de secuencia cero.
- En circunstancias normales, las tres corrientes de fase sumarán cero, lo que dará como resultado una salida de cero desde el secundario del TI de secuencia cero.
- Si una de las fases del motor tuviera un cortocircuito a tierra, la suma de las corrientes de fase ya no sería igual a cero, lo que provocaría que fluyera una corriente en el secundario de la secuencia cero. Esta corriente sería detectada por el relé del motor como una falla a tierra.

Protección de falla a tierra



Conexión de falla a tierra residual

- Menos sensitivo
- Inconvenientes debido a la corriente de arranque asimétrica y CT no coincidentes

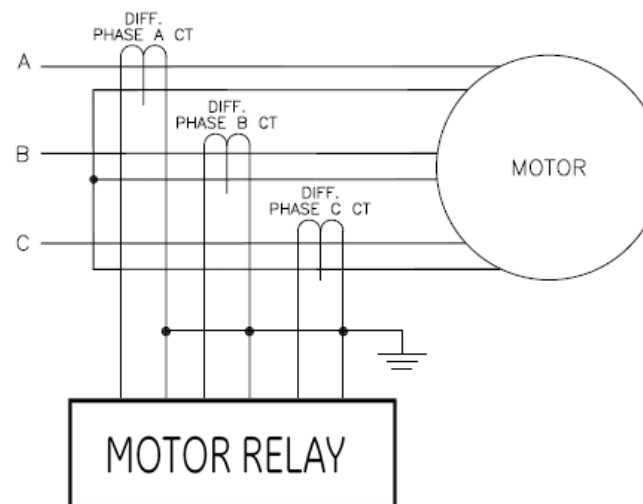
- Para cables grandes que no pueden pasar a través de la ventana del CT de secuencia cero, se puede utilizar la configuración de falla a tierra residual
- Esta configuración es inherentemente menos sensible que la de la configuración de secuencia cero debido al hecho de que los CT no coinciden perfectamente
- Durante el arranque del motor, las corrientes de fase del motor generalmente aumentan a magnitudes superiores a 6 veces la corriente de carga completa del motor y son asimétricas.
- La combinación de TI no perfectamente adaptados y magnitudes de corriente de fase relativamente grandes producen una corriente residual falsa. Esta corriente será malinterpretado por el relé del motor como una falla a tierra a menos que el captador del elemento de falla a tierra esté configurado lo suficientemente alto como para ignorar este error durante el arranque.

Protección diferencial

- La protección diferencial puede considerarse la primera línea de protección para fallas internas entre fases o entre fases y tierra. En caso de tales fallas, la rápida respuesta del elemento diferencial puede limitar el daño que de otro modo podría haber ocurrido en el motor.

Método de equilibrio básico:

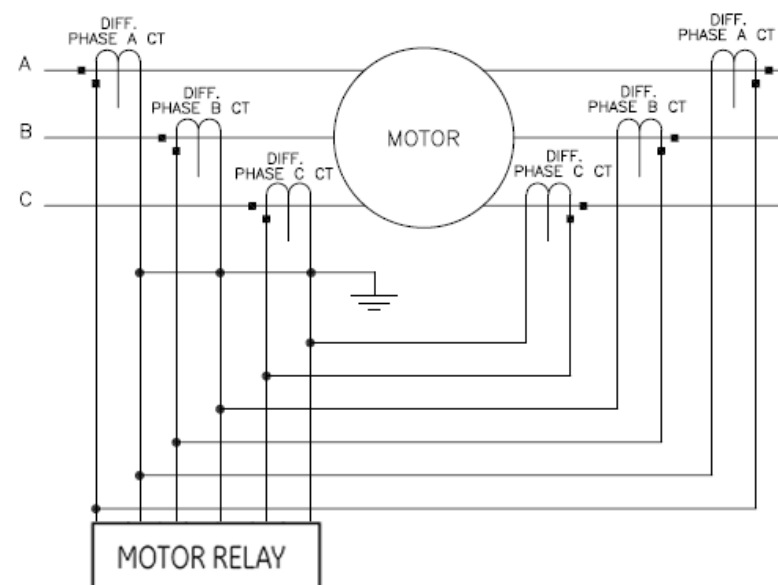
- Dos juegos de TI, uno al inicio del alimentador del motor y el otro en el punto neutro.
- Alternativamente, también se puede utilizar un juego de tres CT de equilibrio central
- El elemento diferencial resta la corriente que sale de cada fase de la corriente que entra en cada fase y compara el resultado o diferencia con el nivel de activación diferencial.



Protección diferencial

Método de suma con seis CT:

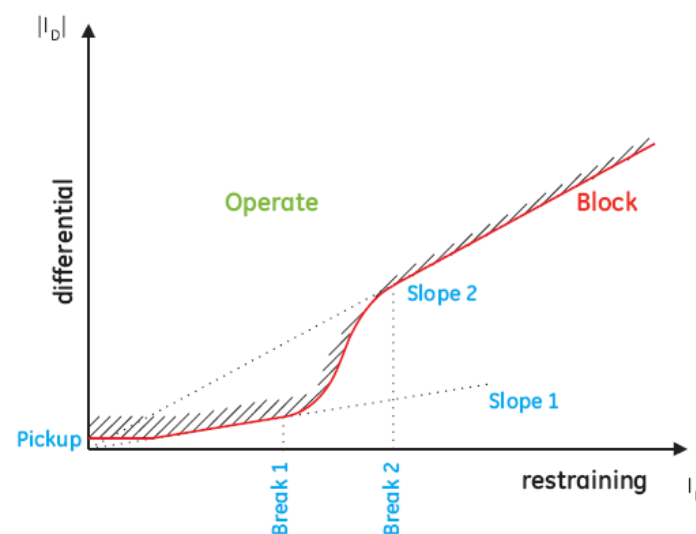
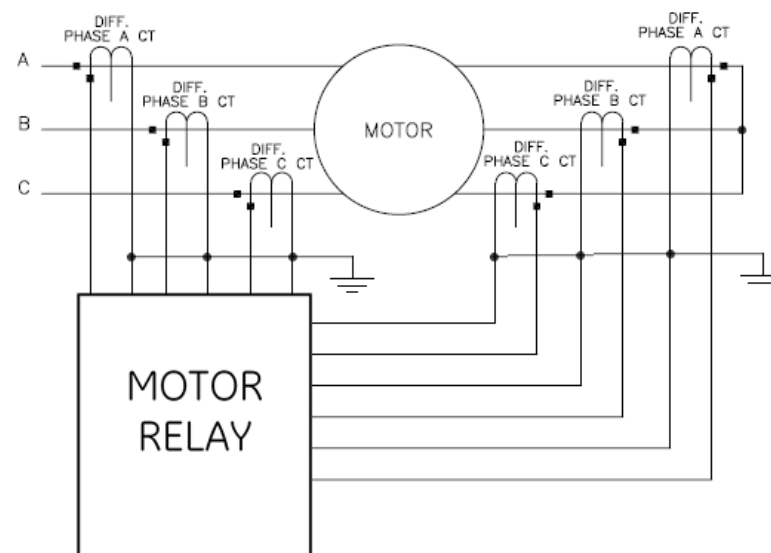
- Si se utilizan seis TI en una configuración de suma, durante el arranque del motor, los valores de los dos TI en cada fase pueden no ser iguales ya que los TI no son perfectamente idénticos y las corrientes asimétricas pueden causar que los TI en cada fase tengan salidas diferentes.
- Para evitar disparos molestos en esta configuración, es posible que el nivel diferencial deba configurarse como menos sensible, o que el retardo de tiempo diferencial deba extenderse para superar el período de problema durante el arranque del motor.
- El retardo diferencial en funcionamiento puede luego ajustarse a una aplicación de modo que responda muy rápido y sea sensible a niveles bajos de corriente diferencial.



Protección diferencial

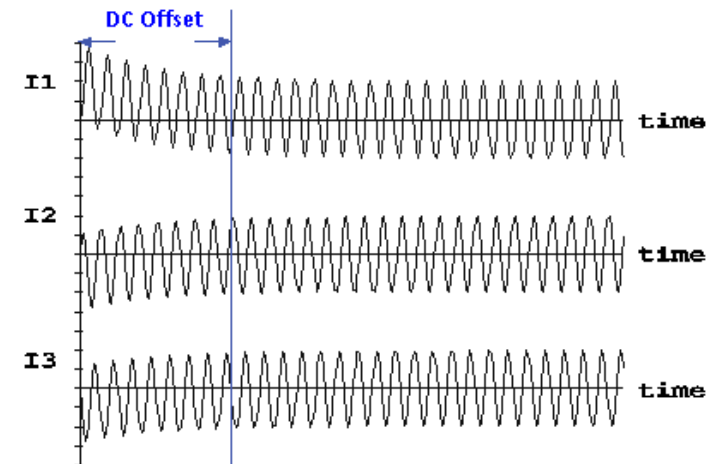
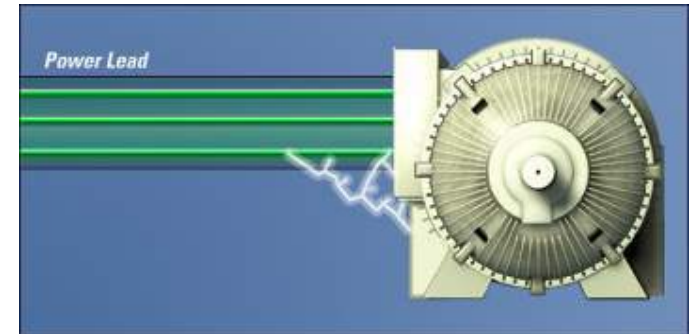
Protección diferencial polarizada - seis CT:

- El método de protección diferencial polarizado permite diferentes relaciones para el sistema/línea y los TI neutros.
- Este método tiene una característica de doble pendiente.
Propósito principal de la pendiente porcentual
La característica es evitar un mal funcionamiento causado por desequilibrios entre los TI durante fallas externas. Los desequilibrios del TC surgen como resultado de errores de precisión del TC o de saturación del TC.
- La característica permite configuraciones muy sensibles cuando la corriente de falla es baja y configuraciones menos sensibles cuando la corriente de falla es alta y el rendimiento del CT puede producir señales de operación incorrectas



Protección contra cortocircuitos

- El elemento de cortocircuito proporciona protección contra fallas de sobrecorriente excesivamente altas.
- Las fallas entre fases y entre fases y tierra son tipos comunes de cortocircuitos.
- Cuando arranca un motor, la corriente de arranque (que normalmente es 6 veces la corriente de carga completa) tiene componentes asimétricos. Estas corrientes asimétricas pueden hacer que una fase reciba hasta 1,7 veces la corriente de arranque RMS.
- Para evitar disparos molestos durante el arranque, configure la protección contra cortocircuitos en un valor de al menos 1,7 veces el máximo esperado. corriente de arranque simétrica del motor
- El disyuntor o contactor debe tener una capacidad de interrupción igual o mayor que la corriente de falla máxima disponible o permitir que un dispositivo de protección aguas arriba interrumpa la corriente de falla.



Protección RTD del estator

- Un método simple para determinar el calentamiento dentro del motor es monitorear el estator con RTD.
- El nivel de disparo del RTD del estator debe establecerse en o por debajo de la clasificación de temperatura máxima del aislamiento.
- Por ejemplo, un motor con aislamiento clase F que tiene una clasificación de temperatura de 155°C podría establecer el nivel de disparo del RTD del estator entre 140°C a 145°C, con 145°C el máximo (155°C - 10° punto caliente C)
- El nivel de alarma RTD del estator se puede configurar a un nivel que proporcione una advertencia de que el motor la temperatura esta subiendo



Métodos de protección adicionales

- Inhibición de inicio

Esta función limitará los arranques cuando el motor ya esté caliente.

- Inicios/Hora

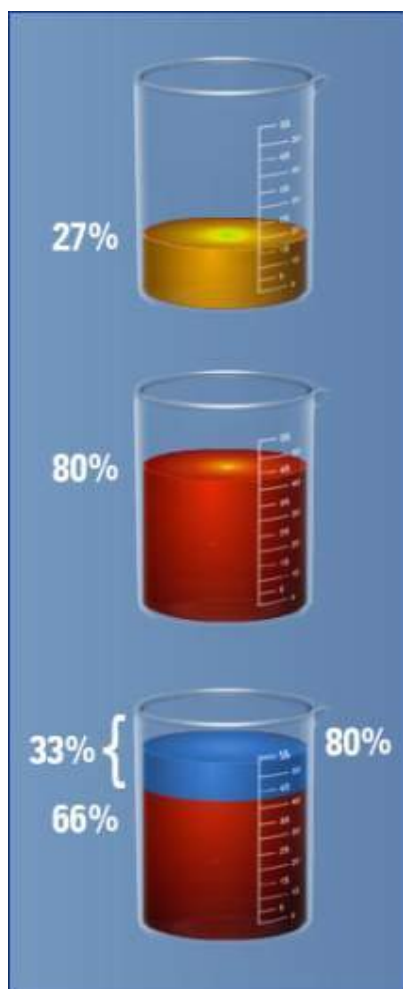
- Tiempo entre inicios (trote)

- Protección RTD del rodamiento

- Viaje de aceleración

Establezca un tiempo de arranque superior al máximo para evitar disparos molestos cuando el voltaje es más bajo o para cargas variables durante la aceleración.

Ejemplo de TCU/inhibición de arranque



Capacidad térmica requerida para comenzar

Por ejemplo, si la CAPACIDAD TÉRMICA UTILIZADA para las últimas 5 salidas es 24, 23, 27, 25 y 21% respectivamente, la CAPACIDAD DE ARRANQUE APRENDIDA es $27\% \times 1,25 = 33,75\%$ utilizada

Capacidad térmica utilizada debido a sobrecarga

Si el motor hubiera estado funcionando en condiciones de sobrecarga antes de detenerse, la capacidad térmica tendría algún valor; digamos 80%

Si el motor está parado:

Cuando el motor se haya enfriado y el nivel de capacidad térmica utilizada haya descendido al 66%, se permitirá el arranque.

Start Inhibit	
SETTING	PARAMETER
Start Inhibit Block	On/Yes
Thermal Capacity Used Margin	25 %

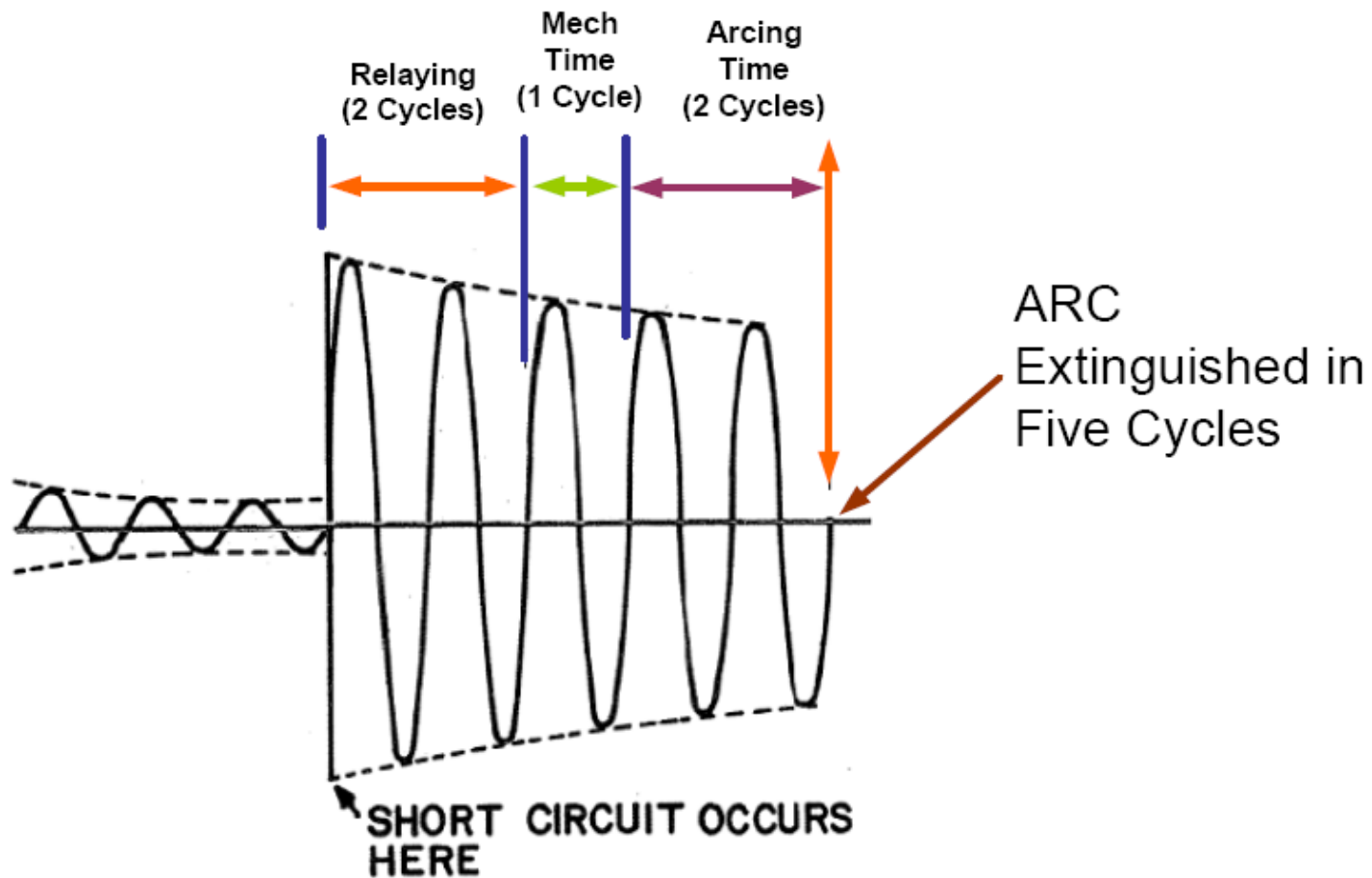
Resumen de protección del motor

- Los motores síncronos y de inducción son activos valiosos para las instalaciones industriales actuales
- El aumento de temperatura del motor dicta su vida
- Cuando se aplica, la protección térmica puede evitar la pérdida de vida útil del motor.
- Elementos de protección adicionales como sobretensión, subtensión, desequilibrio, falla a tierra, diferencial, cortocircuito y RTD del estator complementan la protección del modelo térmico y brindan una protección completa del motor.

Soluciones de arco eléctrico

Un estudio de una falla.....

Total Clearing Time



Mitigación del arco eléctrico:

Descripción del problema

- Puede ocurrir un arco eléctrico si un objeto conductor se acerca demasiado a una fuente de corriente de alto amperaje o por una falla del equipo (por ejemplo, al abrir o cerrar desconexiones, al extraer)
 - El arco puede calentar el aire a temperaturas tan altas como 35,000 F y vaporizar el metal en el equipo.
 - El arco eléctrico puede causar quemaduras graves en la piel por exposición directa al calor y al encender la ropa.
 - El calentamiento del aire y la vaporización del metal crean una onda de presión (explosión de arco) que puede dañar la audición y causar pérdida de memoria (por conmoción cerebral) y otras lesiones.
 - Las piezas metálicas que salen despedidas también suponen un peligro.

Métodos para reducir el riesgo de arco eléctrico

- La energía del arco eléctrico se puede expresar en I^2t términos, por lo que puede disminuir el I o disminuir el t para disminuir la energía
- Los relés de protección pueden ayudar a reducir I optimizando la sensibilidad y disminuyendo el tiempo de limpieza
 - Técnicas de relé de protección
- Otros medios pueden disminuir I limitando la corriente de falla
 - “Técnicas de retransmisión no protectoras”

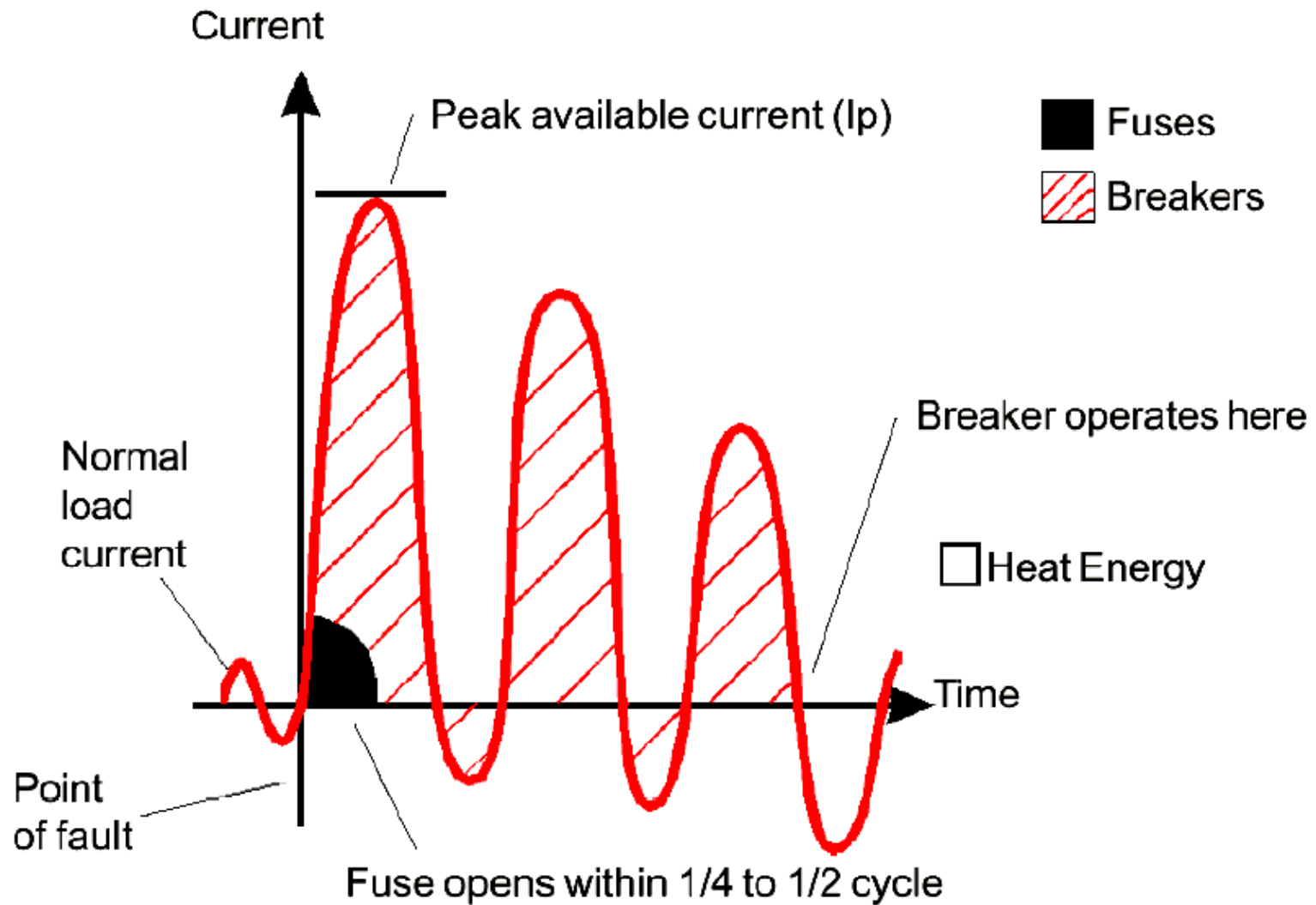
Métodos de retransmisión sin protección para reducir el riesgo de arco eléctrico

- Las modificaciones en el diseño del sistema aumentan la impedancia del transformador de potencia.
 - Adición de reactores de fase.
 - Martillos de funcionamiento más rápido
 - División de autobuses
- Fusibles limitadores de corriente (proporciona protección parcial solo para un rango de corriente limitado)
- Limitadores de corriente electrónicos (estos dispositivos detectan sobrecorriente e interrumpe corrientes muy altas con enlaces conductores reemplazables (carga explosiva))
- Aparamenta resistente al arco (esto realmente no reduce el arco) **energía de destello; desvía la energía lejos del personal)**
- Protección óptica contra arco eléctrico mediante sensores de fibra
- Protección óptica contra arco eléctrico mediante sensores de lentes

Métodos de protección de relés para reducir el riesgo de arco eléctrico

- Protección diferencial del bus (esto reduce la energía del arco eléctrico al reducir el tiempo de limpieza)
- Esquemas de enclavamiento de zona donde se permite que el relé de bus se active o bloquee selectivamente dependiendo de la ubicación de las fallas identificadas en los relés del alimentador
- Cambios de configuración temporales para reducir el tiempo de limpieza durante el mantenimiento
 - **Coordinación de sacrificios**
- Curva TOC personalizada para mejorar la coordinación oportuna
- Emplee 51VC/VR en alimentadores alimentados con generación pequeña para mejorar la sensibilidad y coordinación
- Emplear detectores de luz ultravioleta con detectores de perturbaciones actuales para disparo selectivo de engranajes.

Fusibles versus disyuntores con relé



Peligros de arco eléctrico

Skin Temperature	Time of Skin Temp.	Damage Caused
110 °F	6 Hours	Cell breakdown starts
158 °F	1 sec.	Total cell destruction
176 °F	0.1 sec	Curable burn
200 °F	0.1 sec	Incurable burn

NFPA-70E 2004 Equipment Requirements

Category	Energy Level	Typical Personal Protective Equipment required
0	1.2 cal/cm ²	Non-melting flammable materials
1	5 cal/cm ²	Fire Resistant (FR) shirt and FR pants
2	8 cal/cm ²	FR shirt, FR pants, cotton underwear
3	25 cal/cm ²	Two layers FR clothing, cotton underwear
4	40 cal/cm ²	FR shirt, FR pants, multilayer flash suit, cotton underwear

Other:

Face Protection Face Shield and/or safety glasses

Hand Protection Leather over rubber for arc flash protection

Leather work boots above 5 cal/cm²



Advertencia de arco eléctrico Ejemplo 1

  		
Arc-Flash Hazard and Shock Hazard		
<u>0' - 11"</u> - Arc-Flash Protection Boundary <u>0.8 cal/cm²</u> - Incident Energy Flash Hazard at 18 inches		CLASS 0 Arc-Flash Hazard Risk Category
Appropriate PPE Required for both Arc-Flash and Shock Hazards: Safety Glasses, Class 1 Voltage Gloves, Voltage Rated Tools, Non-melting, flammable clothing		
<u>2400 V_{ac}</u> - Shock Hazard with covers/doors open <u>5' - 0"</u> - Limited Approach Boundary <u>2' - 2"</u> - Restricted Approach Boundary <u>0' - 7"</u> - Prohibited Approach Boundary		Shock Hazard

1106-MCC 2-1

STARTER DOOR OF AIR COMPRESSOR #1

Ejemplo 2 de advertencia de arco eléctrico

	! DANGER	
Arc-Flash Hazard and Shock Hazard		
<u>3' - 7"</u> - Arc-Flash Protection Boundary <u>4.4 cal/cm²</u> - Incident Energy Flash Hazard at 18 inches		CLASS 2 Arc-Flash Hazard Risk Category
Appropriate PPE Required for both Arc-Flash and Shock Hazards: Safety Glasses/Goggles, Hard Hat, Arc-Rated Face Shield, Hearing Protection, Class 00 Voltage Gloves, Leather Gloves/Protectors, Voltage Rated Tools, Leather Shoes, Cotton Underwear, FR Long Sleeve Shirt, FR Long Pants		
<u>480 V_{ac}</u> - Shock Hazard with covers/doors open <u>3' - 6"</u> - Limited Approach Boundary <u>1' - 0"</u> - Restricted Approach Boundary <u>0' - 1"</u> - Prohibited Approach Boundary		Shock Hazard

1806-MCC G
AHU #2

Advertencia de arco eléctrico Ejemplo 3

  	
Arc-Flash Hazard and Shock Hazard	
<u>44' - 0"</u> - Arc-Flash Protection Boundary <u>32.1 cal/cm²</u> - Incident Energy Flash Hazard at 18 inches	CLASS 4 Arc-Flash Hazard Risk Category
Appropriate PPE Required for both Arc-Flash and Shock Hazards: Safety Glasses/Goggles, Hard Hat, Flash Suit Hood, Hearing Protection, Class 2 Voltage Gloves, Leather Gloves/Protectors, Voltage Rated Tools, Leather Shoes, Cotton Underwear, FR Long Sleeve Shirt, FR Long Pants, Multi-layer flash suit	
<u>12470 V_{ac}</u> - Shock Hazard with covers/doors open <u>5' - 0"</u> - Limited Approach Boundary <u>2' - 2"</u> - Restricted Approach Boundary <u>0' - 7"</u> - Prohibited Approach Boundary	Shock Hazard

1020-SUB2 BUS B2
REAR OF 2-12A CUBICLE

Soluciones de arco eléctrico

Técnicas de retransmisión para reducir la energía del arco eléctrico

1-2 ms

Instale un dispositivo discreto de detección de arco eléctrico

1 ciclo

Implementar protección de bus de baja impedancia

1,5 a 2 ciclos

Implemente un disparo instantáneo por sobrecorriente utilizando el grupo de configuración de mantenimiento en el relé. Forzar la protección del disyuntor del alimentador para que no se coordine cuando el personal se encuentre dentro de los límites de protección contra incendios.

1,5 a 2 ciclos

Implementar protección de bus de alta impedancia

3-4 ciclos

Implementar esquema de enclavamiento de zonas de autobuses

20,0 ciclos

Protección contra fallo del interruptor

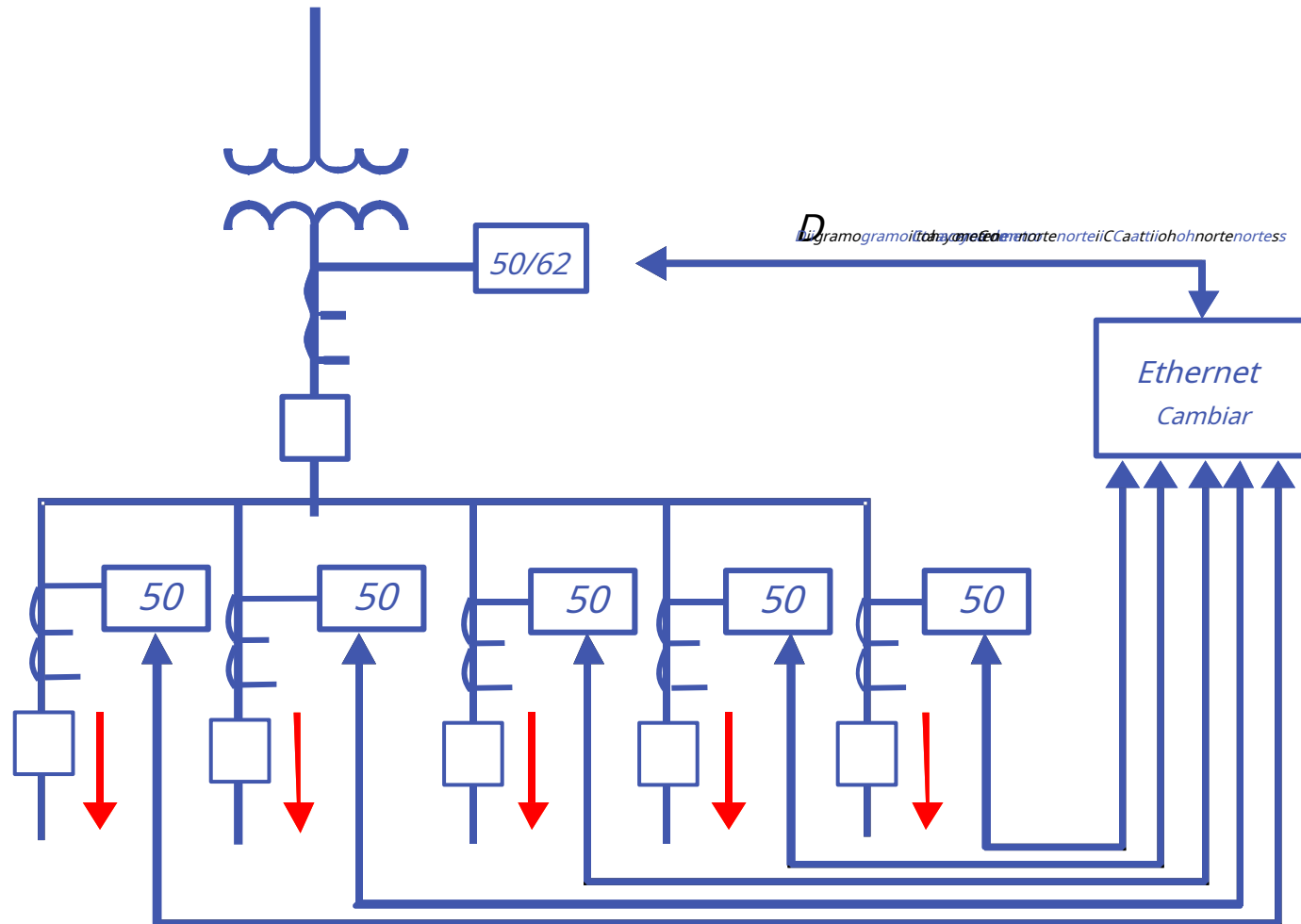
Segundos

Reducir los intervalos de coordinación de los relés de sobrecorriente de tiempo existentes.

El tiempo de limpieza salva vidas

Soluciones de arco eléctrico

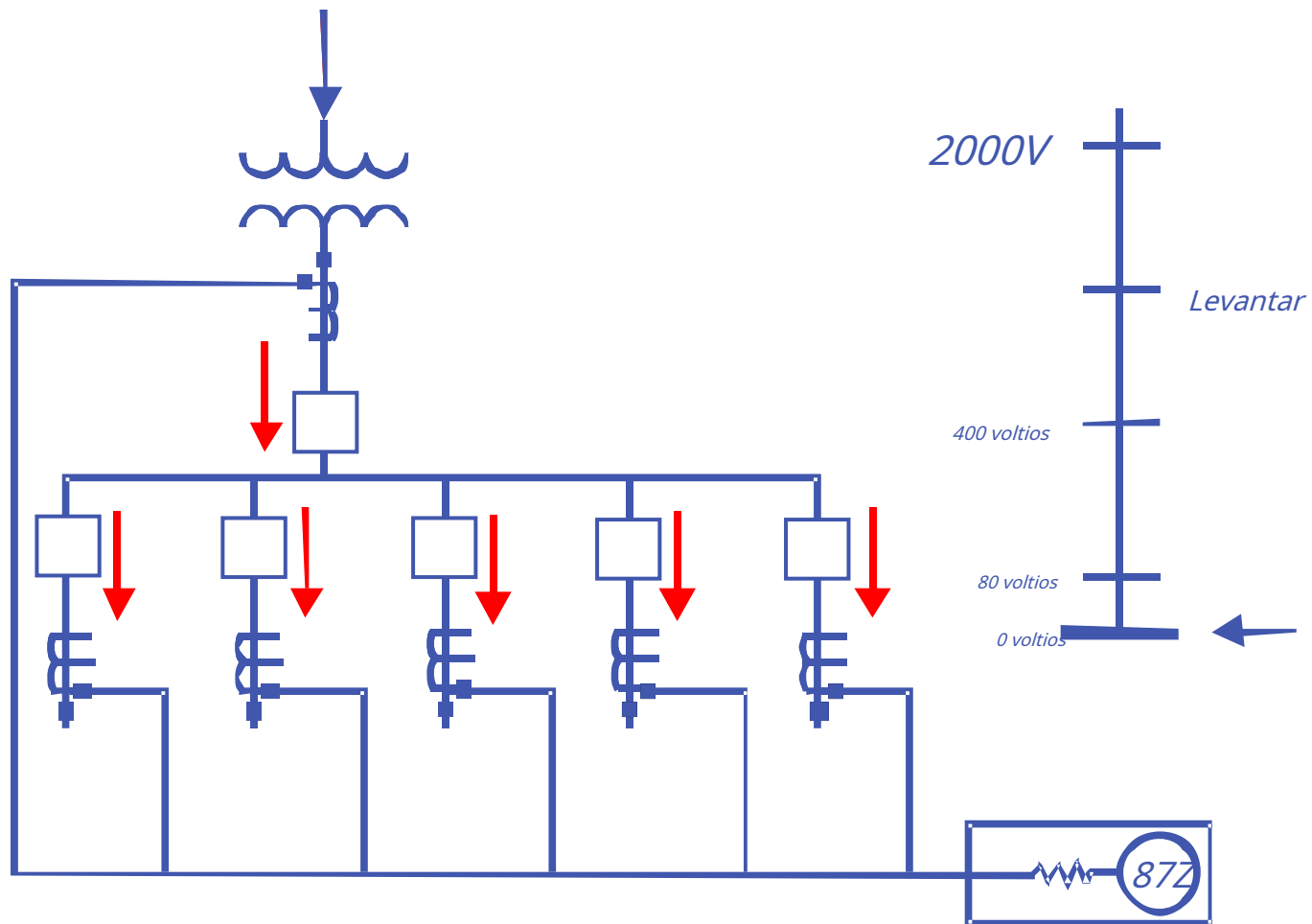
Esquema de enclavamiento de zonas de autobuses



Detección de 3-4 ciclos

Soluciones de arco eléctrico

Diferencial de bus de alta impedancia



Detección de 1,5 a 2 ciclos

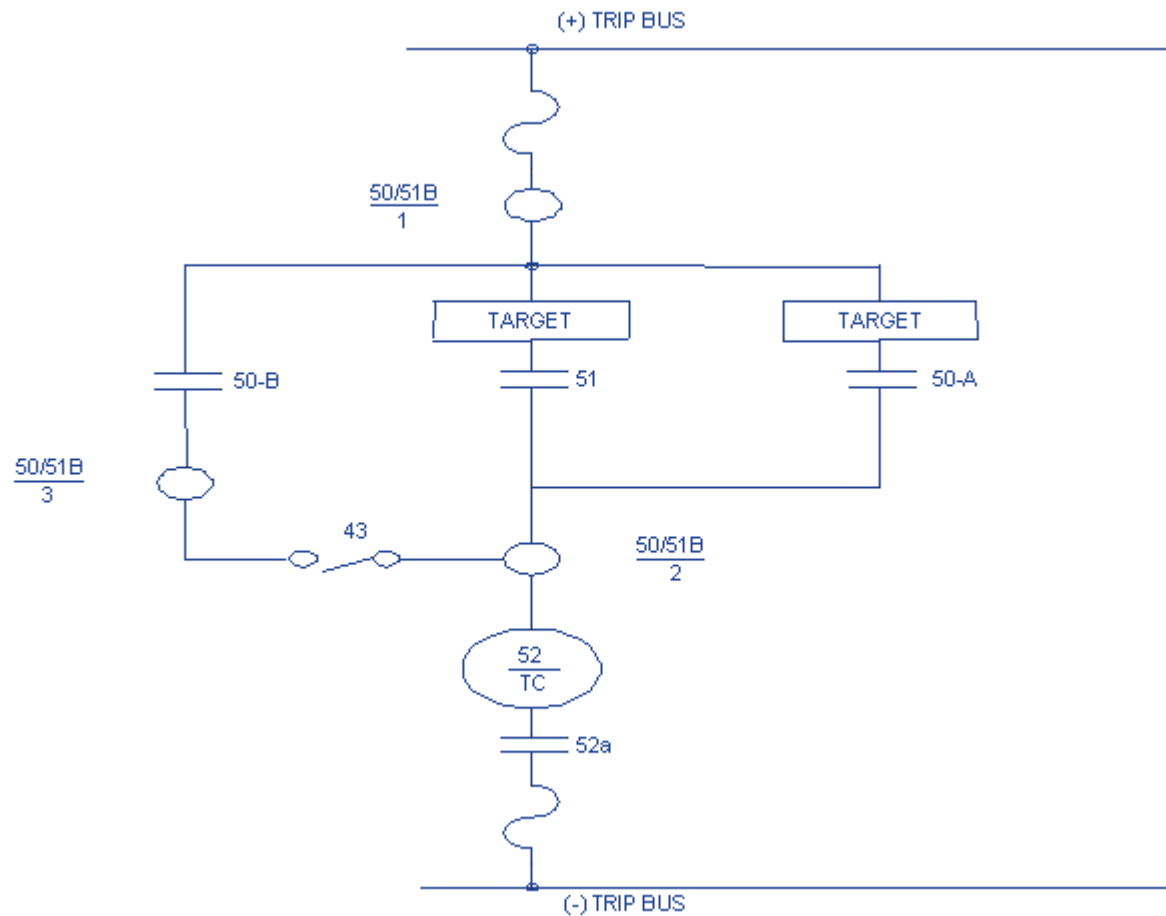
Soluciones de arco eléctrico

Habilitar el modo de mantenimiento

- **Fuerce la protección del disyuntor del alimentador para que no se coordine cuando el personal se encuentre dentro de los límites de protección contra incendios.**
- **Relés de repuesto: 2 Dakota del Norte 50 elemento**
- **Relés Multifunción: grupos de configuración**
- **Relés multifunción: múltiples 50**

Soluciones de arco eléctrico

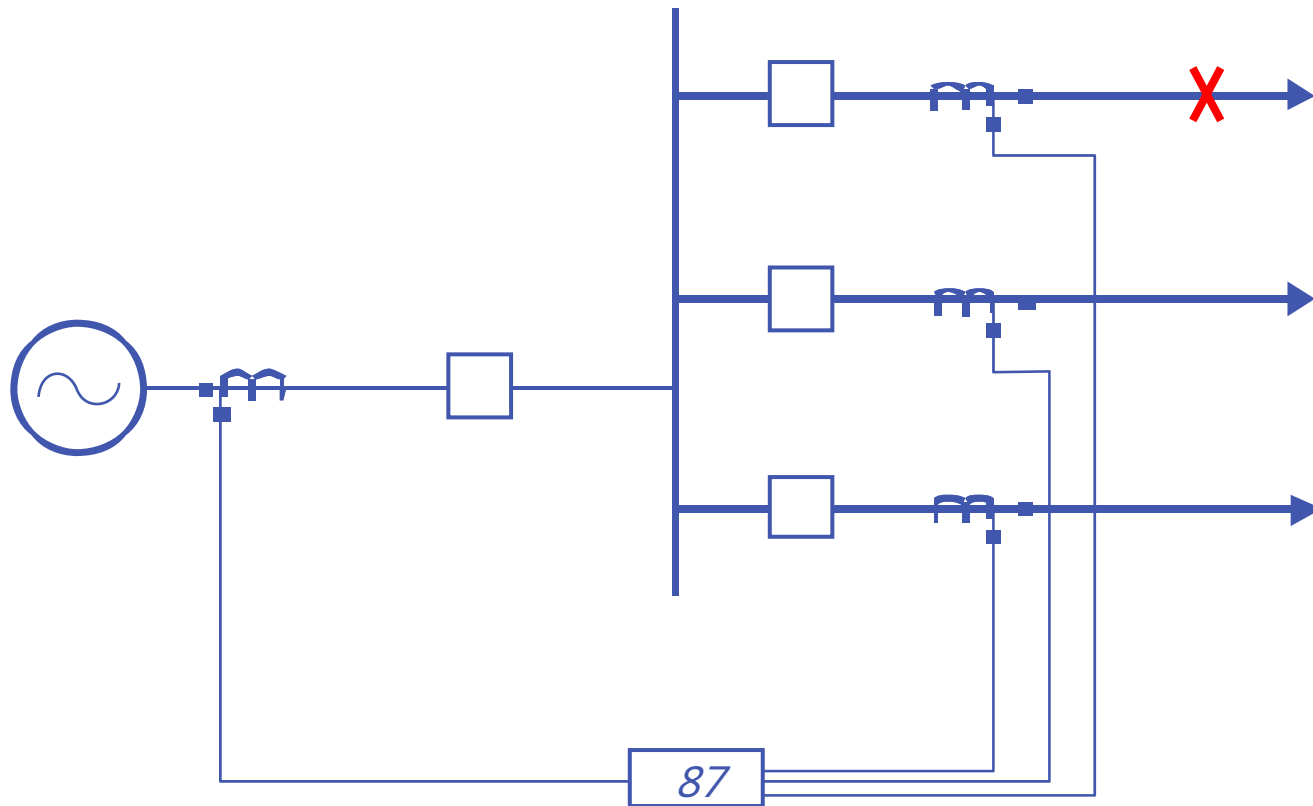
2Dakota del Norte Elemento de sobrecorriente instantáneo



Detección de 1,5 a 2 ciclos

Soluciones de arco eléctrico

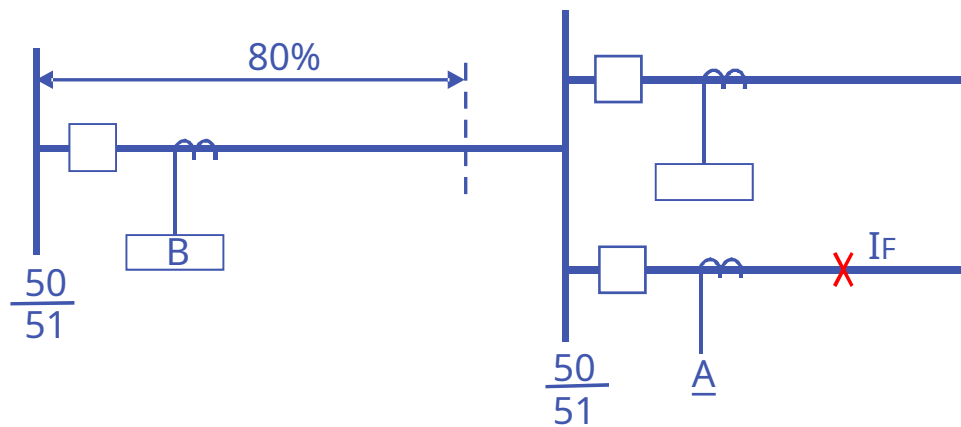
Diferencial de bus de baja impedancia



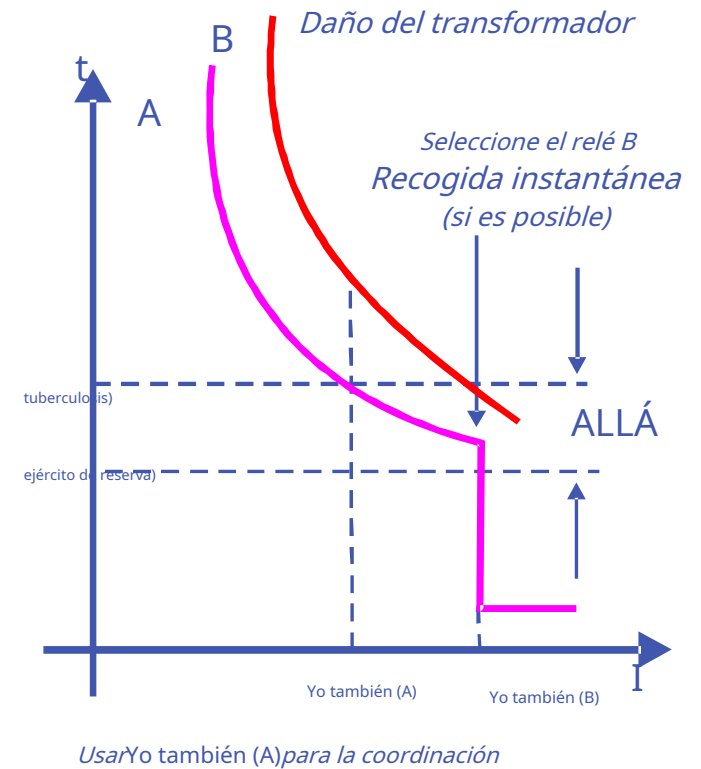
Detección de 1 ciclo

Soluciones de arco eléctrico

Hora Actual Coordinación

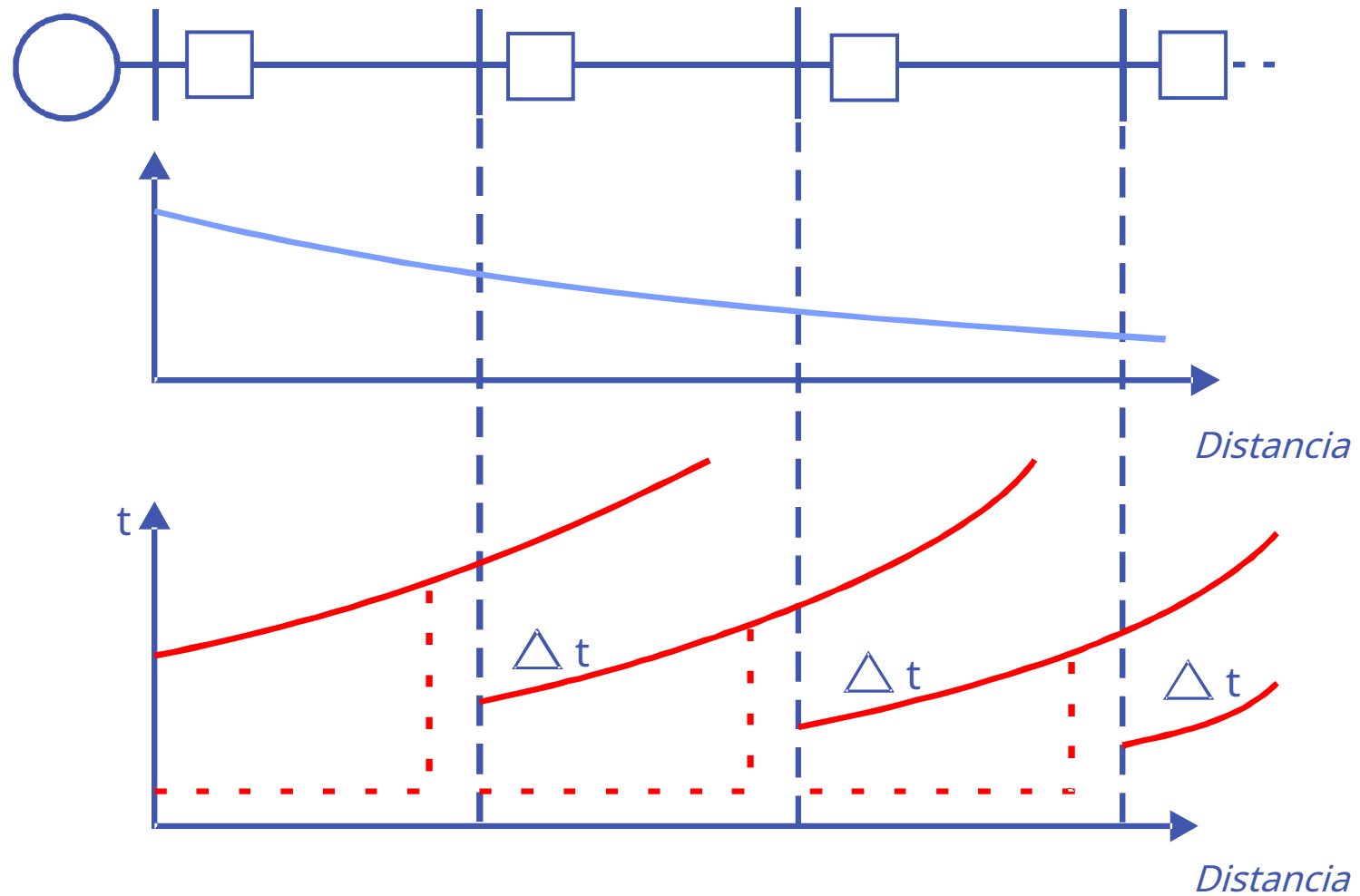


A = Relé del alimentador aguas abajo con los ajustes más altos



Soluciones de arco eléctrico

Corriente de falla y tiempo de operación



Apéndice

Referencias

Estándares de retransmisión de protección IEEE

Estándar IEEE	Descripción
C37.91	Guía IEEE para aplicaciones de relés de protección en transformadores de potencia
C37.96	Guía IEEE para la protección de motores de CA
C37.97	Guía IEEE para aplicaciones de relés de protección en buses de sistemas de energía
C37.99	Guía IEEE para la protección de bancos de condensadores en derivación
C37.101	Guía IEEE para la protección de tierra del generador
C37.102	Guía IEEE para la protección de generadores de CA
C37.110	Guía IEEE para la aplicación de transformadores de corriente utilizados con fines de relés de protección
C37.113	Guía IEEE para aplicaciones de relés de protección en líneas de transmisión
C37.119	Guía IEEE para la protección contra fallas de disyuntores de potencia
C37.230	Guía IEEE para aplicaciones de relés de protección en líneas de distribución

Referencias

- Números de dispositivo ANSI/IEEE, C37.2
- Cargas IEEE CT (5 amperios), C57.13
- Estándares de retransmisión de protección IEEE
- “El arte de la retransmisión protectora”
 - Publicación de GE GET-7201
- “Principios y aplicaciones de relés de protección”
por J. Lewis Blackburn y Thomas J. Domin



Thank You For the Time