

CFE *Distribución*

Fundamentos Protección de Sistemas Eléctricos

Bienvenida

- Presentación Instructor
- Objetivo General del Curso
- Metodología de trabajo
- Evaluaciones
- Perfil de los Participantes

Capitulo I. Elementos de los Sistemas Eléctricos

- Generadores
- Transformadores
- Líneas
- Buses
- Sistemas de Control (FACTS)
- Cargas (Consumidores)

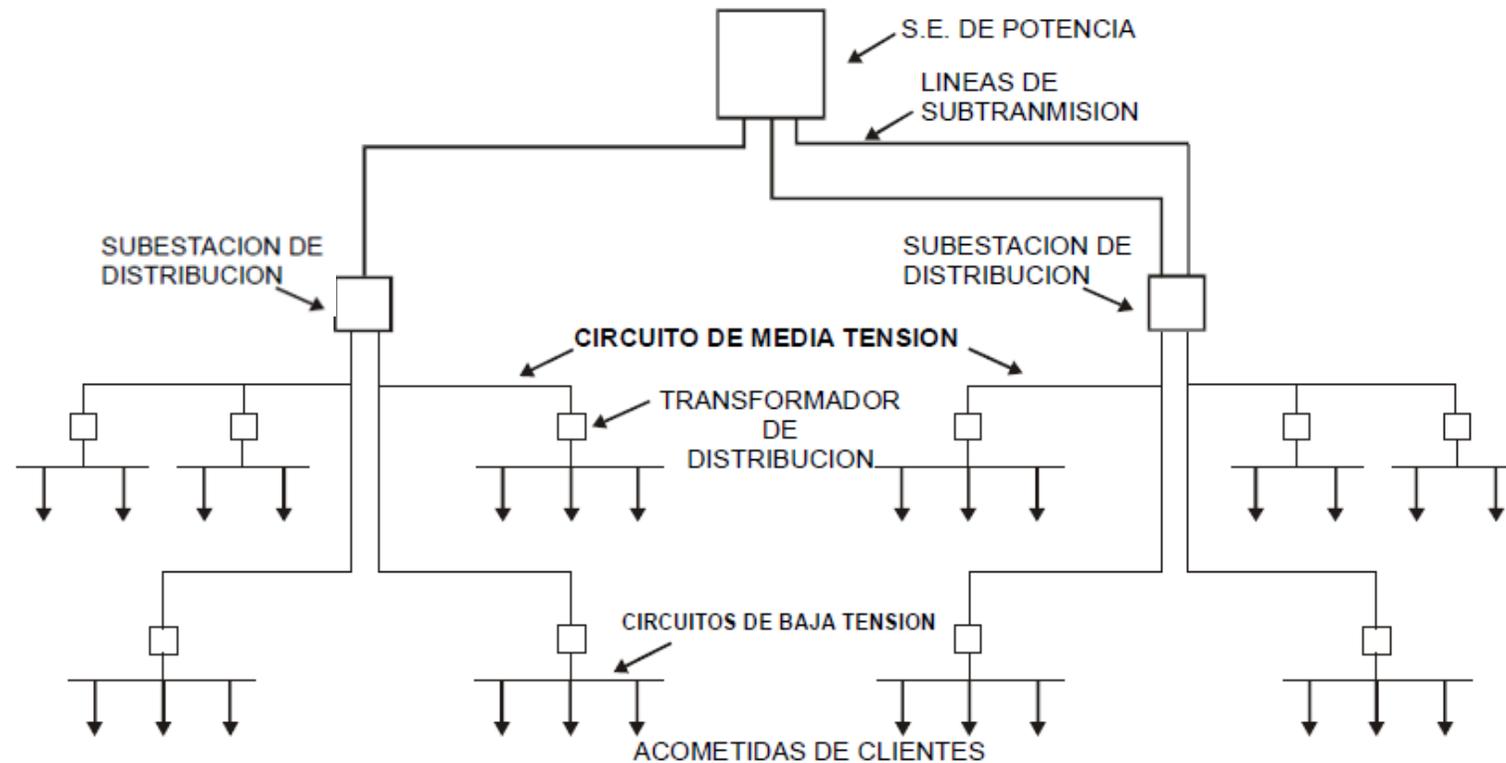


Elementos a Proteger en los Sistemas de Distribución

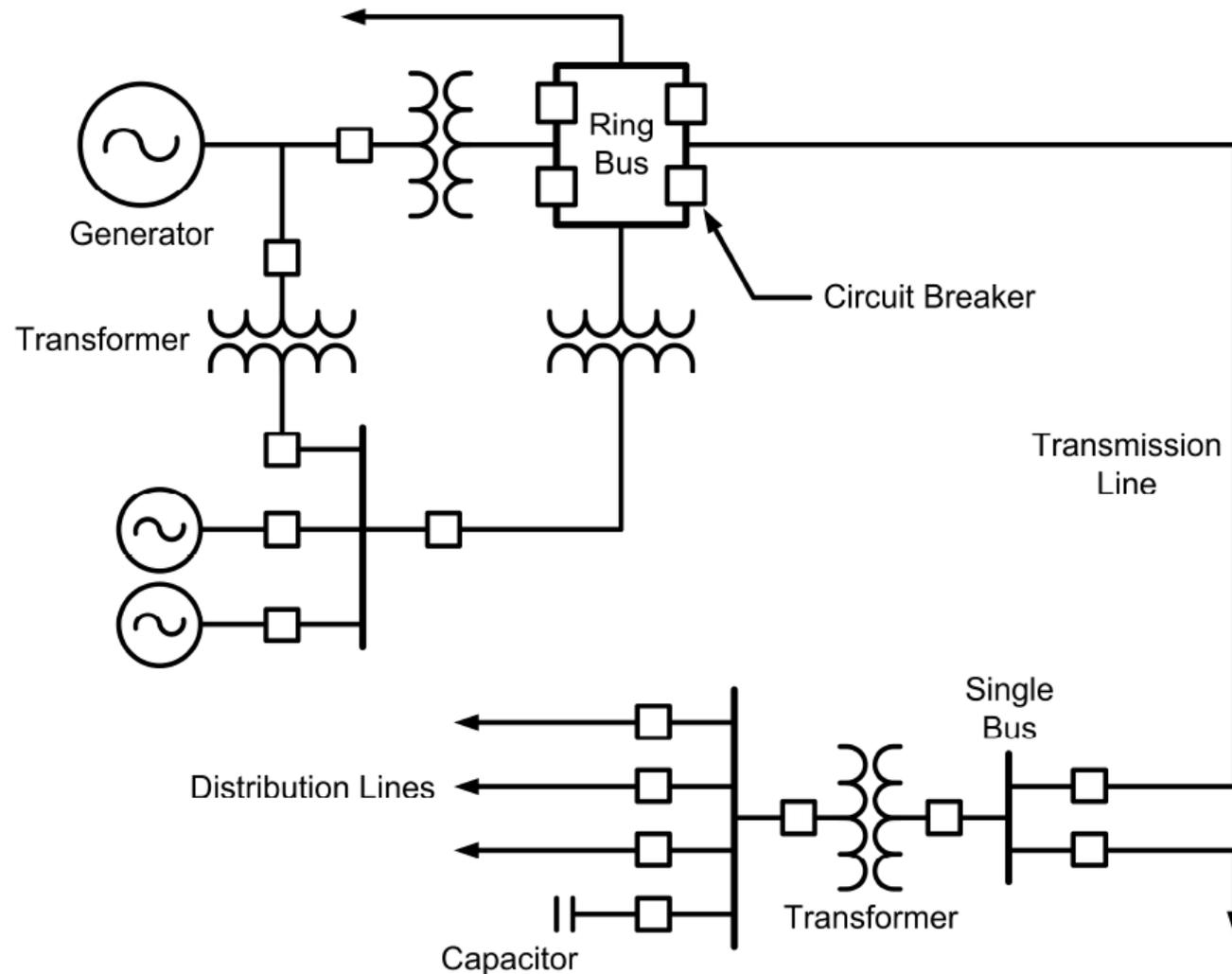
- Transformadores
- Líneas (Conductores)
- Capacitores
- Reguladores



Ejemplo de un Sistema Eléctrico de Distribución



Ejemplo de un Sistema Eléctrico de Distribución



Definición de los Elementos de un Sistema de Distribución:

- Líneas de Subtransmisión

Circuitos de conducción masiva de energía eléctrica a distancia que alimenta e interconecta las Subestaciones de distribución, los niveles de tensión utilizados en nuestro país son 138, 115, 85 y 69 KV.

- Subestaciones de Distribución

Conjunto de equipos eléctricos necesarios para la conversión y seccionamiento de energía eléctrica recibida en bloque y distribuida en diferentes trayectorias a través de los circuitos de distribución.

- Circuitos de Media Tensión

Circuitos eléctricos que parten de las Subestaciones de distribución y proporcionan la potencia eléctrica a los transformadores de distribución, los niveles de tensión utilizados en el país van desde 2.4 hasta 34.5 Kv.

Definición de los Elementos de un Sistema de Distribución:

- **Transformadores de Distribución**

Equipo eléctrico que reduce la tensión de los circuitos de media tensión, a la tensión contratada por los usuarios.

- **Circuitos de Baja Tensión**

Circuitos que emanan de los transformadores de distribución y proporcionan el camino a la potencia eléctrica que será entregada a los usuarios.

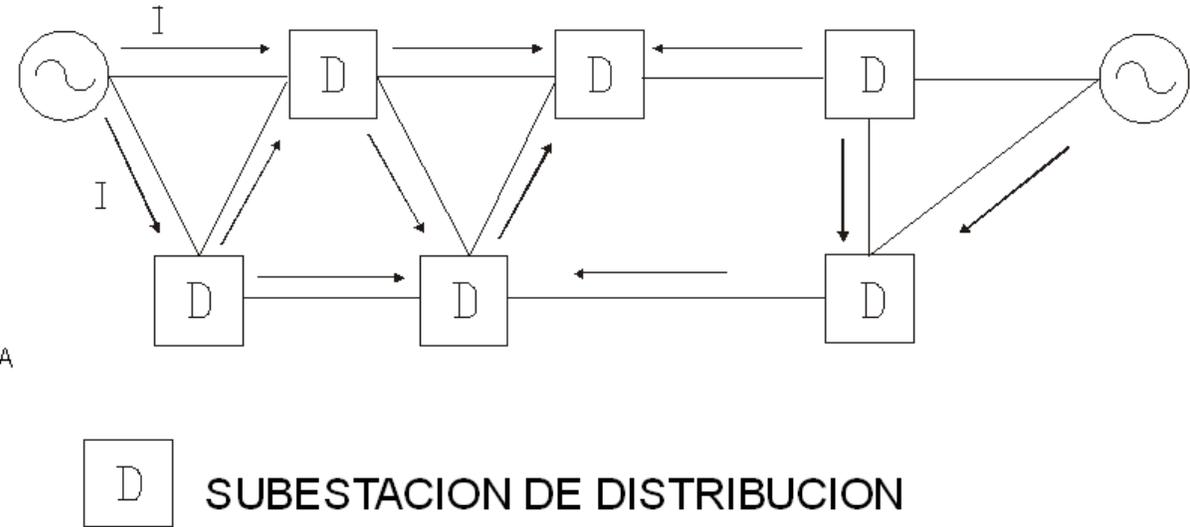
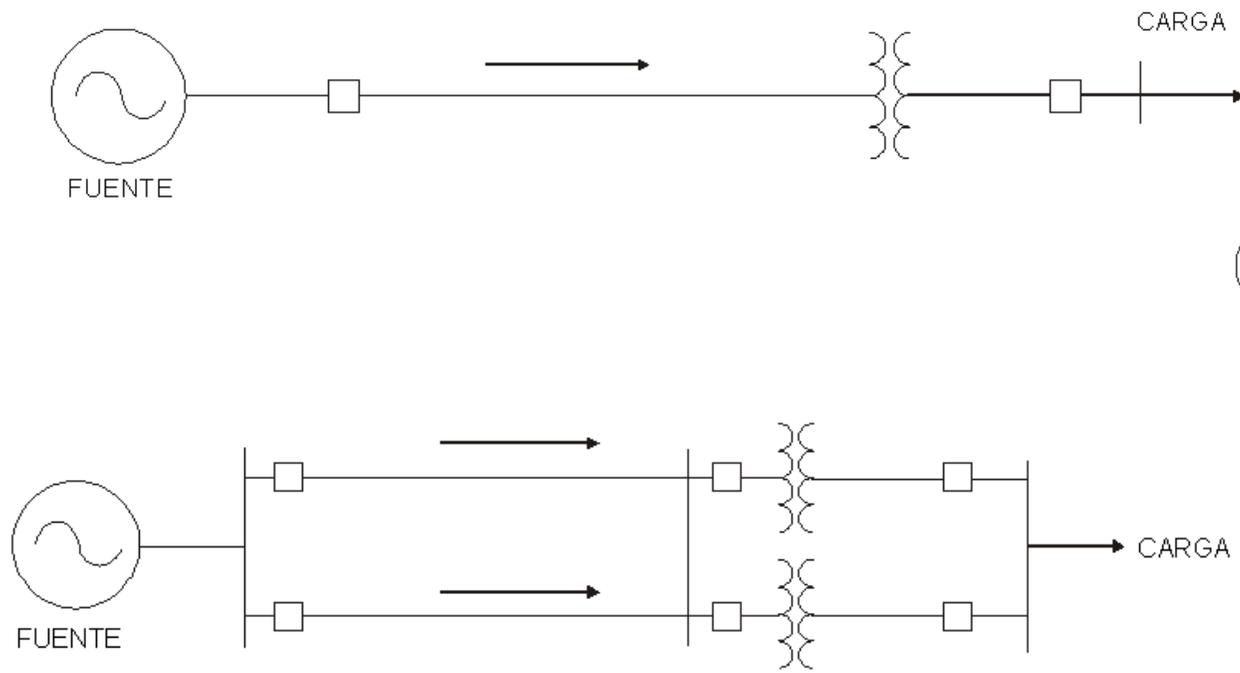
- **Acometidas**

Circuitos que interconectan al usuario con los sistemas de distribución.

Tensiones de los Sistemas de Distribución

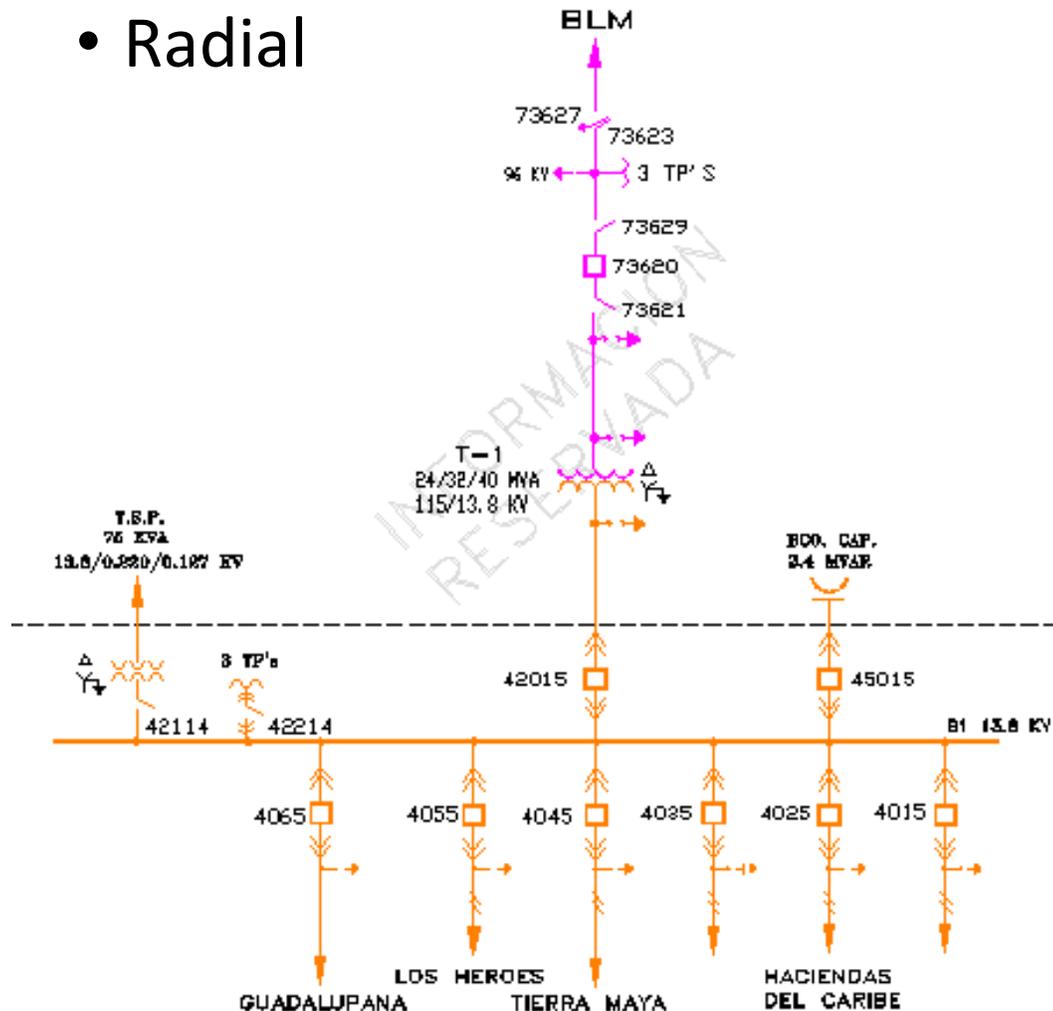
CLASIFICACIÓN DE TENSIÓN	COMPONENTE DEL SISTEMA	TENSIÓN NOMINAL KV		
		PREFERENTE	RESTRINGIDA	CONGELADA
BAJA TENSIÓN (MENOR DE 1KV)	ACOMETIDAS Y CIRCUITOS DE BAJA TENSIÓN	0.120 0.127 0.220 0.140		
MEDIA TENSIÓN (MAYOR A 1 KV Y MENOR A 35 KV)	CIRCUITOS DE MEDIA TENSIÓN	13.8 23.0 34.5		2.4 4.4 6.9 11.8 20
ALTA TENSIÓN (MAYOR A 35 KV Y MENOR A 230 KV)	LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN	69 115	85 138	

Arreglos para el sistema de Distribución

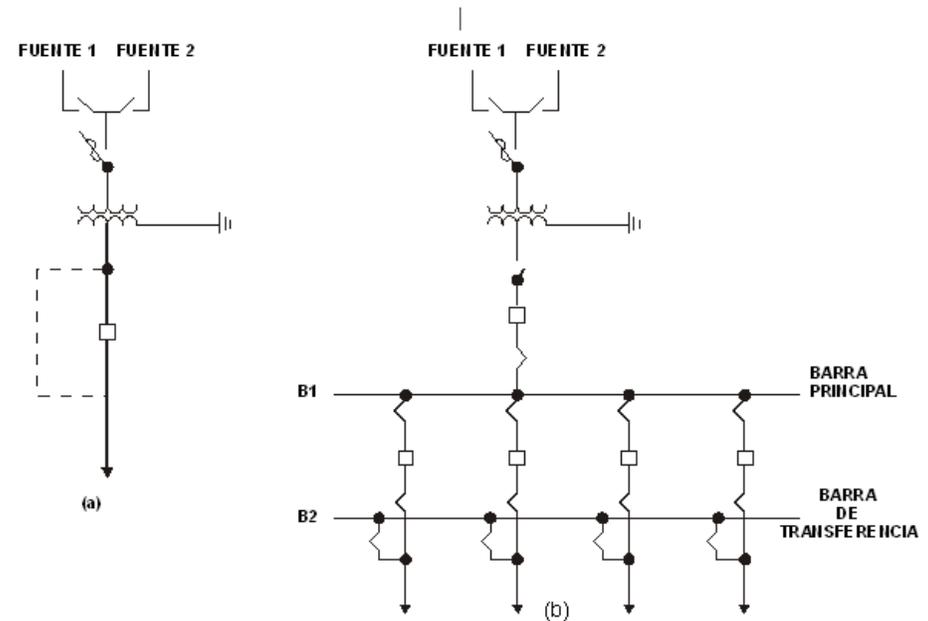


Configuraciones en Sistemas de Distribución

- Radial

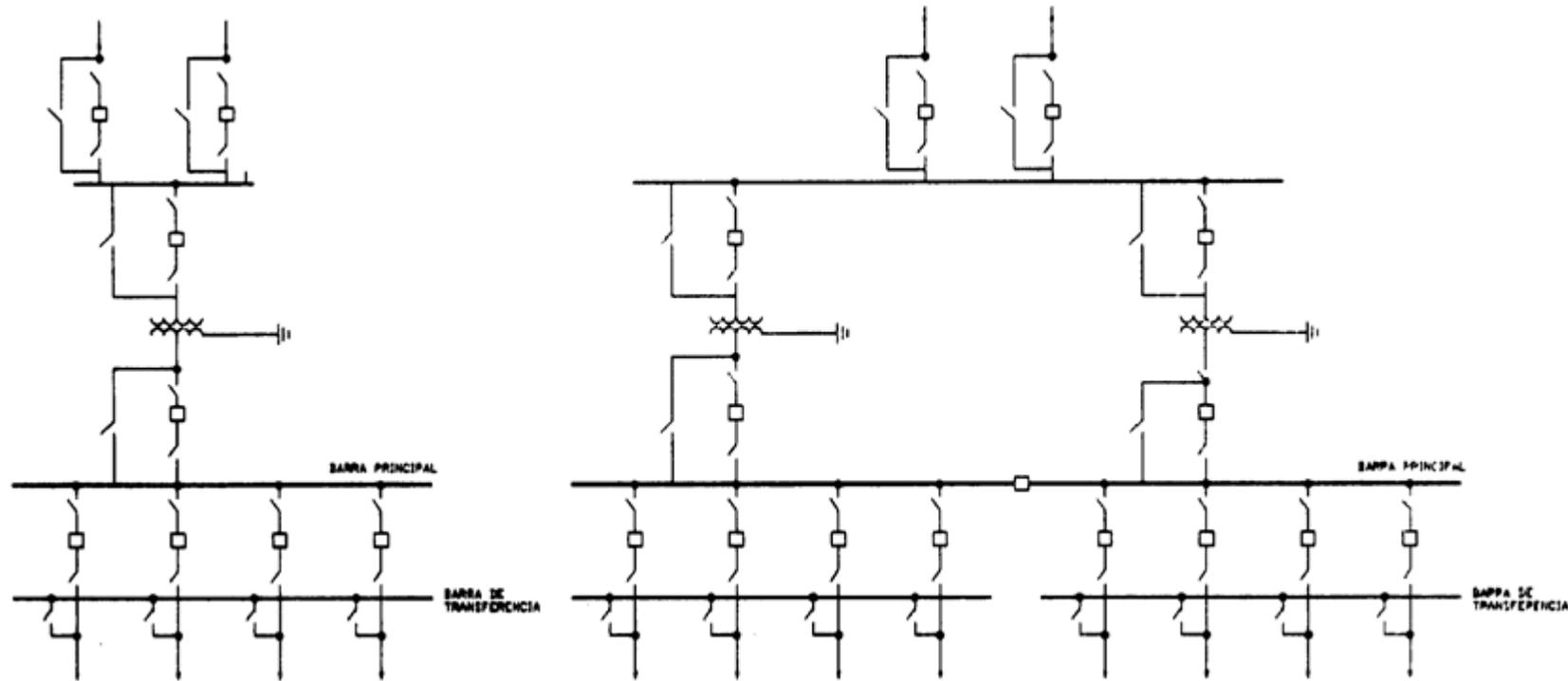


- Radial con alternativa de alimentación a través de cuchillas de seccionamiento



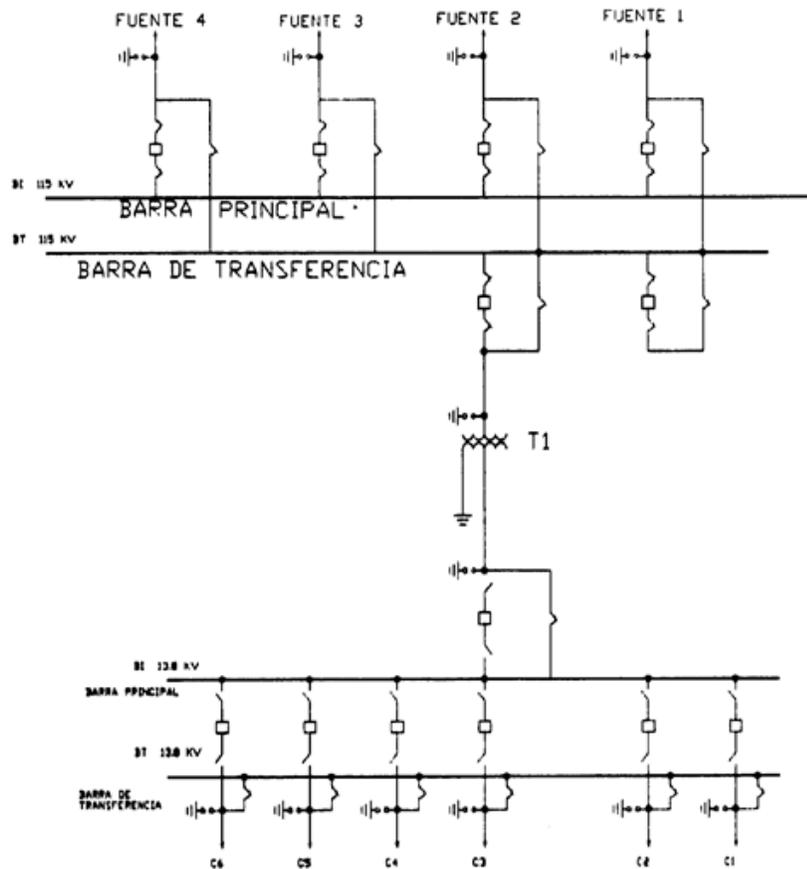
Configuraciones en Sistemas de Distribución

Anillo en Alta Tensión con uno o dos Transformadores

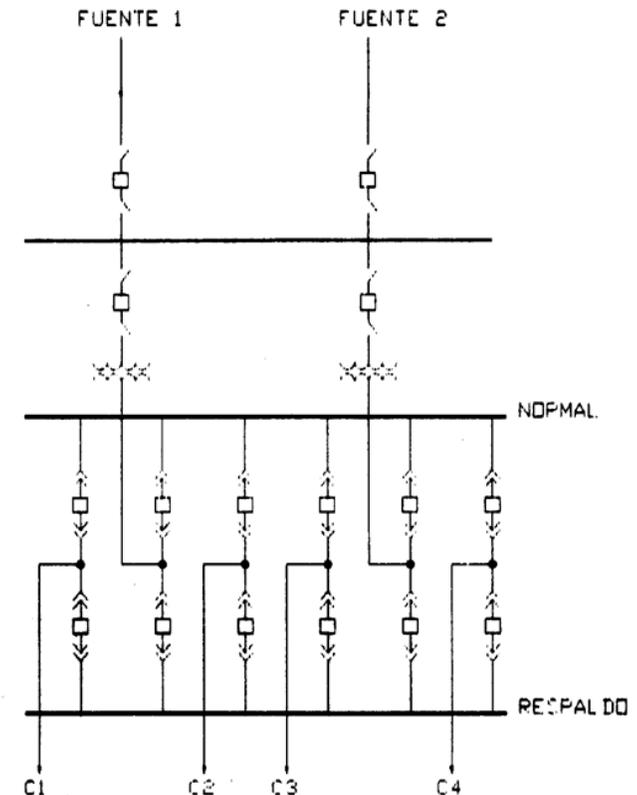


Configuraciones en Sistemas de Distribución

- Alimentación múltiple con Interruptor comodín en Alta Tensión



- Anillo en Alta Tensión con Arreglo de Doble Interruptor en Media Tensión y Doble Barra



Elementos a Proteger en los Sistemas de Distribución

- Transformadores
- Líneas (Conductores)
- Capacitores
- Reguladores



Condiciones de Operación Normal

- Control de Frecuencia
- Control de Voltaje
- Control de Operación Económica



Son aquellas desviaciones del valor eficaz del voltaje nominal que ocurren con una duración superior a un minuto.

En la CFE de acuerdo a la guía de Calidad de la Energía CFE L0000-70 las variaciones de voltaje aceptables en circuitos de media tensión (voltajes de 13.8 kV, 23 kV y 34.5 kV), se muestran en la siguiente tabla:

Fenómenos de voltaje en estado estable	Tipo	Frecuencia de medición	Límite	Cliente (porcentaje de cumplimiento)	Periodo de Evaluación
Variación de larga duración	Alto Voltaje	10 min.	+5% V nominal	95%	semanal
	Bajo Voltaje	10 min.	-7% V nominal	95%	semanal

Tensión Nominal (kV)	Bajo Voltaje (kV)	Alto Voltaje (kV)
13.8	12.834	14.49
23	21.39	24.15
34.5	32.085	36.225

- ✓ Con registros de cada 10 minutos, en un día tenemos 144 y en una semana 1,008 registros.
- ✓ Si se presentan el 95% de los registros dentro de las variaciones de voltaje aceptables, se considera un circuito de media tensión normal.
- ✓ Se requieren al menos 51 registros que hayan sido valores superiores al 5% del voltaje nominal para evaluar que el circuito tiene problemas de alto voltaje
- ✓ Se requieren al menos 51 registros que hayan sido valores menores al 7% del voltaje nominal para evaluar que el circuito tiene problemas de bajo voltaje.
- ✓ De los 1,008 registros de una semana, se pueden presentar ambos casos, de alto y bajo voltaje.

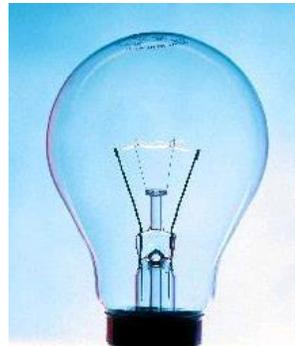


¿Por qué la tensión es importante?



- Una caída de tensión del 10% reduce el generación de calor en un 9%.
- Una sobretensión puede quemar algún elemento del calentador.

- Una caída del 10% en la tensión reduce la luz emitida en un 30%.
- Una sobretensión del 10% reduce la vida del foco en un 70%.



- Una baja tensión en computadoras y televisores puede hacerlos fallar.



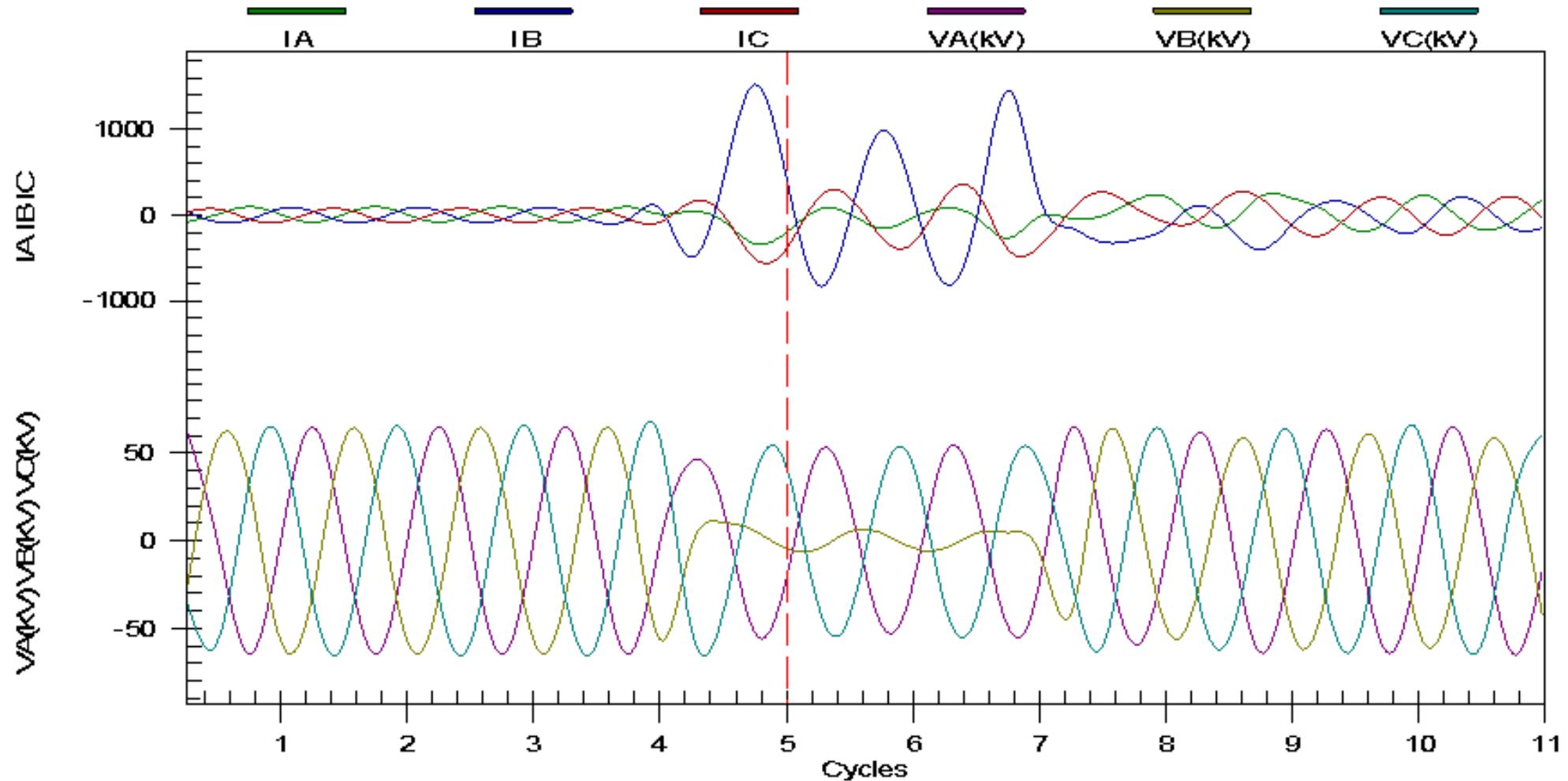
- Una reducción de tensión causa sobrecalentamiento, reduce el torque de arranque y tensión plena así como la capacidad de sobrecarga.
- Operando a un 90% de la tensión nominal, la corriente a plena carga es de 10 a 50% mayor, la temperatura se eleva 10 a 15%.

Condiciones de Corto Circuito

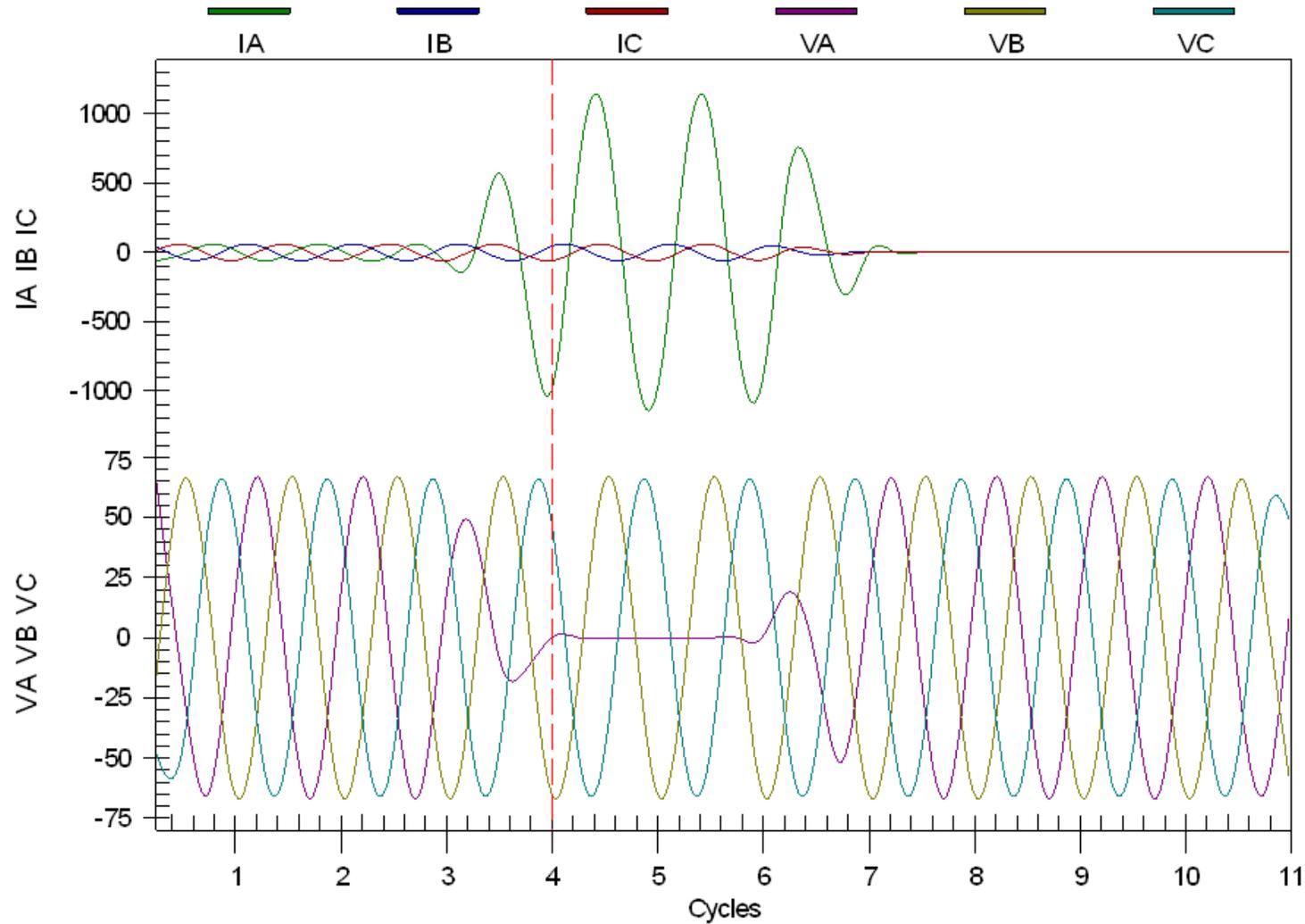
- Altas Corrientes
 - Esfuerzos Mecánicos
 - Esfuerzos Térmicos
- Bajo Voltaje
 - Estabilidad
 - Calidad de la Energía



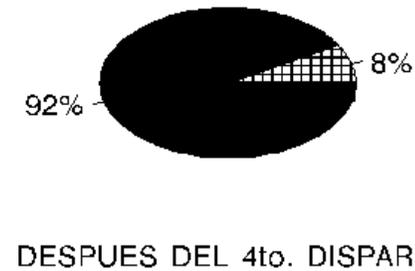
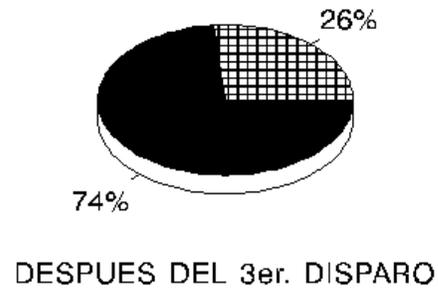
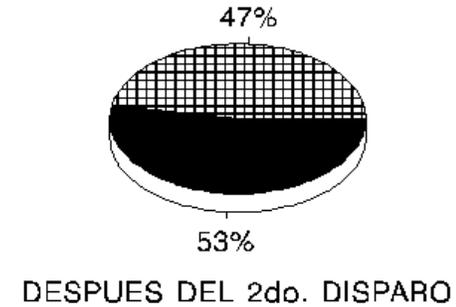
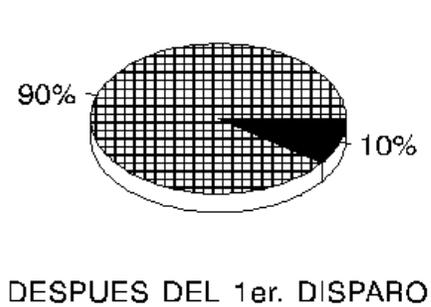
Naturaleza de las Fallas



Naturaleza de las Fallas



Estadística promedio de Éxito para intentos consecutivos de restablecimiento:



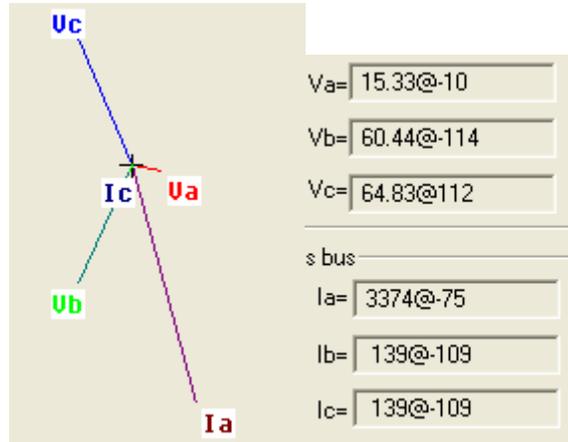
 RESTABLECIMIENTO CON EXITO

 NUEVO DISPARO DE PROTECCION

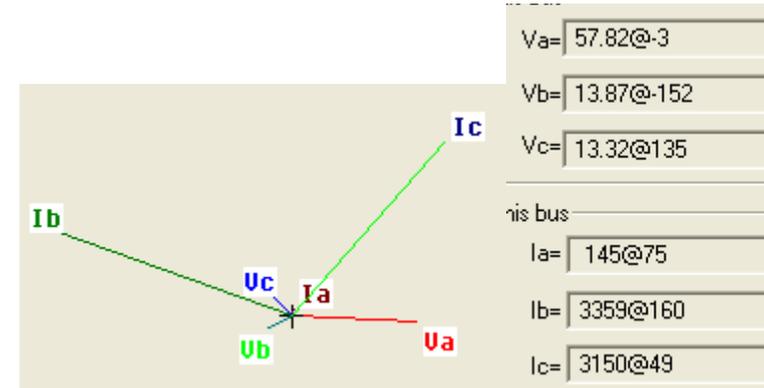
Tipos de Fallas y Probabilidad de Ocurrencia

TIPO	PROBABILIDAD (%)
MONOFASICA (fase a tierra)	85
BIFÁSICA A TIERRA (dos fases a tierra)	8
BIFÁSICA (entre dos fases)	5
TRIFASICA (entre las tres fases)	2

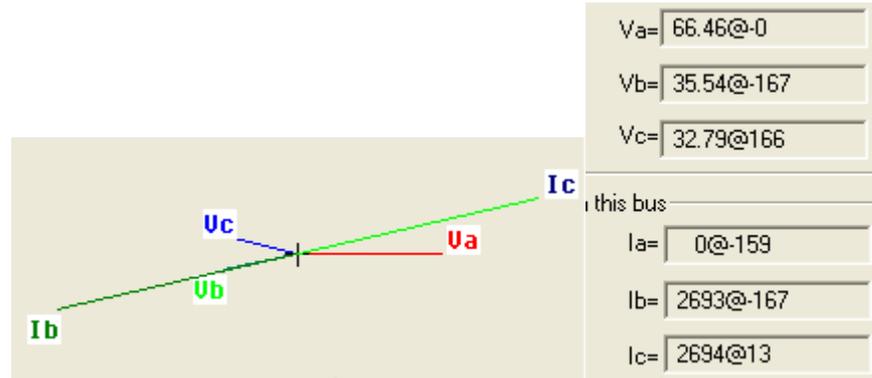
Tipos de Fallas



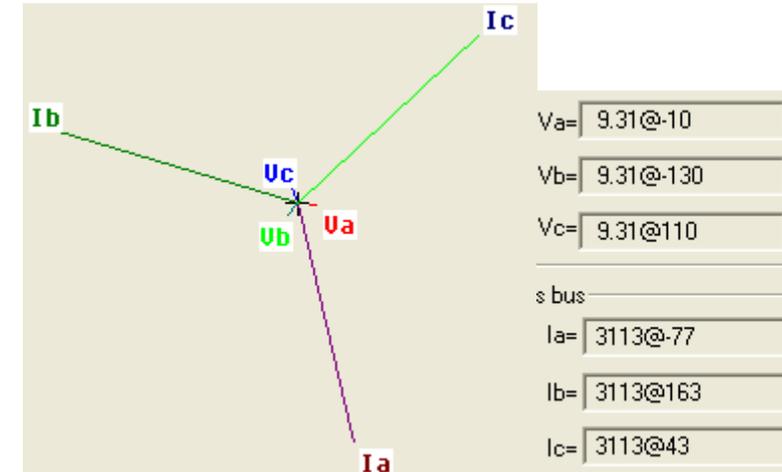
CARACTERÍSTICA DE FALLA MONOFÁSICA



CARACTERÍSTICA DE FALLA BIFÁSICA A TIERRA



CARACTERÍSTICA DE FALLA BIFÁSICA



CARACTERÍSTICA DE FALLA TRIFÁSICA

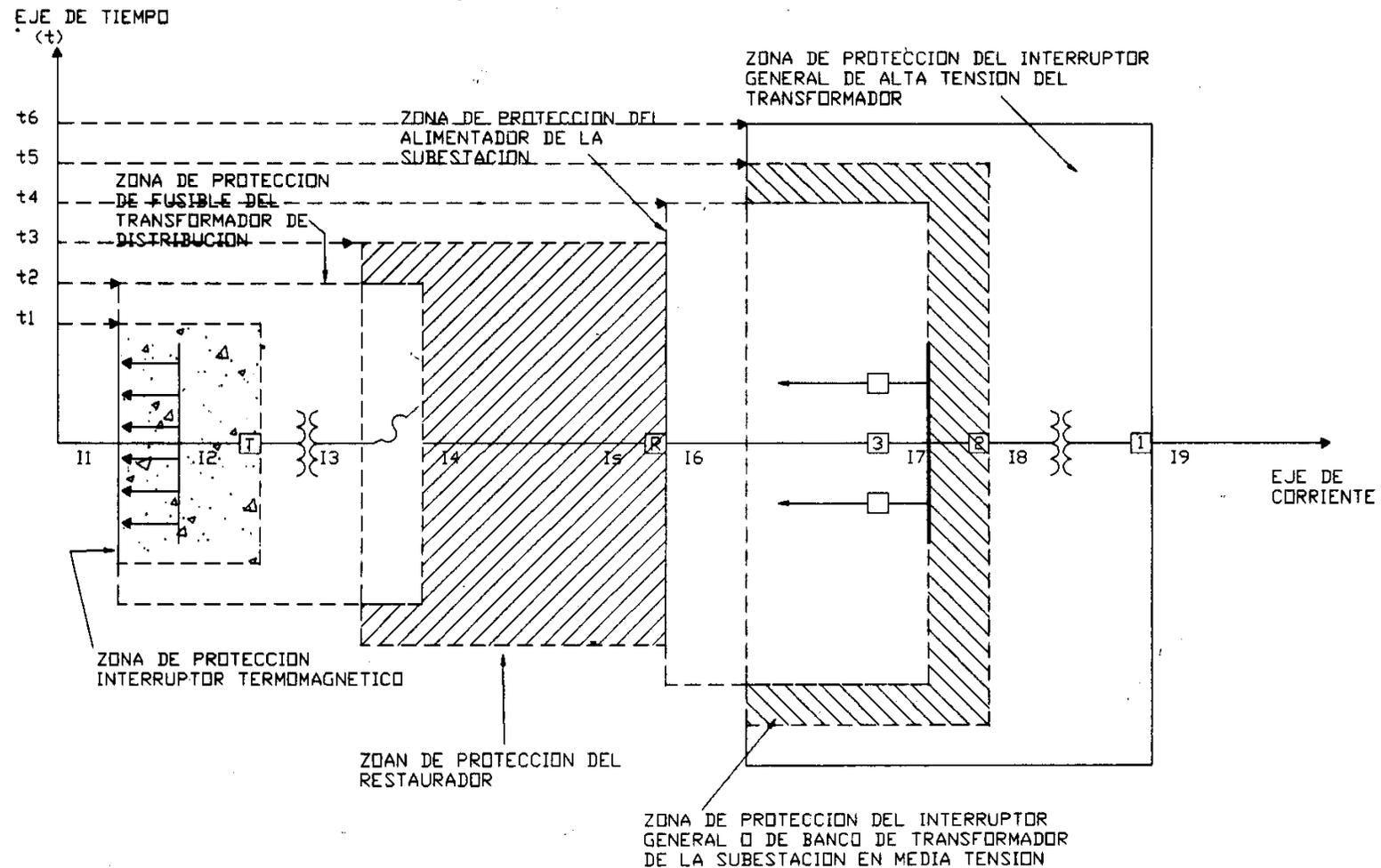
Mitigación de Disturbios

- Elementos de Protección del Sistema
- Recierre Automático
- Transferencias Automáticas a Fuentes Alternas
- Seccionamiento de tramo fallado

Características de los Sistemas Eléctricos

- Los sistemas de Potencia operan cada vez mas cerca a sus los límites de Seguridad
 - Unidades Generadoras de alta potencia
 - Líneas de Transmisión muy largas
- Crecimiento de la generación distribuida

Límites de Actuación de las Zonas de Protección



Características Funcionales de la Protección

- Confiabilidad
- Rapidez
- Economía
- Simplicidad
- Selectividad

Nomenclaturas ANSI

50: Relevador de Sobrecorriente Instantanea

51: Relevador de Sobrecorriente de Tiempo

67: Relevador de Sobrecorriente Direccional

21: Relevador de Distancia

87: Relevador Diferencial

52: Interruptor

79: Relevador de Recierre

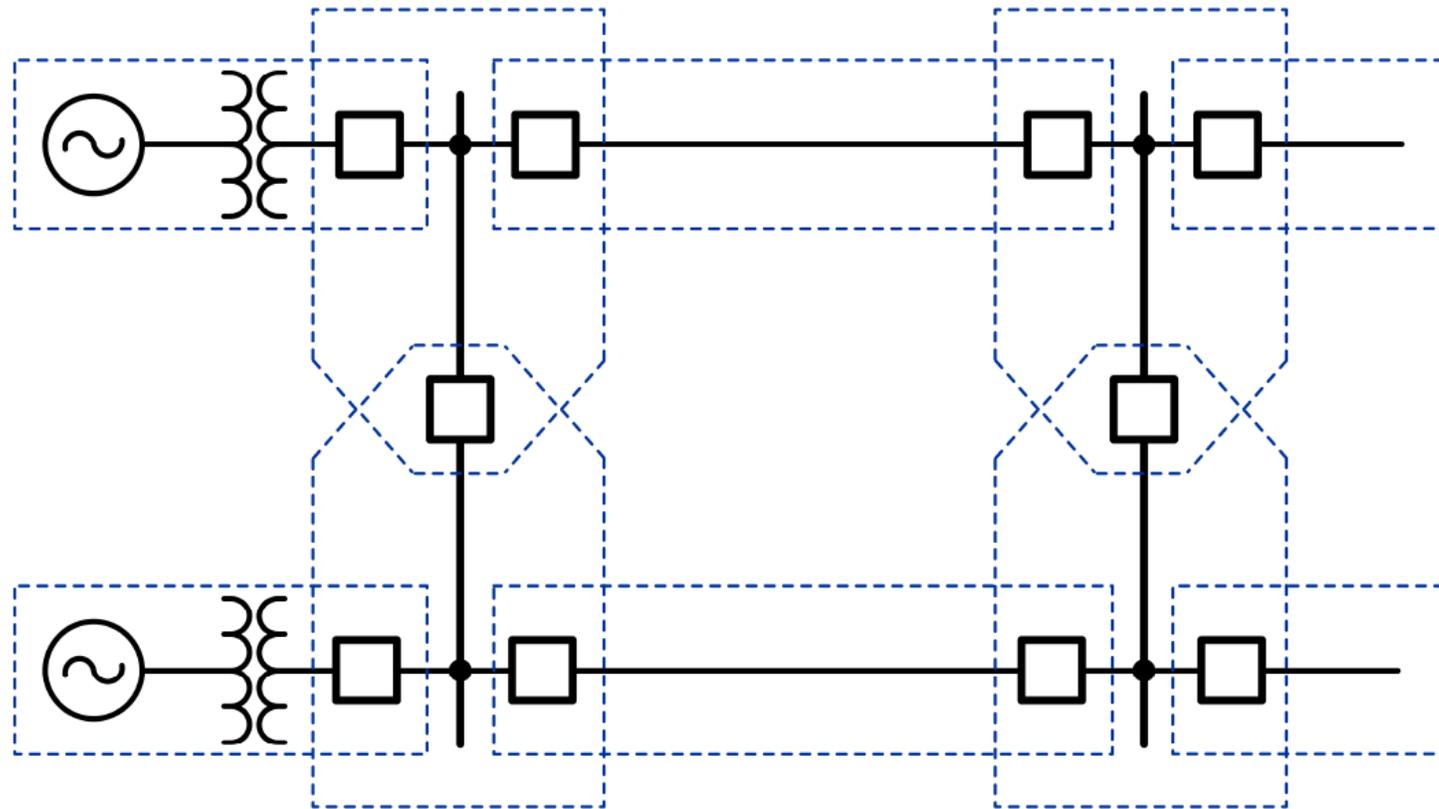
81: Relevador de Frecuencia

27: Relevador de Baja Tensión

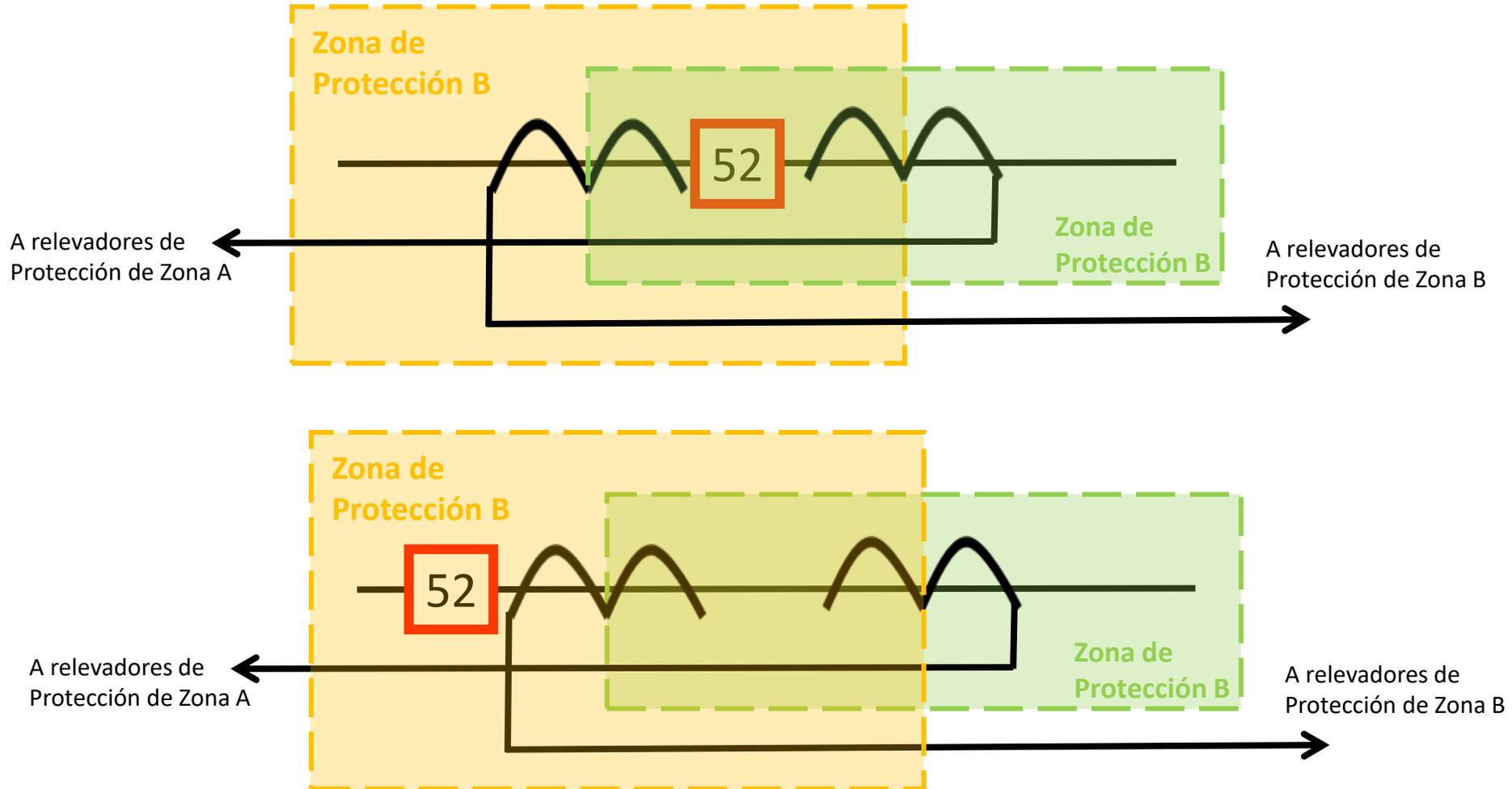
Nomenclaturas ANSI

- 59: Relevador de Sobre Tensión
- 86: Relevador de Bloqueo Reposición Manual
- 49: Relevador de Temperatura
- 63: Relevador de Presión
- 25: Relevador de Verificación de Sincronismo
- 32: Relevador de Potencia Inversa
- 46: Relevador de Secuencia Negativa

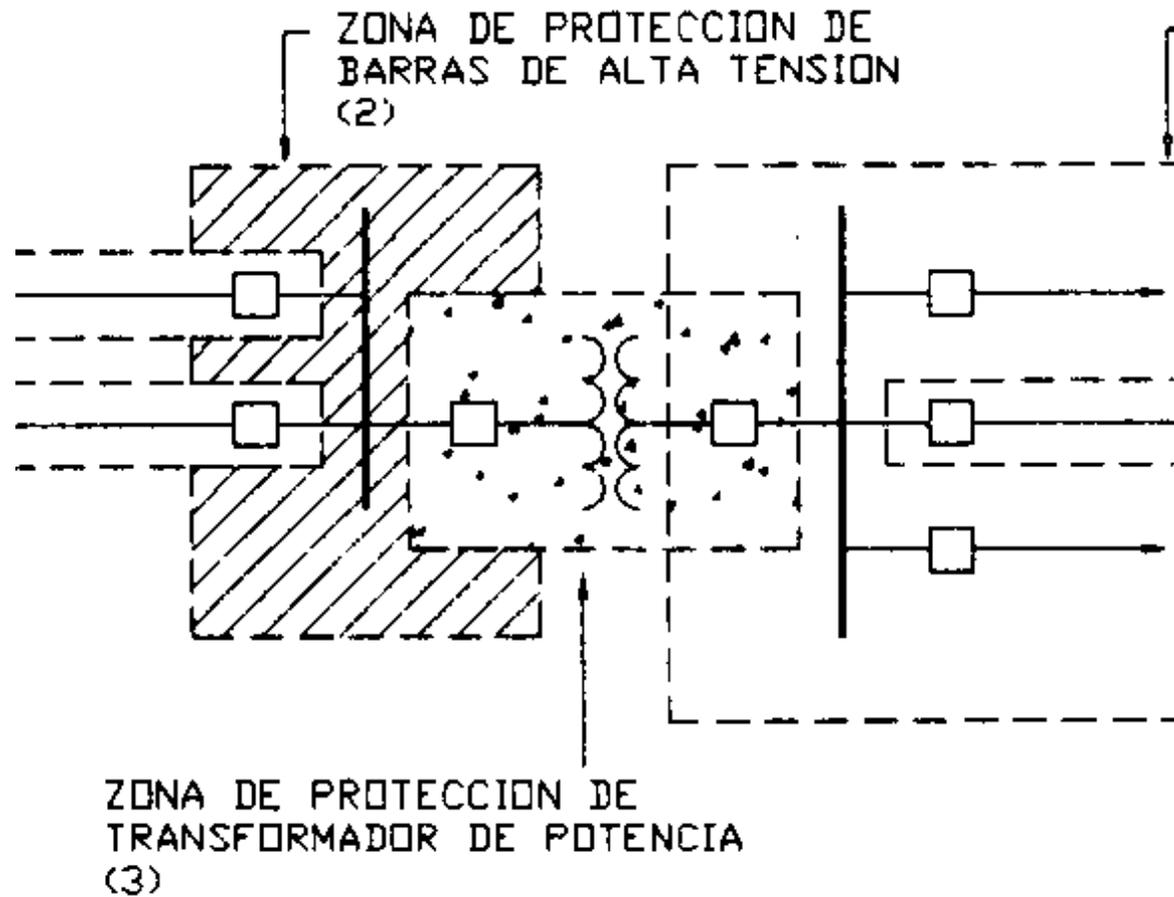
Protección Primaria



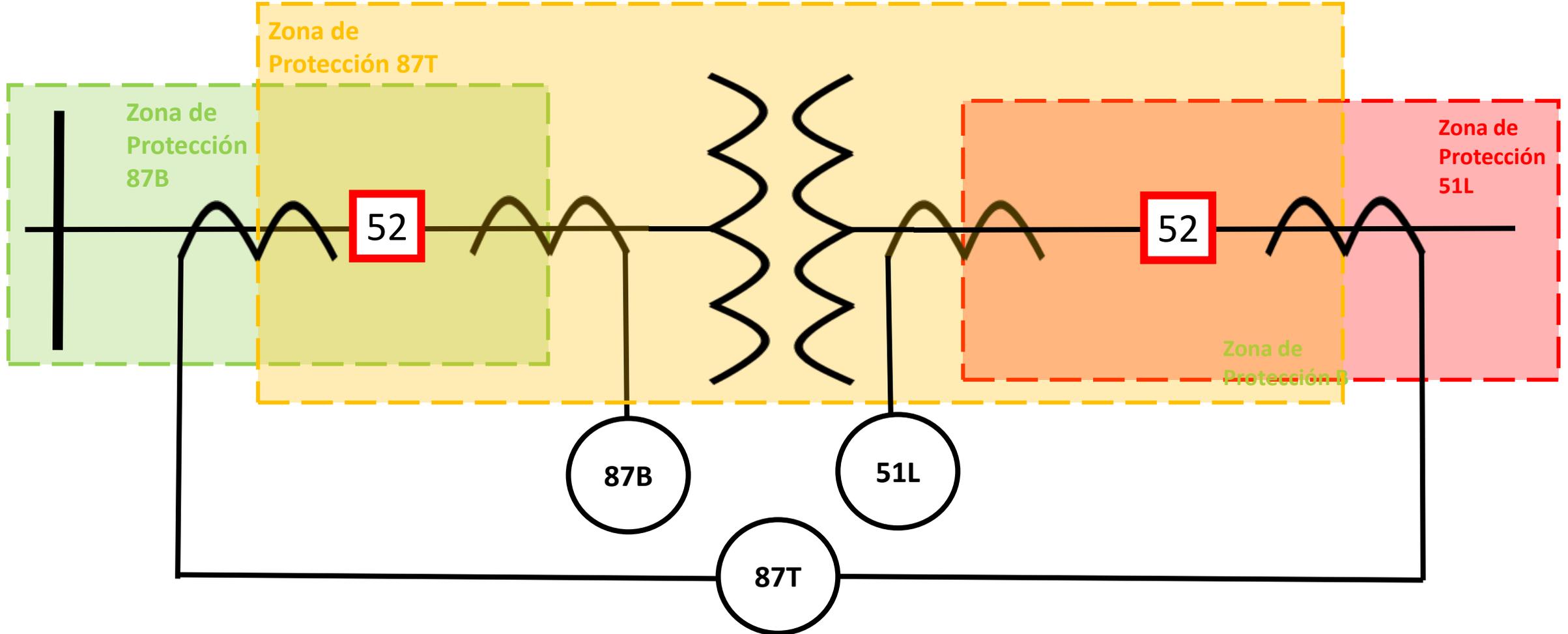
Traslape de Zonas de Protección



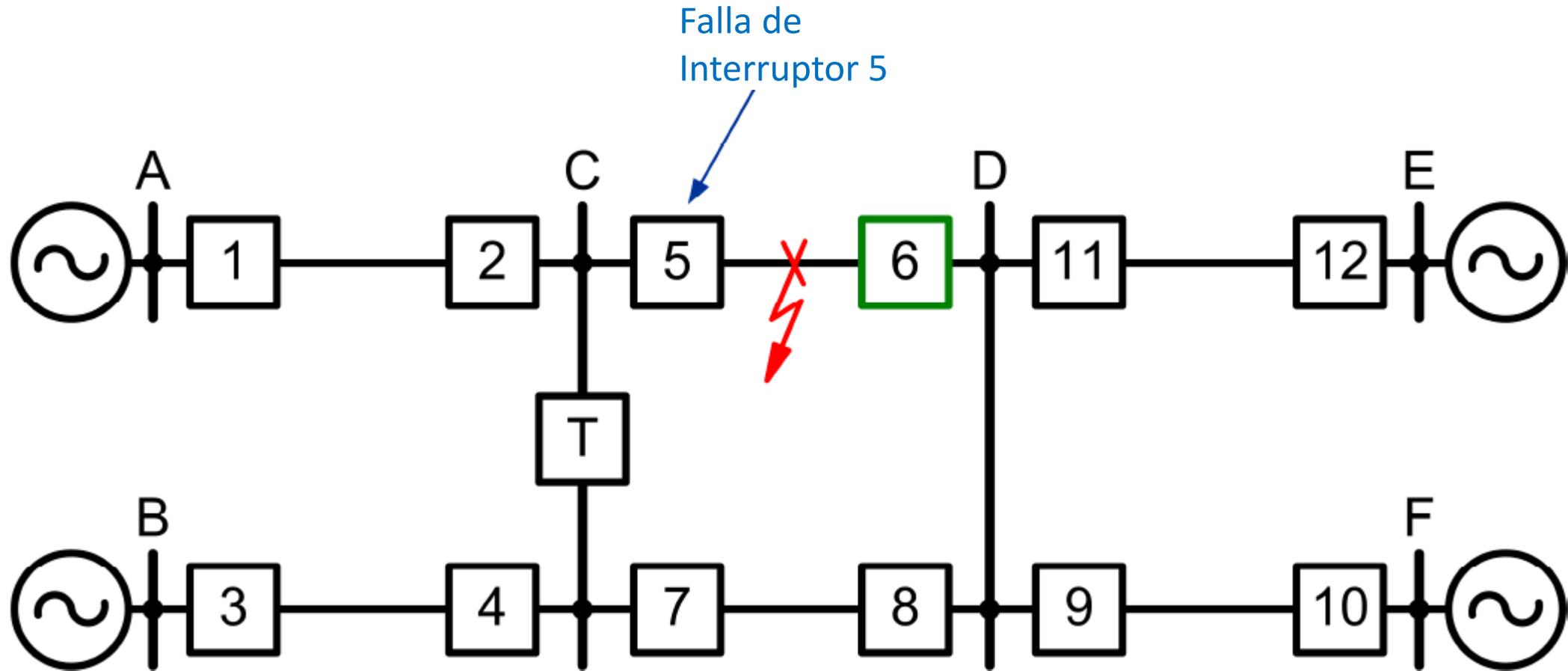
Traslape de Zonas de Protección



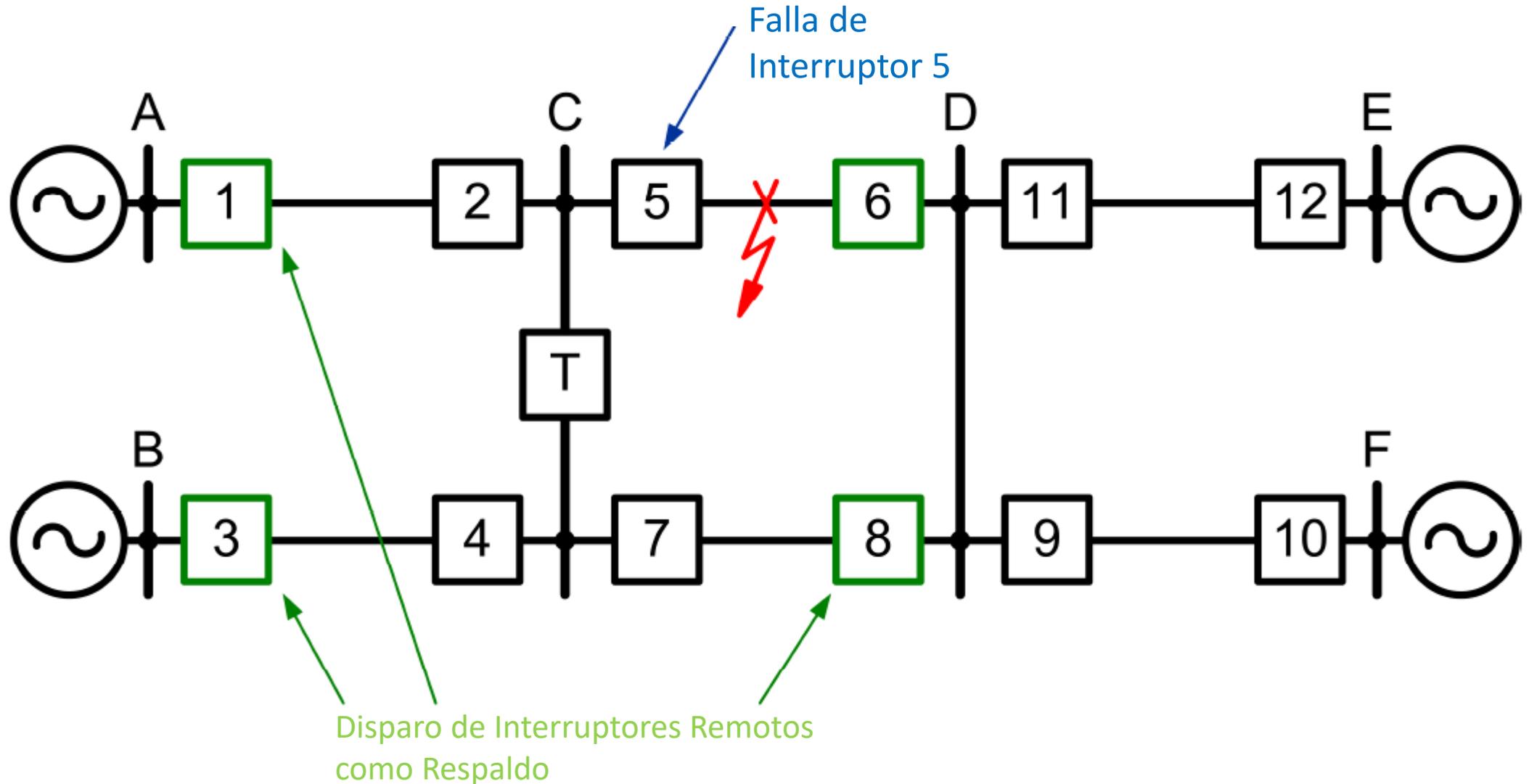
Traslape de Zonas de Protección



Protección de Respaldo

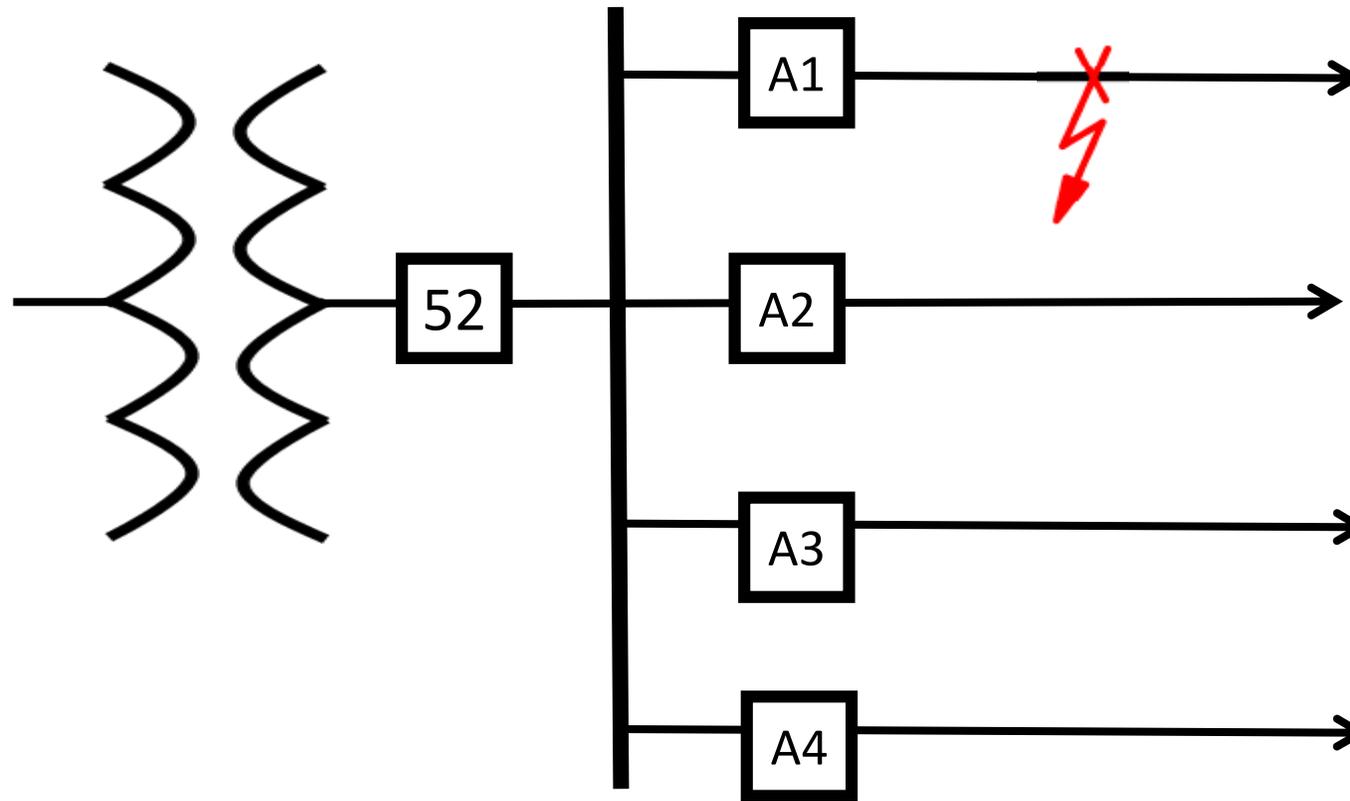


Protección de Respaldo

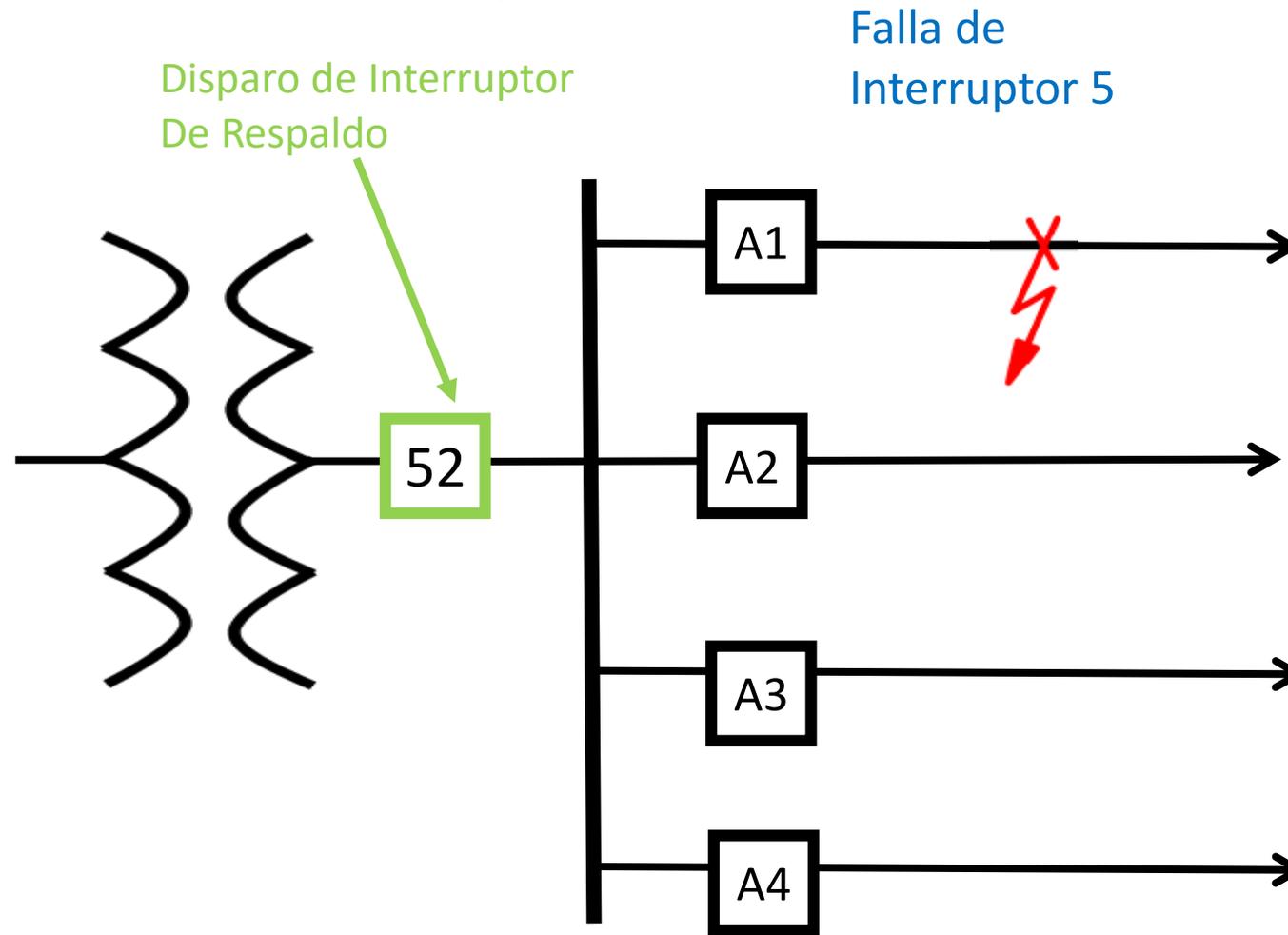


Protección de Respaldo

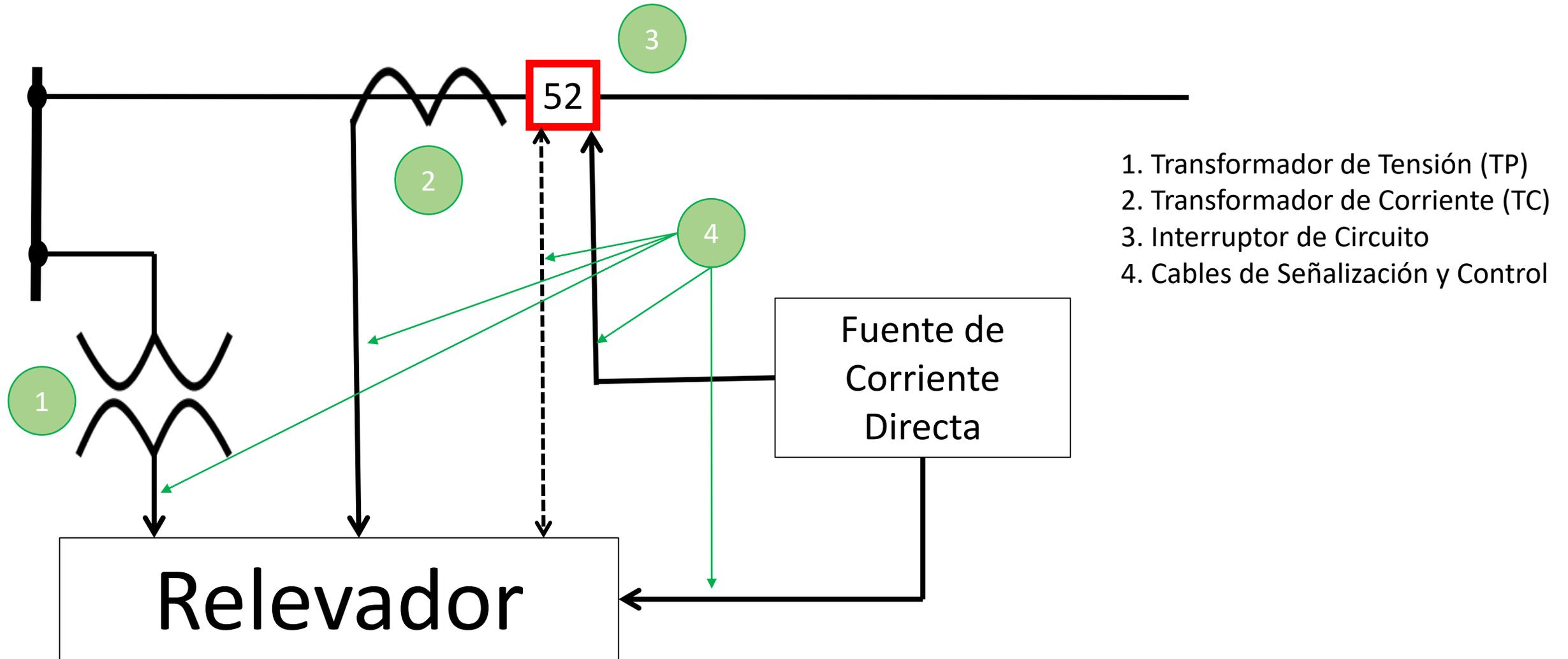
Falla de
Interruptor 5



Protección de Respaldo



Sistema de Protección por Relevador



Transformador

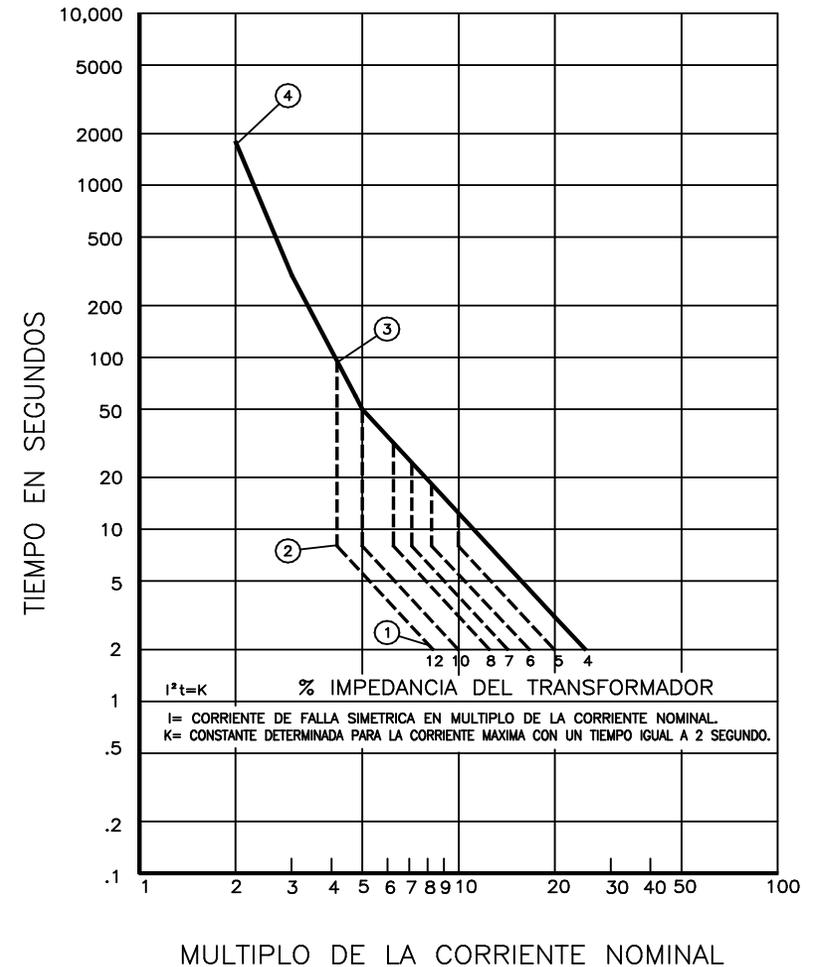
- Este equipo es el elemento más importante y costoso de una Subestación, se encuentra en todos los niveles de tensión. El diseño de los esquemas de protección de transformadores es un tema bastante amplio y toma en cuenta aspectos propios del equipo como son: capacidad, tensión, tipo, conexión y aplicación, así como el principio de detección de fallas eléctricas, mecánicas y térmicas.



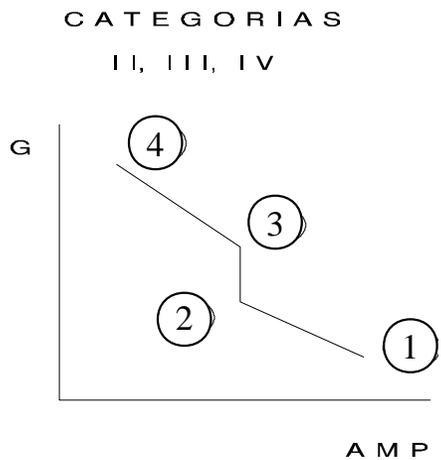
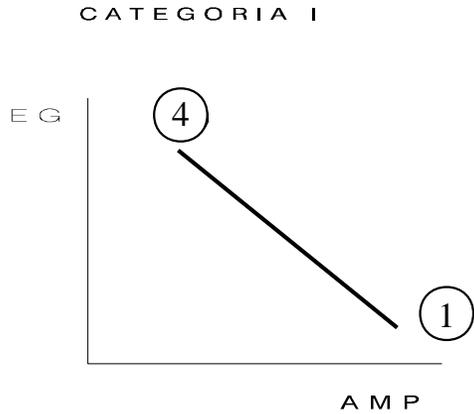
Clasificación de los Transformadores

CATEGORÍA	CAPACIDAD MÍNIMA EN KVA	
	MONOFASICO	TRIFASICO
I	5 - 500	15 - 500
II	501 - 1667	501 - 5000
III	1667 - 10000	5001 - 30000
IV	> 10000	> 30000

CURVA PARA FALLAS FRECUENTES Y NO FRECUENTES



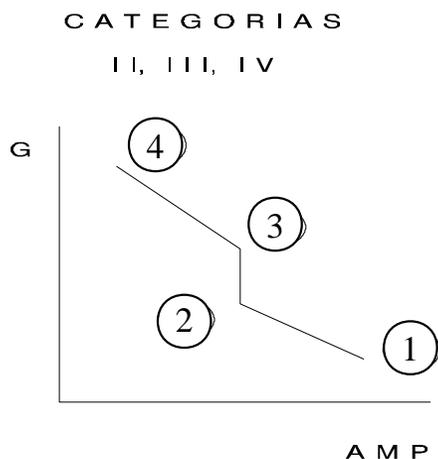
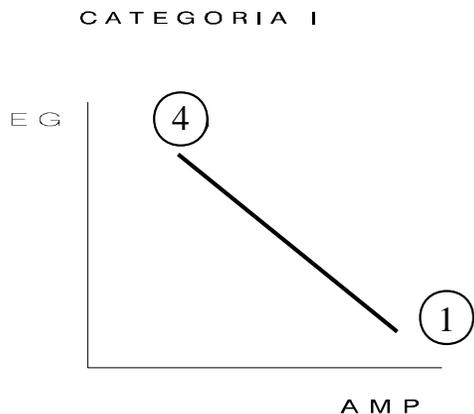
Curva de Daño Transformadores



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



Curva de Daño Transformadores



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

TRANSFORMADOR

No. SERIE G2878-01, C

60 HERTZ, 1000 M.S.N.M. NUCLEO TIPO

IMPEDANCIA @ 75°C, 60 Hz, RELACION DE VOLTAJE 115000-13800

IMPEDANCIA PROBADA			PERDIDAS MEDIDAS EN kW		
% Z	TEMP. °C	KVA BASE	kV BASE	Pfe.	PCu.
9.184	75	18 000	115 - 138	17.510	39.300
9.184	75	24 000			70.023
9.171	75	30 000			109.812
9.171	85	33 600			141.952

NIVEL BASICO DE IMPULSO ONDA COMPLETA (kV)

	A.T.	B.T.	X0
BOQUILLA	650	125	125
DEVANADO	550	110	110

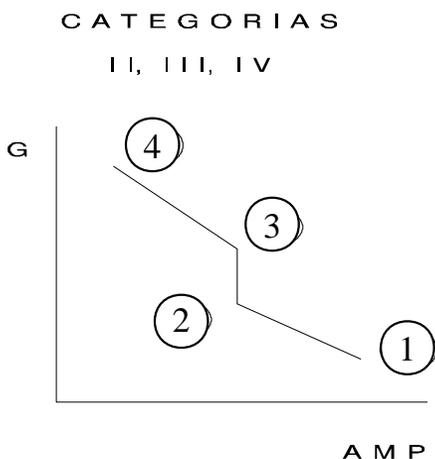
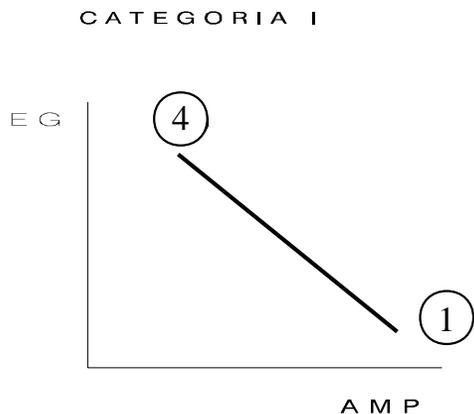
IMPEDANCIA MEDIDA EN LAS POSICIONES EXTREMAS DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

KVA BASE	kV BASE	POSICION MINIMA	POSICION MAXIMA
18000	115.000		
% Z 9.184			
% Z 9.171			

VALOR MEDIDO RESISTENCIA DE AISLAMIENTO @ 20 °C 2.5 kV

A.T. CONTRA B.T. Y TIERRA	32800	Mega Ω
B.T. CONTRA A.T. Y TIERRA	26050	Mega Ω
A.T. CONTRA B.T.	48610	Mega Ω

Curva de Daño Transformadores



PUNTO	CATEGORIA	TIEMPO	CORRIENTE	
1	I	$T = 1250(Zt)^2$	$I = \frac{\ln}{Zt}$	8141.24939
	II, III, IV	$T = 2$		
2	II	$T = 4.08$	$I = \frac{\ln}{Zt} \times 0.7$	2892.61048
	III, IV	$T = 8.0$	$I = \frac{\ln}{Zt + Zs} \times 0.5$	
3	II	$T = 2551 \times (Zt)^2$	$I = \frac{\ln}{Zt} \times 0.7$	2892.61048
	III, IV	$T = 5000 \times (Zt + Zs)^2$ 85.2752431	$I = \frac{\ln}{Zt + Zs} \times 0.5$	
4	I, II, III, IV	$T = 50$	$I = \ln \times 5$	3765.32784
PARTE DE LA CURVA TERMICA	I, II, III, IV	$T = 60$	$I = \ln \times 4.75$	3577.06145
		$T = 300$	$I = \ln \times 3$	2259.19671
		$T = 1800$	$I = \ln \times 2$	1506.13114

TRANSFORMADOR
No. SERIE G2878-01,
60 HERTZ, 1000 M.S.N.M. NUCLEO TIPO

IMPEDANCIA @ 75°C, 60 Hz, RELACION DE VOLTAJE 115000-13

IMPEDANCIA PROBADA			PERDIDAS MEDIDAS EN kW		
% Z	TEMP. °C	KVA BASE	kV BASE	Pfe.	PCu.
9.185	75	18 000	115 - 13.8	17.510	39.300
9.189	75	24 000			70.023
15.227	75	30 000			109.812
17.036	85	33 600			141.952

NIVEL BASICO DE IMPULSO ONDA COMPLETA (kV)

	A.T.	B.T.	X0
BOQUILLA	650	125	125
DEVANADO	550	110	110

IMPEDANCIA MEDIDA EN LAS POSICIONES EXTREMAS DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

KVA BASE	kV BASE
18000	115000
% Z 9.184	POSICION MINIMA
% Z 9.171	POSICION MAXIMA

VALOR MEDIDO RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

°C	kV
20	2.5
A.T. CONTRA B.T. Y TIERRA	32800 Mega Ω
B.T. CONTRA A.T. Y TIERRA	26050 Mega Ω
A.T. CONTRA B.T.	48610

Zth(+)=	0.058444	0.209281	p.u.
Zth(0)=	0.09739	0.3769	p.u.

Conductores y Líneas (LST)

TABLA 3-4.- CALIBRES UTIL

REDES AÉREAS DE SUBTRANSMISIÓN

TENSION ELECTRICA PREFERENTE (KV)	CALIBRE (KCM/AWG)	MATERIAL	CAPACIDAD MÁXIMA (AMP)	EQUIVALENTE EN CONDUCTIVIDAD	APLICACIÓN ZONAS
115	900	ACSR	1240	Cu-750	Sin corrosión
115/69	795	ACSR	1090	Cu-500	Sin corrosión
115/69	477	ACSR	810	Cu-250	Sin corrosión
115/69	496.4	ACSR/AS	810	Cu-250	Con corrosión
	336.4	ACSR	530	Cu-4/0	Sin corrosión
	350.1	ACSR/AS	530	Cu-4/0	Con corrosión
	266	ACSR	460	Cu-3/0	Sin corrosión
69	277.7	ACSR/AS	460	Cu-3/0	Con corrosión
	3/0	ACSR	300	Cu-1/0	Sin corrosión
	3/0	ACSR/AS	300	Cu-1/0	Con corrosión
	1/0	ACSR	230	Cu-2	Sin corrosión
	1/0	ACSR/AS	230	Cu-2	Con corrosión

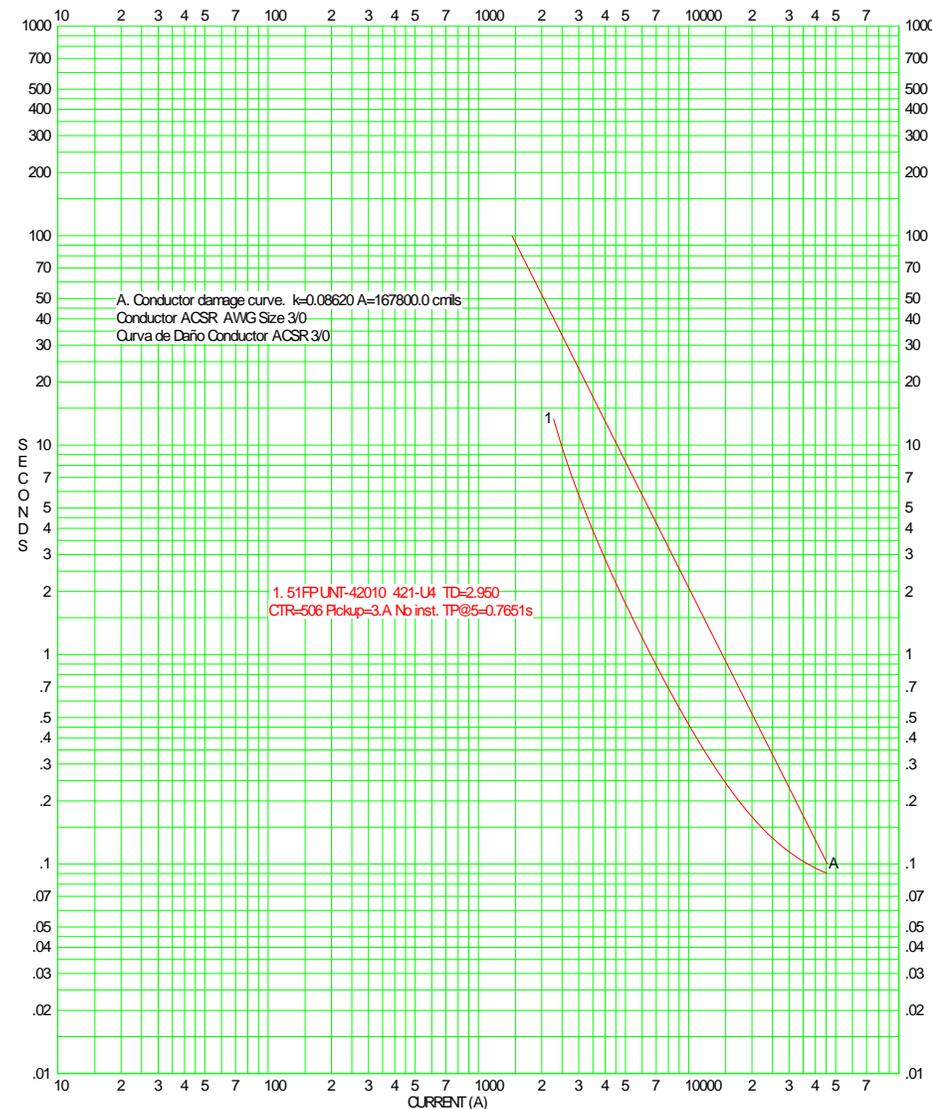


La ampacidad esta basada en temperatura máxima de diseño de 75° C, temperatura ambiente 25° C.

Conductores v Líneas (MT)

TABLA 3-5.- CALIBRES UTILIZADOS EN CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN AÉREOS

TENSION ELECTRICA PREFERENTE (KV)	CALIBRE (KCM/AWG)	MATERIAL	CAPACIDAD MÁXIMA (AMP)	APLICACIÓN
34.5-23-13.8	336	ACSR	530	Troncales
	336	AAC	500	Troncales
	266.8	ACSR	460	Troncales
	266.8	AAC	430	Troncales
	3/0	Cu	420	Troncales
	3/0	ACSR	300	Troncales -Ramales
	3/0	AAC	300	Troncales -Ramales
	1/0	Cu	310	Troncales -Ramales
	1/0	ACSR	230	Troncales -Ramales
	1/0	AAC	245	Troncales -Ramales
	2	Cu	230	Troncales -Ramales
	2	ACSR	180	Ramales
	4	Cu	170	Ramales
	4	AAC	120	Ramales
	6	Cu	120	Ramales
	8	Cu	90	Ramales



Conductores y Líneas (BT)

MATERIAL	CALIBRE (AWG)	CAPACIDAD MÁXIMA (AMP)	APLICACIÓN
DESNUDOS			
ACSR	3/0	300	líneas aéreas y no arboladas
AAC	3/0	300	
Cu	1/0	310	
ACSR	1/0	230	
AAC	1/0	245	
Cu	2	230	
ACSR	2	180	
Cu	4	170	
Cu	6	120	
AAC	4	120	
Cu	8	90	
FORRADOS			
Múltiple-Cu (3+1) y (2+1)	3/0	310	líneas aéreas y zonas arboladas preferentemente
Múltiple-Al (3+1) y (2+1)	3/0	300	
Múltiple-Cu (3+1) y (2+1)	1/0	230	
Múltiple-Al (3+1) y (2+1)	1/0	245	
Múltiple-Cu (3+1) y (2+1)	2	170	
Múltiple-Al (3+1) y (2+1)	2	160	
Forrado Cu	3/0	310	
Forrado Cu	1/0	230	
Forrado Cu	2	170	

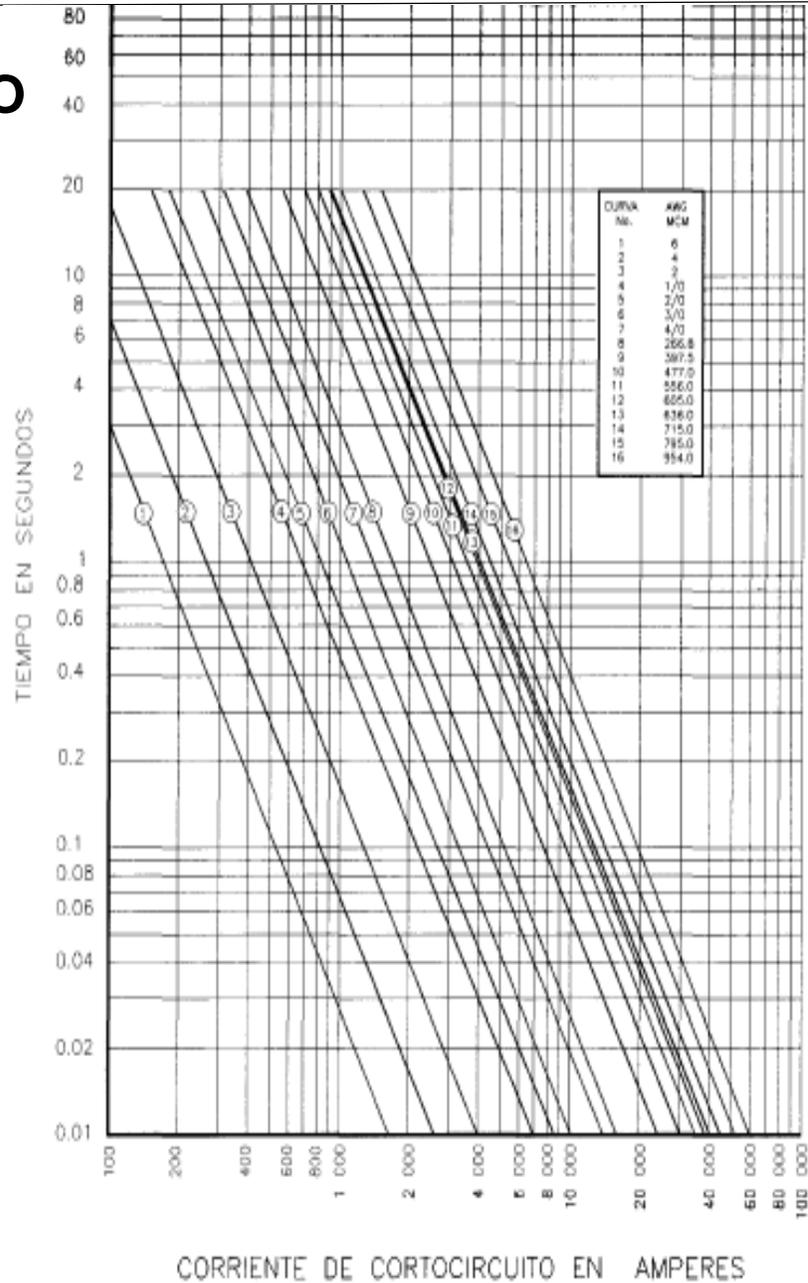
Conductores y Líneas (Acometidas)

CONDUCTORES DE COBRE			
DESIGNACIÓN	CONDUCTOR DE FASE CALIBRE AWG	CONDUCTOR MENSAJERO CALIBRE AWG	CAPACIDAD EN AMPERES
(1+1)	6-10	10	30
(1+1)	8	8	45
(1+1)	4	4	85
(2+1)	8	8	45
(2+1)	6	6	65
(2+1)	4	4	85
(2+1)	1/0	4	230
(3+1)	8	8	45
(3+1)	4	4	85
(3+1)	2	4	170
(3+1)	1/0	2	230
(3+1)	3/0	1/0	3/0
CONDUCTORES DE ALUMINIO			
(1+1)	6	6	45
(2+1)	6	6	45
(2+1)	2	2	65
(2+1)	1/0	1/0	170
(3+1)	6	6	45
(3+1)	4	4	65
(3+1)	2	2	85
(3+1)	1/0	2	170
(3+1)	3/0	1/0	230

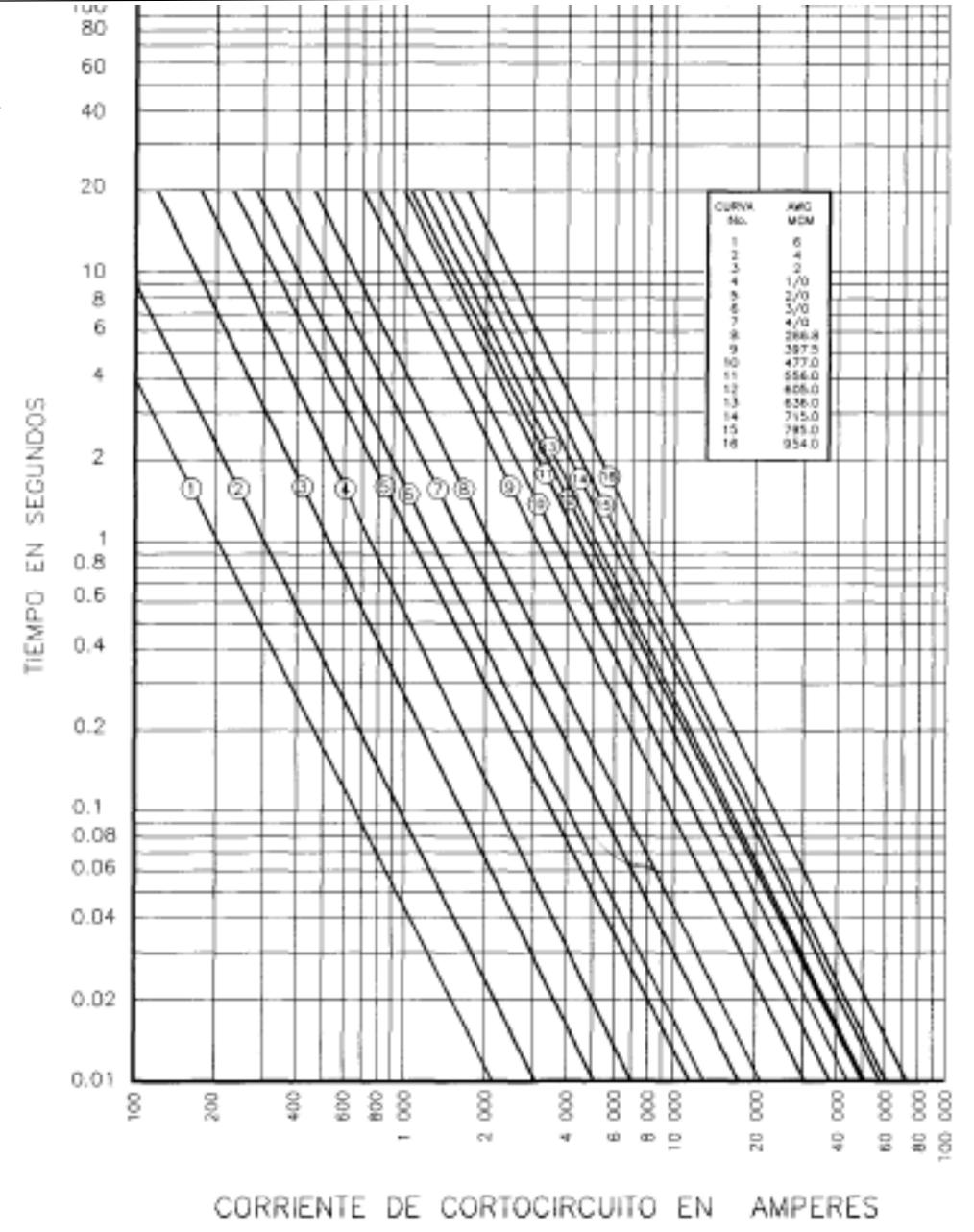
Sistemas Subterranos

CONDUCTORES DE COBRE Y ALUMINIO				
VOLTAJE KV	MATERIAL AISLANTE	CALIBRE AWG-KCM		APLICACIÓN
115-69	ETILENO-PROPILENO O PROPILENO DE CADENA CRUZADA	1250		LÍNEAS DE SUBTRANSMISION SUBTERRÁNEAS
		1000		
		750		
		500		
35-25-15	ETILENO-PROPILENO O PROPILENO DE CADENA CRUZADA	1/0		CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEOS
		2/0		
		3/0		
		4/0		
		250		
		350		
		500		
		600		
		750		
		900		
1000				
CONDUCTORES DE ALUMINIO				
VOLTAJE KV	MATERIAL AISLANTE	FASE	NEUTRO	APLICACIÓN
0.240-0.127	POLIETILENO CADENA CRUZADA EN CONFIGURACIÓN UNIPOLAR, DUPLEX, TRIPLEX O CUADRUPLEX	4	4	ACOMETIDAS Y REDES SECUNDARIAS
		2	4	
		1/0	2	
		2/0	2	
		3/0	1/0	
		4/0	2/0	
250	3/0			

COBRE DESNUDO

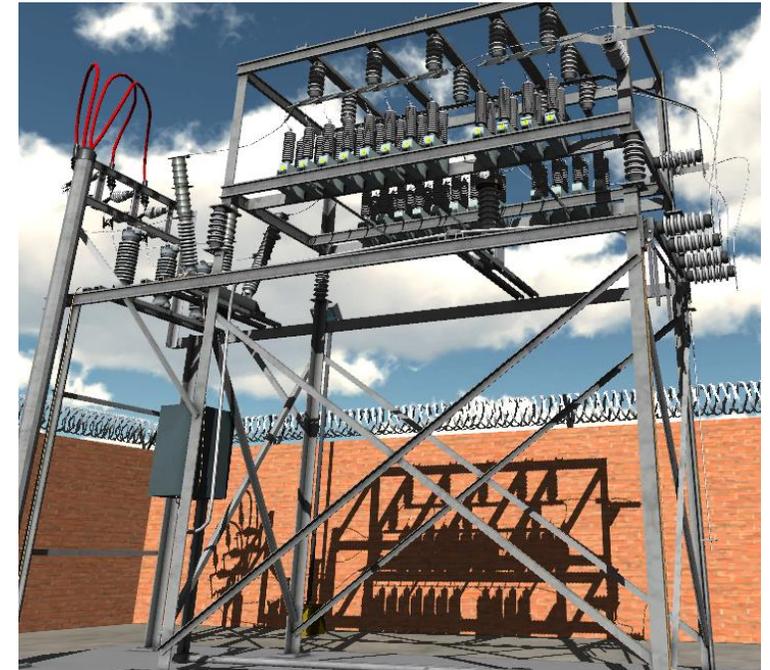


ACSR



Capacitores

El valor limite de ruptura del tanque de un capacitor es un factor se debe considerar para la selección de la protección de bancos y unidades de capacitores. Los fabricantes proporcionan gráficas tiempo-corriente donde se encuentran trazadas las curvas de probabilidad de ruptura de tanques debido a arcos internos.



Capacitores

Estas gráficas están en función de la capacidad de la unidad de referencia y están formadas por las siguientes zonas.

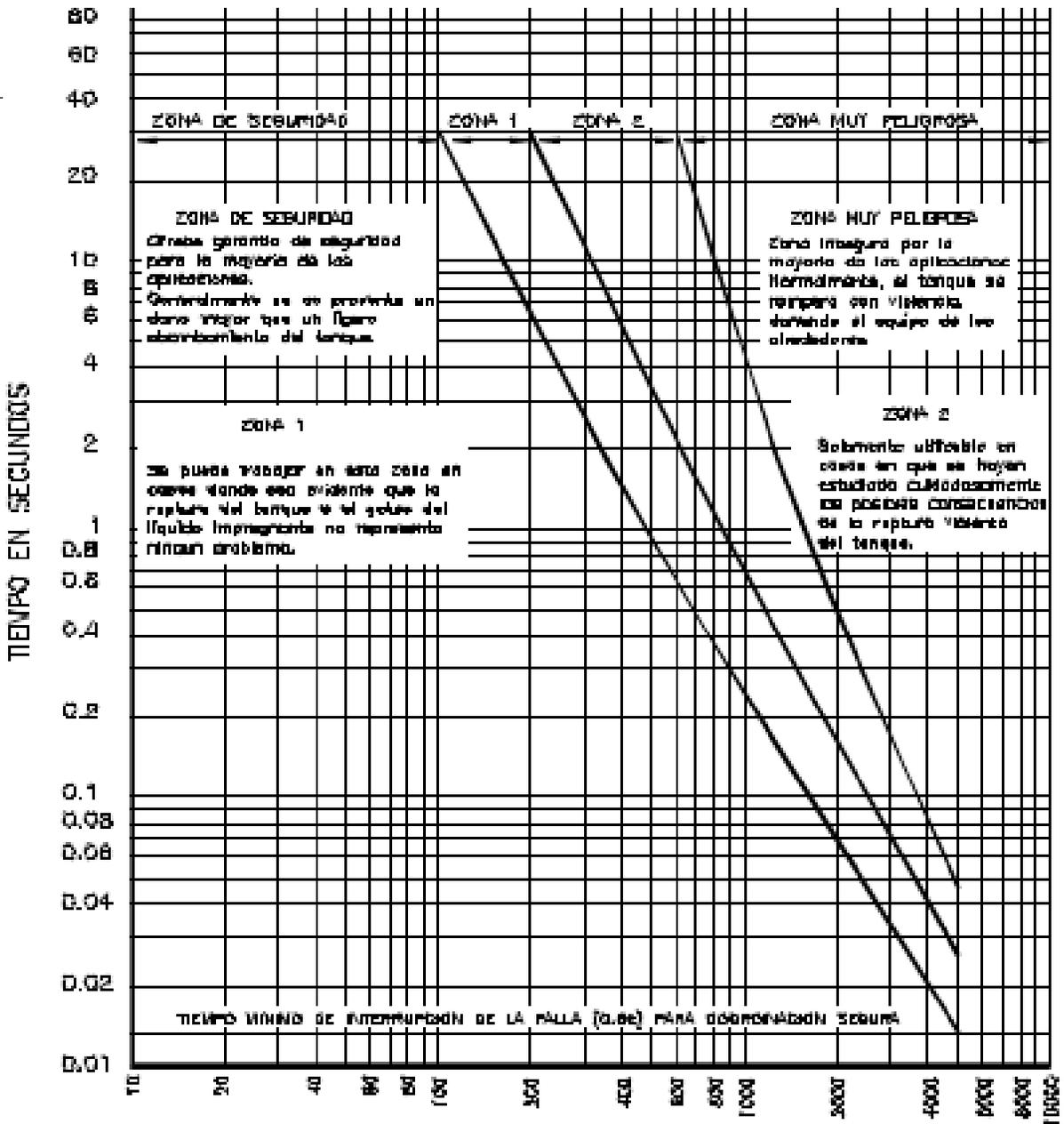
Zona segura: Incluye un daño no mayor que una ligera deformación del empacquetamiento.

Zona uno: Es adecuada para instalaciones donde la ruptura y/o filtraciones no representa peligro (probabilidad de ruptura del 10 al 50%).

Zona dos: Debe ser seleccionada cuidadosamente, representa una zona donde la ruptura del tanque es violenta (probabilidad de ruptura del 50 al 90 %).

Zona peligrosa: El riesgo de daño a las unidades adyacentes es elevado por la ruptura violenta del tanque.

Capacitores



CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN AMP. (CORRIENTE EFICAZ +)
CURVA DE DAÑO

Reguladores

Actualmente los reguladores de voltaje se fabrican de acuerdo a las normas ANSI C57.15 y a especificación CFE VF000-34.

Los reguladores están diseñados para resistir 25 veces la corriente nominal por un período de 2 segundos y 40 veces por un período de 0.8 segundos en corriente nominal, en caso de tener mayores valores de cortocircuito será indispensable instalarle reactores o en su defecto cambiar los reguladores



Reguladores



RANGO DE REGULACIÓN EN PORCIENTO	CAPACIDAD DE CORRIENTE EN PORCIENTO	TIEMPO EN SEGUNDOS QUE SOPORTA 25 VECES LA CORRIENTE NOMINAL	TIEMPO EN SEGUNDOS QUE SOPORTA 40 VECES LA CORRIENTE NOMINAL
10.00	100	2.0	0.8
8.75	110	1.7	0.6
7.50	120	1.4	0.5
6.25	135	1.1	0.4
5.00	160	0.8	0.3

Reguladores

Sin embargo es de suma importancia el conocer el nivel máximo de corto circuito monofásico y trifásico que podrá originarse en el punto de instalación ya que en gran medida la selección de la capacidad de regulador será en base al nivel de corto circuito.

Por lo anterior los interruptores o restauradores del circuito en donde se instalen los reguladores, deben estar coordinados en tal forma que desconecten el circuito en un tiempo menor que los mencionados, evitando así la destrucción del devanado serie de los reguladores.

Reguladores

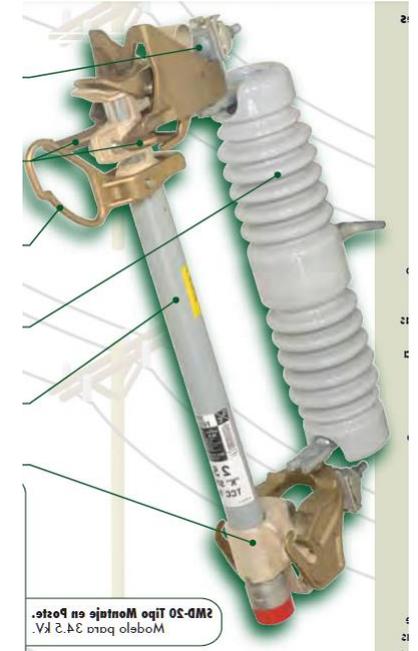
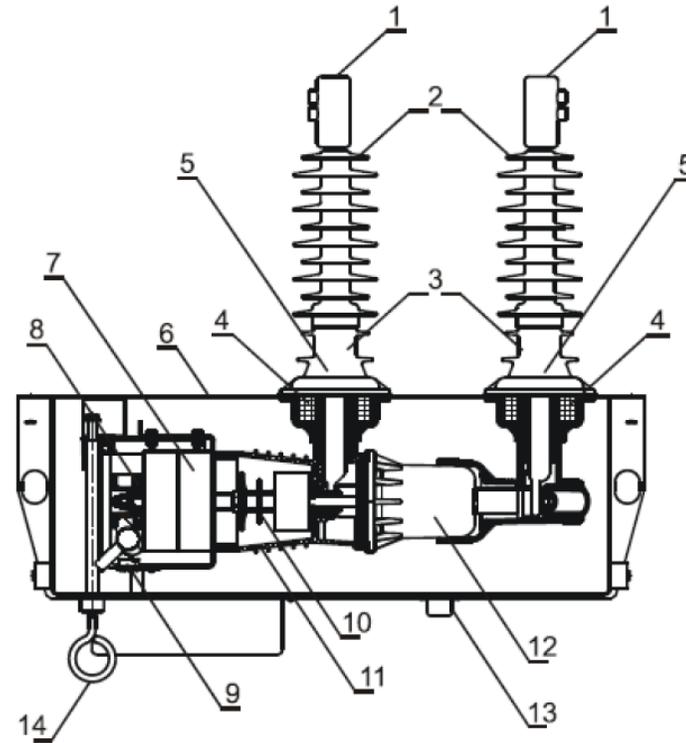
Deberá de tomarse en cuenta la carga que tendrá como máximo al instalarse el juego de reguladores y la cual no debe de exceder del 70 % de su capacidad nominal con el fin de tener disponibilidad de carga que en el futuro entrara. Por ningún motivo el cambiador de derivaciones puede estar sujeto a una Sobre temperatura mayor de 65 grados centígrados.

Condiciones Anormales y Transitorias

- Sobrecorrientes: Sobrecargas y Fallas Externas.
- Operación desbalanceada del Sistema
- Voltajes y/o Frecuencias fuera de rango
- Oscilaciones de Potencia
- Corrientes de inrush de transformadores
- Corrientes de Carga-Fría (Cold-Load)

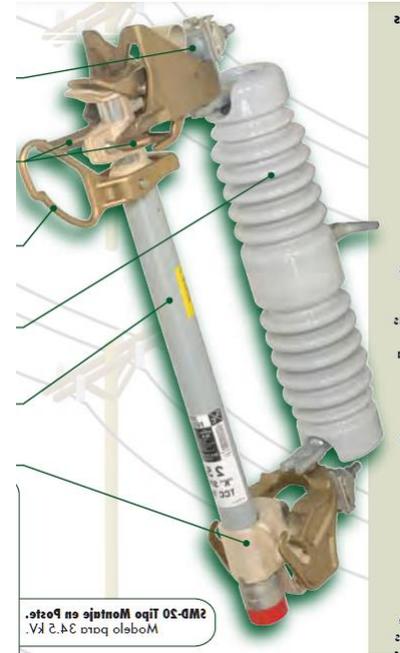
Dispositivos de Protección en Sistemas de Distribución.

- Fusible
- Restaurador
- Seccionalizador
- Interruptor-Relevador



Fusible

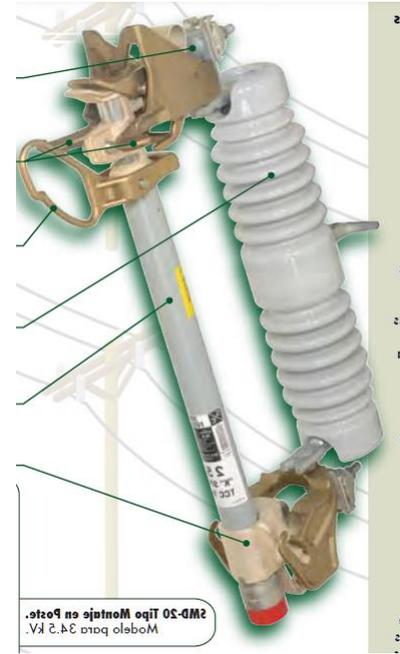
Tomando en consideración la tensión de diseño los fusibles están clasificados según la (IEEE) en fusibles para baja tensión de 125 a 2300 volts y fusibles para alta tensión de 2300 a 161,000 volts, esta última categoría incluye a los fusibles con rango de tensión intermedia, a su vez estos fusibles están subdivididos en fusibles para distribución y fusibles de potencia.



Fusible

De acuerdo a la norma ANSI C37.100-1972 los cortacircuitos fusibles son identificados por las características siguientes:

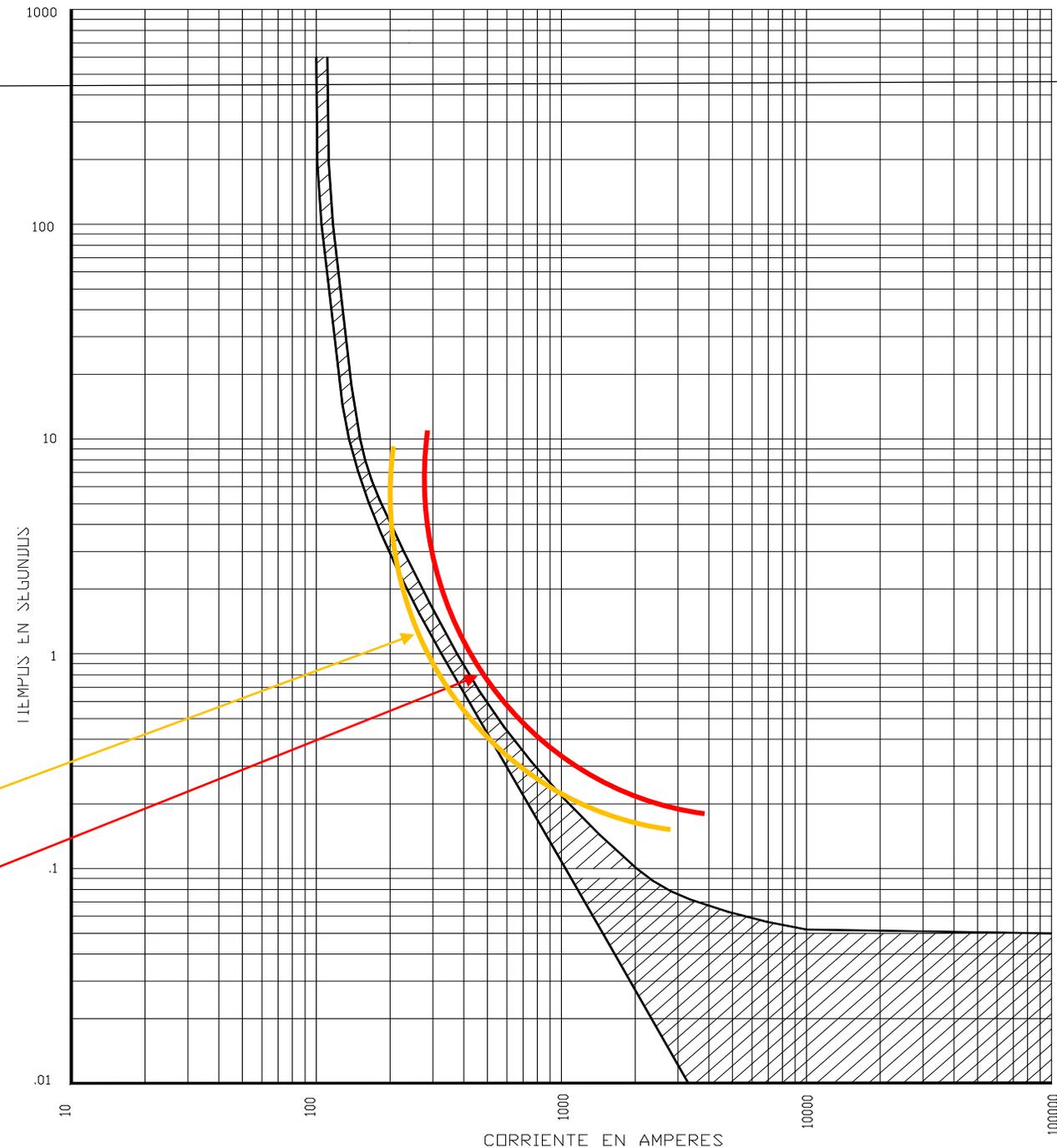
- Tensión de operación.
- Tensión máxima de diseño.
- Nivel básico de impulso.
- Frecuencia de operación.
- Corriente nominal.
- Capacidad interruptiva.



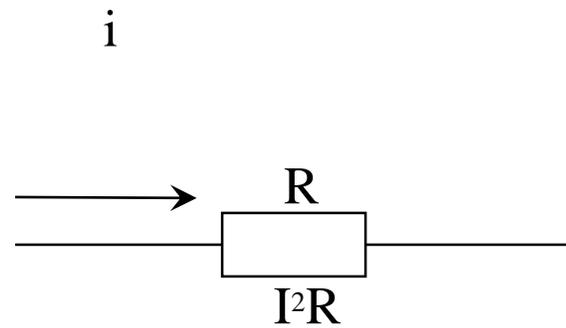
Fusible

En la figura se muestran a manera de ilustración las características MMT y MCT para un fusible de potencia de 50 A, velocidad lenta (SMD-2B, curvas 119-1 y 119-1-9, S&C).

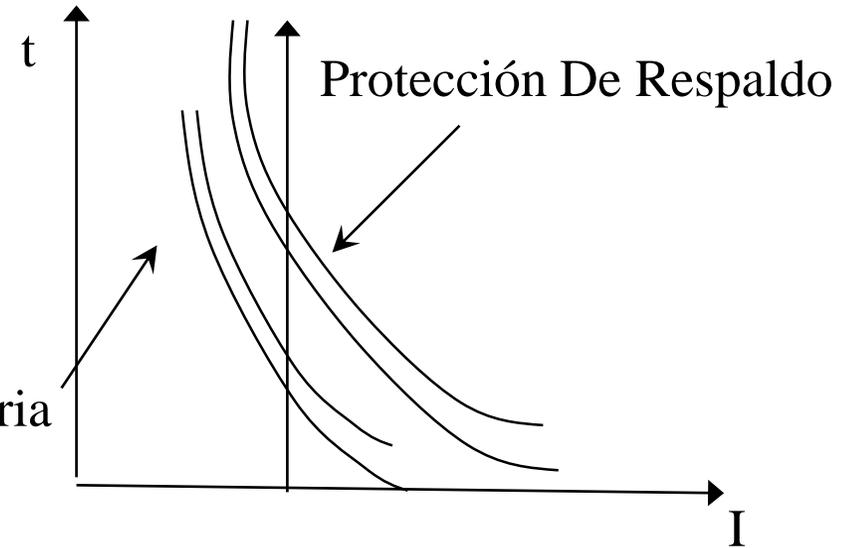
- MMT (Minimum Melting Time)
- MCT (Total Clearing Time)



FUSIBLE



Protección Primaria



MCT (*Maxim clearing time*) .- *Tiempo máximo de limpieza, apertura, despeje.*

MMT (*Minimum melting time*) *Tiempo mínimo de fusión calentamiento.*

Fusible

La curva del tiempo mínimo de fusión o **MMT (minimum melting time)** gráfica el tiempo en el cual el fusible comenzará a fundirse por la acción del paso de una corriente determinada. Dicha curva se usa para coordinar con dispositivos de protección que se encuentran después del fusible en el sentido de circulación de la corriente de falla.

Esta curva usualmente los fabricantes la trazan considerando una temperatura ambiente de 25 °C y operando el fusible sin carga inicial.

Fusible

La curva del tiempo máximo de limpieza o **MCT (total clearing time)** gráfica el tiempo total en que el fusible interrumpe la circulación de corriente hacia la falla, es decir toma en cuenta el tiempo desde el principio de la fusión y el desarrollo del arco eléctrico hasta que se extingue el arco totalmente. Esta curva se usa para coordinar con dispositivos de protección que se encuentran antes del fusible, en el sentido de circulación de la corriente hacia la falla. Esta curva al igual que la (MMT) se gráfica a 25° C y sin carga inicial, según las normas ANSI C37.41-1981 y su complemento la norma ANSI C37.46-1981.

FUSIBLE

I nominal.- Corriente normal de cargas (diseño de capacidad nominal) .

Donde :

I nominal ; X Tipo de Fusible

I sobrecarga.- Corriente máxima en régimen permanente que un fusible puede soportar sin alterar sus características

FUSIBLE

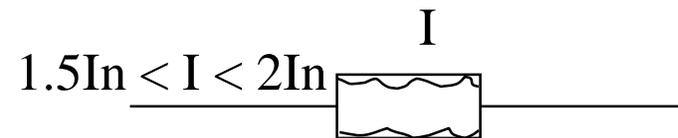
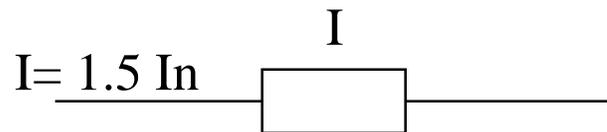
100 % Tipo N (banco de capacitores)

150% Tipo K , T , E.

I Mínima de Fusión:

150% Tipo N, capacitores

200% Tipo K , T , E.

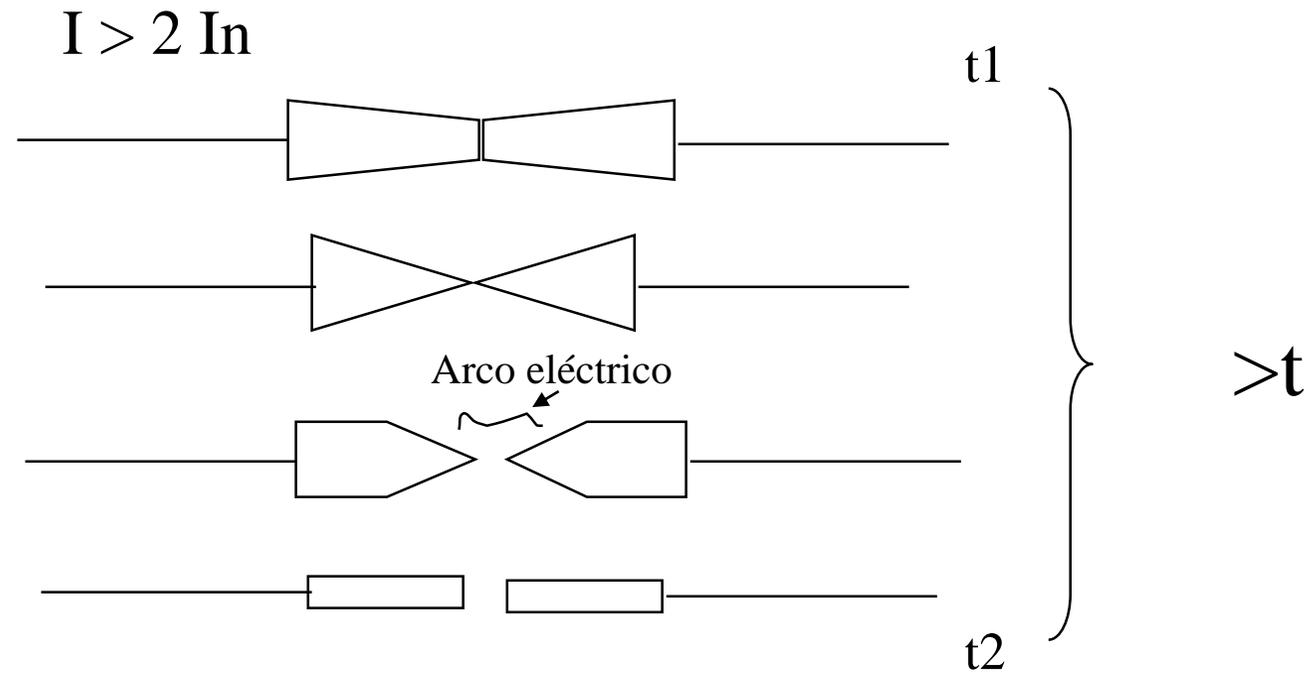


Tipo k rapidos en transformadores de distribucion

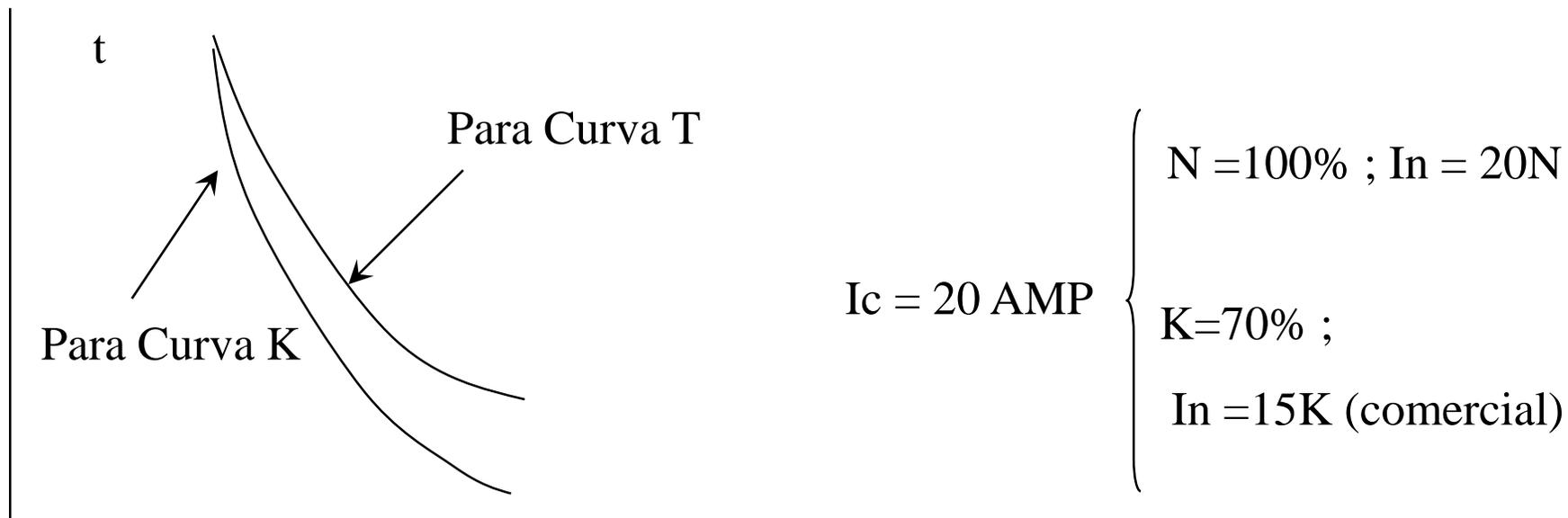
Tipo T lentos en redes areas de distribucion

Tipo E potencia: estándar, lenta, muy lenta

FUSIBLE



COMPARACION DE CURVAS K Y T DE LOS ELEMENTOS FUSIBLES



FUSIBLES 15 K

Tipo	I Nominal	I Sobrecarga	Imin. Disparo
K	15	(15X1.5) 22.5 amp	30 amp.

No es Recomendable Sobrecargar al Fusible de Potencia Debido a su Costo

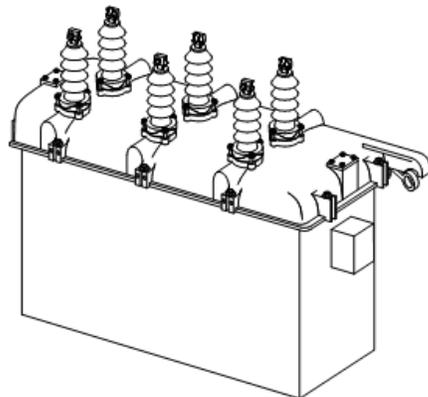
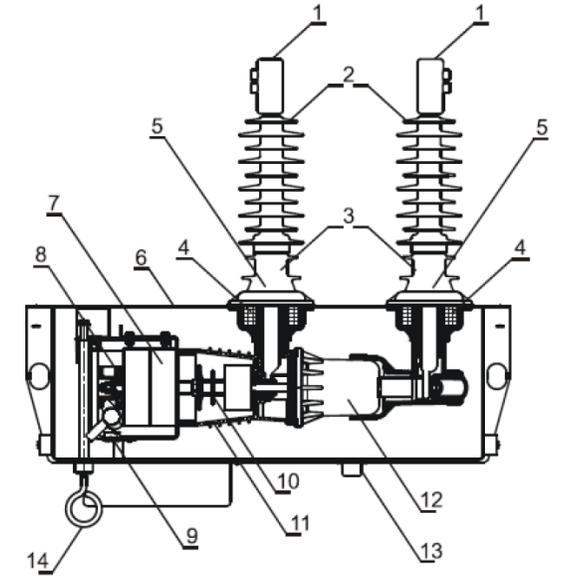
Restauradores

EL restaurador es un dispositivo electromecánico habilitado para sensibilizar e interrumpir en determinado tiempo, sobrecorrientes en un circuito debidas a la eventualidad de una falla, así como efectuar recierres automáticamente reenergizando el circuito. Después de una secuencia de operación de disparo-recierre y en caso de persistir la falla, nuevamente abrirá, recerrando por segunda ocasión. Esta secuencia de operación podrá llevarse a cabo, dependiendo del ajuste, hasta tres veces antes de la apertura y bloqueo final. La secuencia de operación realiza dos importantes funciones:

- Prueba la línea para determinar si la condición de falla ha desaparecido.
- Discrimina las fallas temporales de las permanentes.

Restauradores

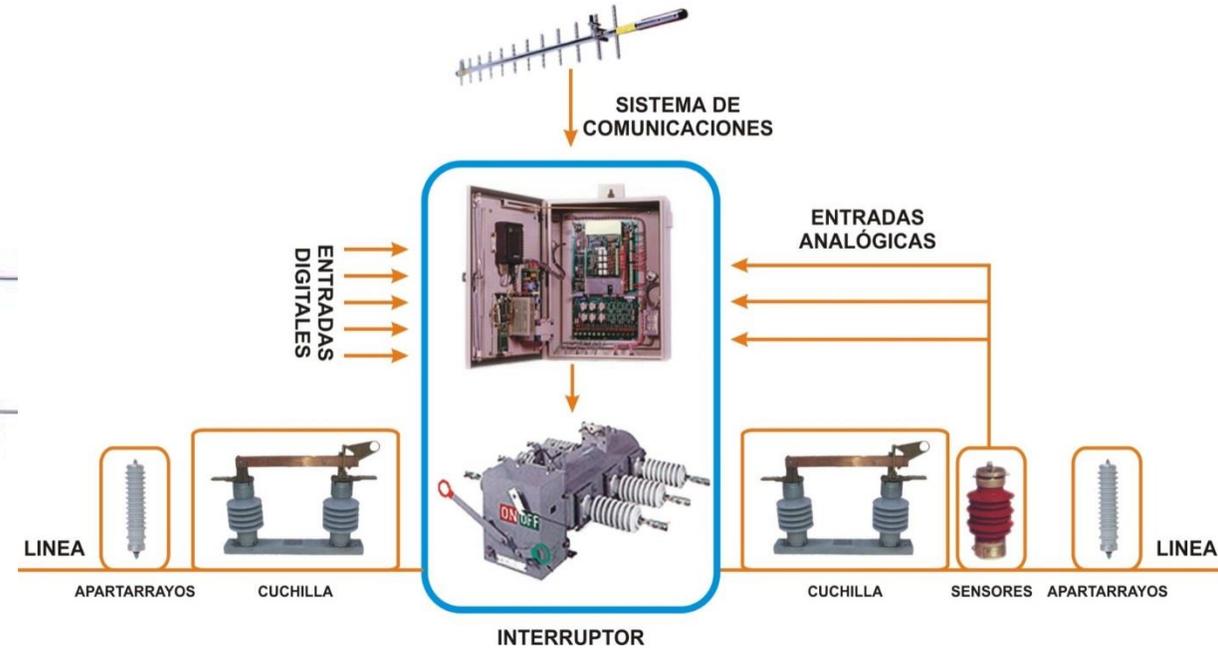
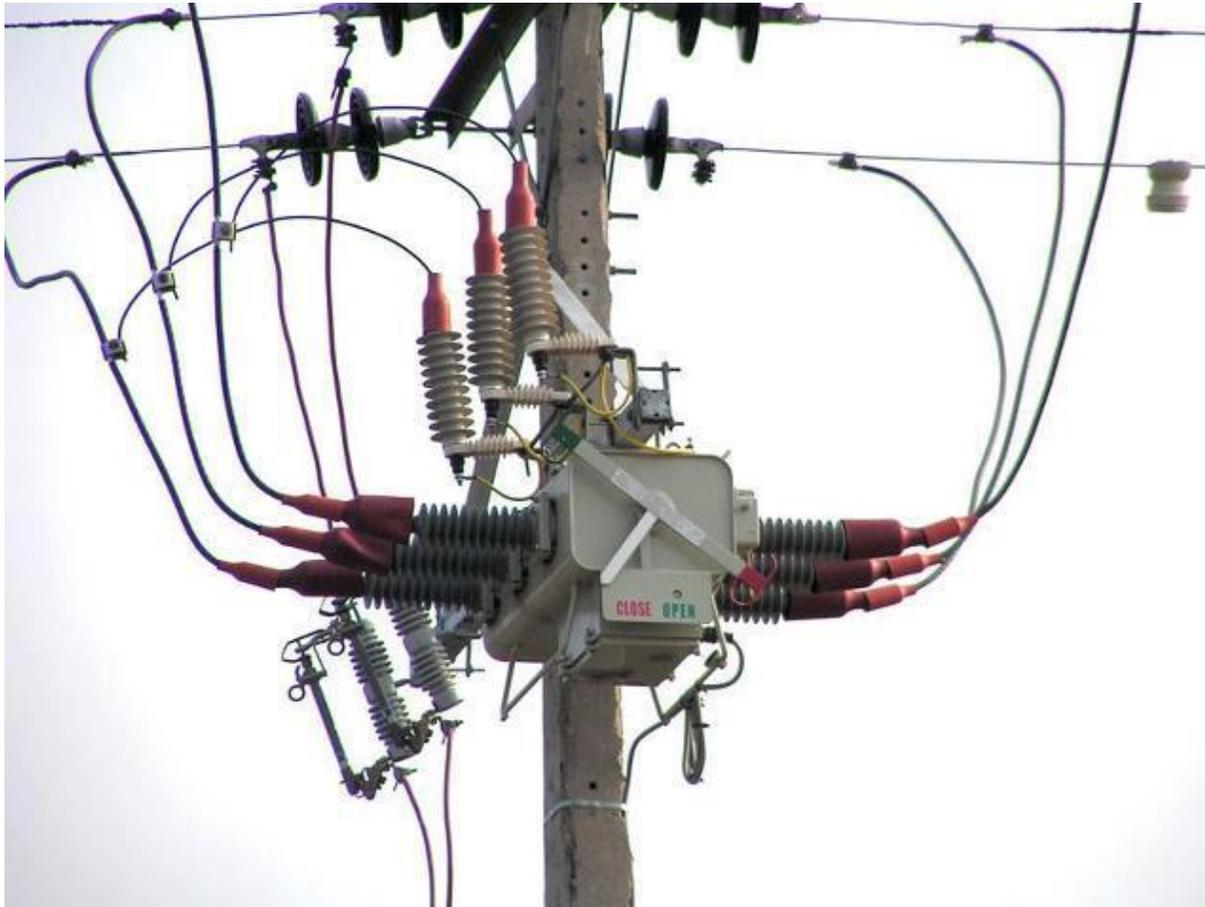
FALLAS EXPERIMENTADAS	RECIERRE EXITOSO	PORCENTAJE DEL TOTAL
896	PRIMERO	88.7 %
46	SEGUNDO	4.5 %
13	TERCERO	1.3 %
5	QUEDA ABIERTO	5.5 %
960	-----	100 %



Seccionalizadores

Aunque en estricto rigor un seccionalizador no es un dispositivo de protección, dadas sus muy especiales características operativas, lo hacen ser una excelente alternativa para resolver varios problemas que con referencia a la selectividad de un sistema de protecciones, frecuentemente llegan a presentarse durante el desarrollo de un estudio de coordinación de protecciones. Al carecer de una característica de operación tiempo-corriente, como el resto de los dispositivos de protección, el seccionalizador simplifica un estudio de coordinación de protecciones, ofreciendo amplias posibilidades de aplicación con reducidas limitaciones.

Seccionadores

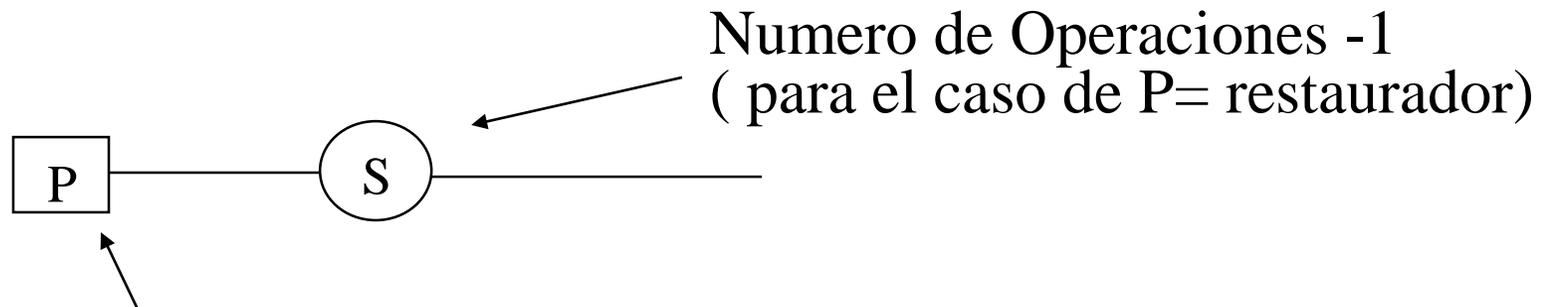


SECCIONALIZADOR

Inominal = Máxima Corriente de Carga Permanente

Iconteo = 160 % Inominal

Secuencia de Operación = 1 , 2 , o 3 Conteos



Equipo de Protección con Recierre Automático

Inominal = 1.3 x I carga máxima

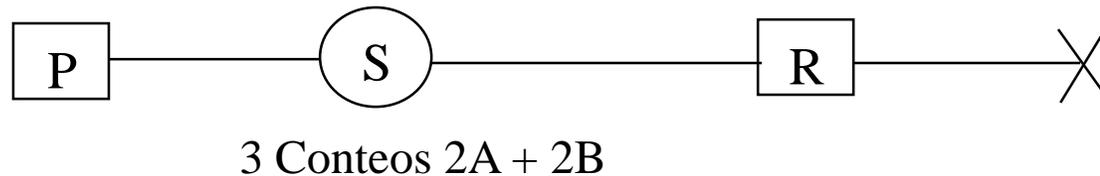
SECCIONALIZADOR

CONDICIONES PARA EFECTUAR UN CONTEO:

1.- Aparición de una Corriente Superior al 160% de la Inominal a través de la Bobina.

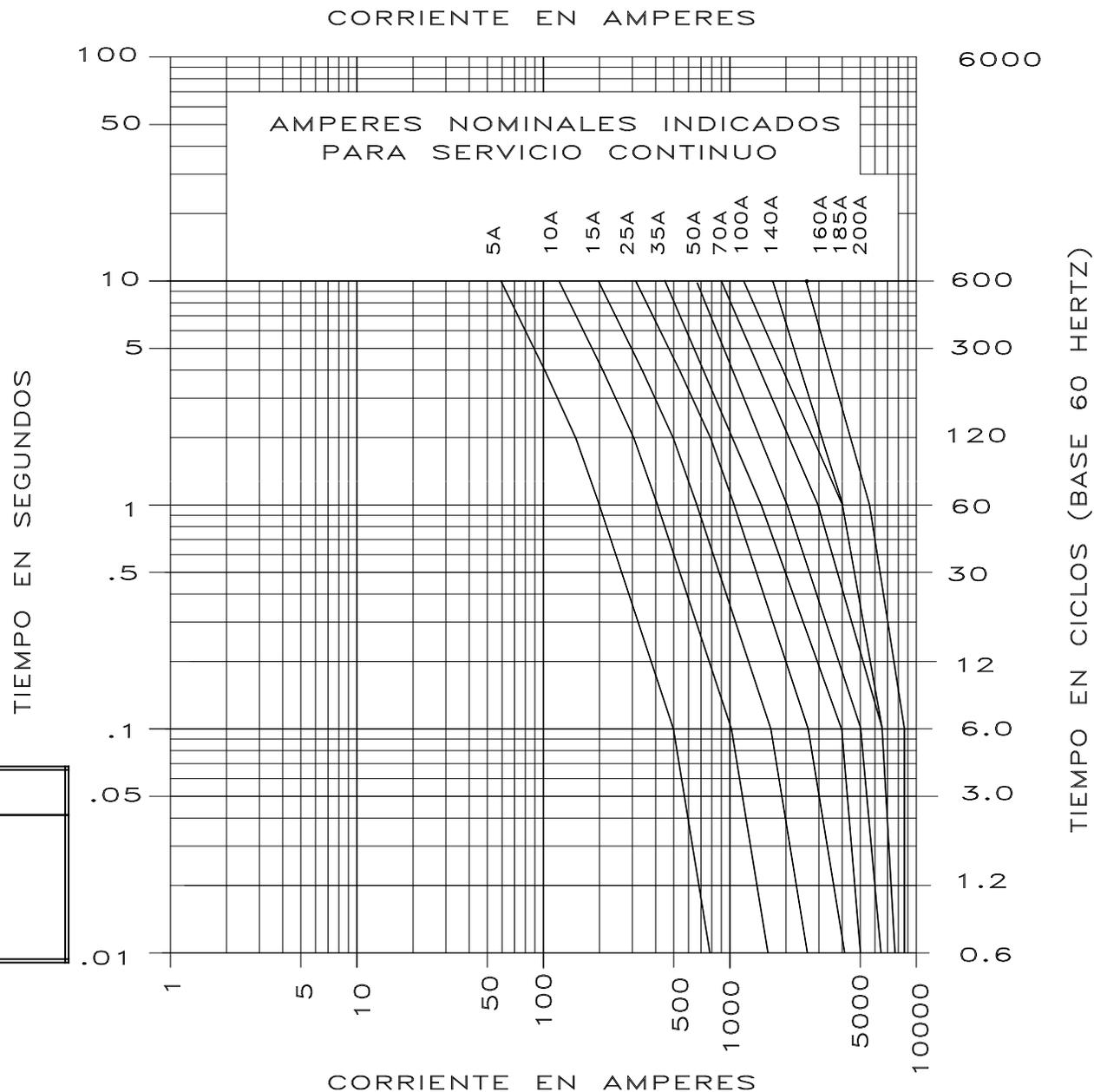
2.- Desaparición de esa Corriente.

No es Recomendable lo Siguiente:



Se Podría Utilizar Solo y Cuando Tuvieran un Elemento de Desaparición de Tensión (Bobina de Restricción de Tensión)

SECCIONALIZADOR CURVAS DE DAÑO PARA HIDRAULICOS



TIEMPO DE DURACION	CORRIENTE DE AGUANTE
10 SEG.	2500 A
3 SEG.	3200 A
1 SEG.	4000 A
0.25 SEG.	8600 A

Interruptor-Relevador

Los relevadores de protección son dispositivos que identifican condiciones anormales de operación del sistema. Estos son ajustados para operar bajo condiciones de falla, abriendo ó cerrando contactos propios o de sus auxiliares, para desconectar automáticamente los interruptores asociados al equipo fallado. Los relevadores proporcionan una indicación de su operación mediante banderas o señales luminosas.

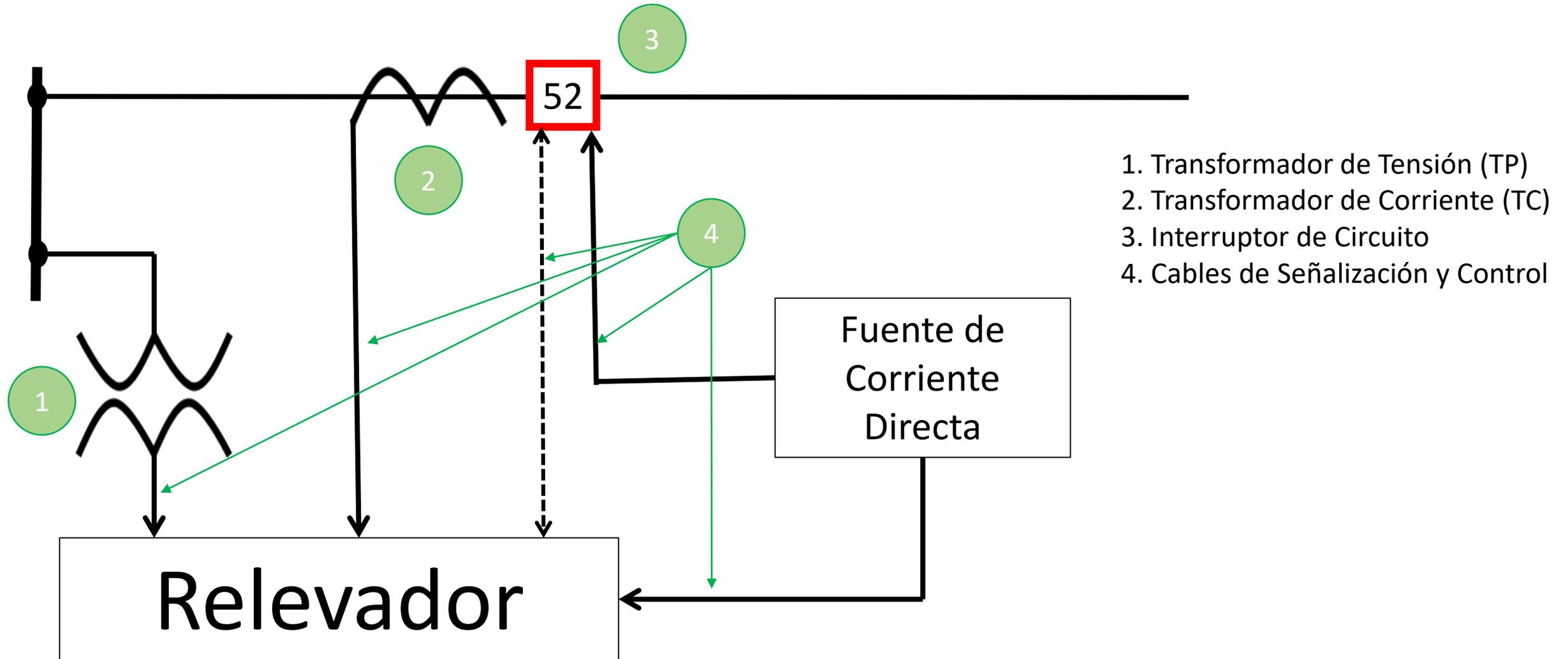


Interruptor-Relevador

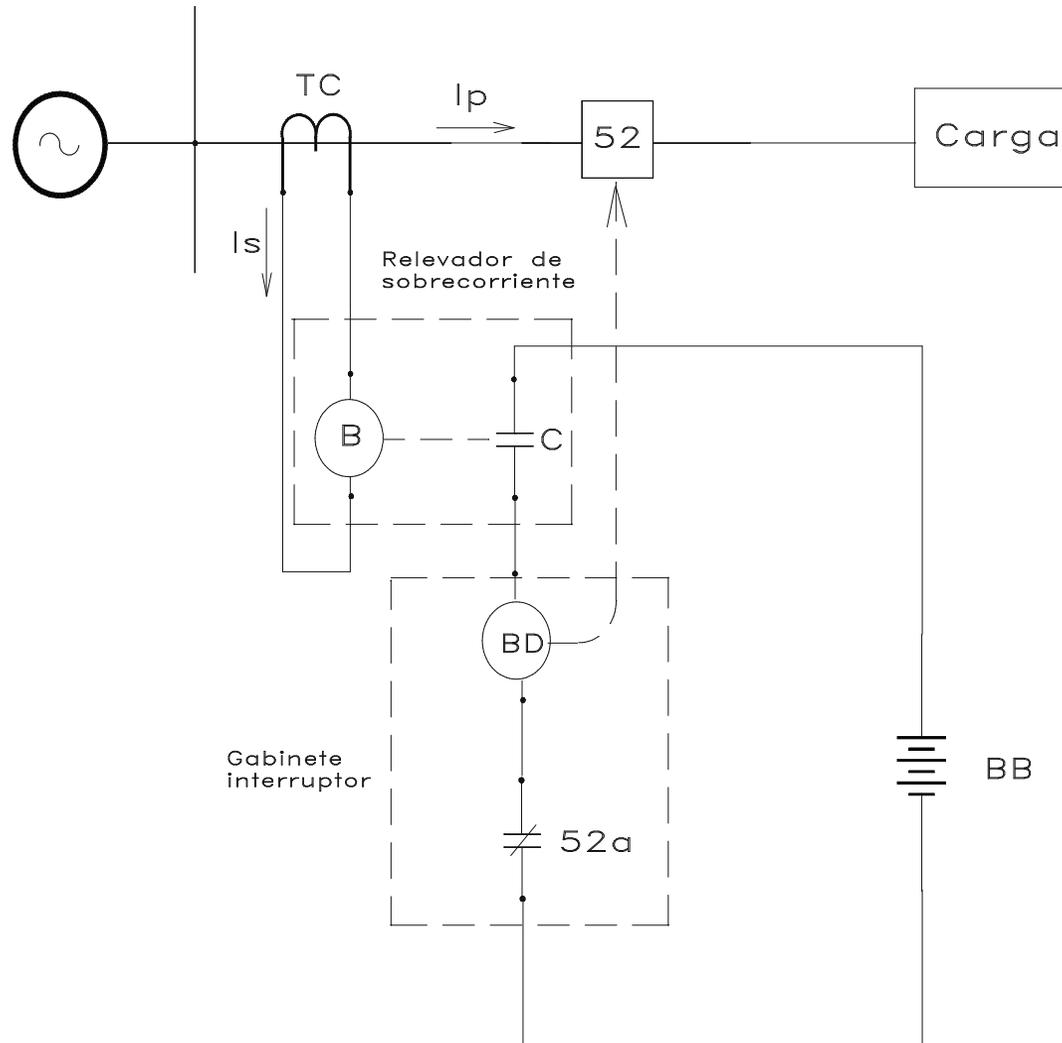
Los relevadores de protección son dispositivos que identifican condiciones anormales de operación del sistema. Estos son ajustados para operar bajo condiciones de falla, abriendo ó cerrando contactos propios o de sus auxiliares, para desconectar automáticamente los interruptores asociados al equipo fallado. Los relevadores proporcionan una indicación de su operación mediante banderas o señales luminosas (LEDs).



Sistema de Protección por Relevador



Sistema de Protección por Relevador



En la figura se representa en forma elemental un esquema de protección de sobrecorriente. El relevador recibe en su bobina de operación "B" la señal de corriente secundaria " I_s " del transformador de corriente "TC". Esta corriente es proporcional a la corriente primaria " I_p ". Cuando la corriente que censa el relevador, " I_s " es mayor al valor de arranque (puesta en operación, "pick-up"), su contacto "C" puede cerrarse en un tiempo instantáneo o retardado, y energizar la bobina de disparo "BD" del interruptor de potencia "52", para abrir y aislar del sistema la zona afectada. El contacto auxiliar (normalmente abierto) "52a", es utilizado para desenergizar la bobina de disparo una vez que éste ha ocurrido. El banco de baterías "BB" proporciona la energía confiable para abrir el interruptor.

Sistema de Protección por Relevador

En la mayoría de los tableros de protección, control y medición construidos hasta 1980, se encuentran operando relevadores de sobrecorriente del tipo electromecánico (monofásicos). Con el avance de la tecnología se ha incrementado la producción de relevadores de estado sólido ó microprocesado, lográndose una reducción considerable en el espacio empleado en los tableros, así como incrementar sus funciones.

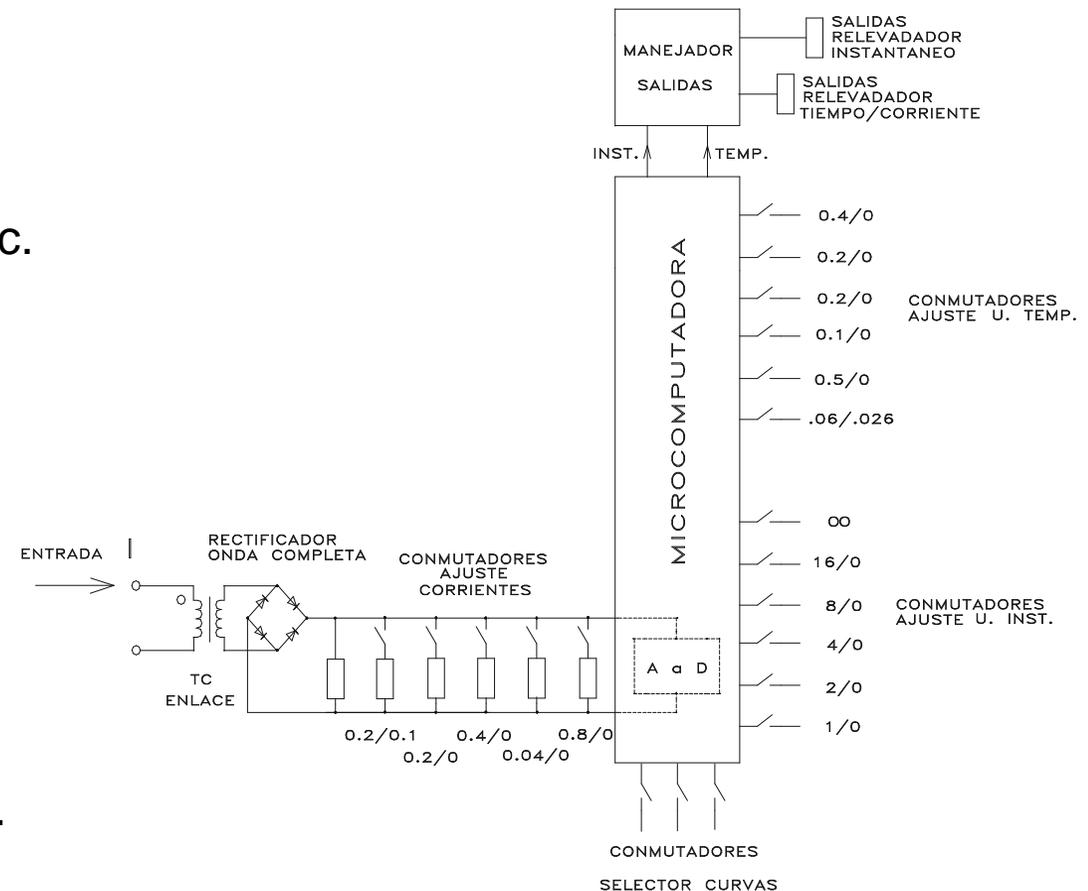
La similitud en las características de tiempo-corriente de los relevadores electromecánicos y microprocesados, hace posible coordinar los tiempos de operación entre relevadores electromecánicos y microprocesados ó viceversa.



Relevadores Microprocesados

Están constituidos básicamente de la siguiente manera:

- Unidades de entrada analógicas: corriente y tensión.
- Unidades de entrada digitales: contactos del interruptor, etc.
- Filtro pasa bajas.
- Fuente de alimentación.
- Microprocesador para funciones de protección.
- Microprocesador para funciones de medición.
- Memoria RAM para registro de eventos.
- Memoria EEPROM para grabar ajustes.
- Unidades de salida: contactos de disparo y alarma.
- Puertos de comunicación.
- Display y teclado.
- Leds para señalización de banderas y piloto de encendido.
- Unidad de autodiagnóstico y monitoreo.



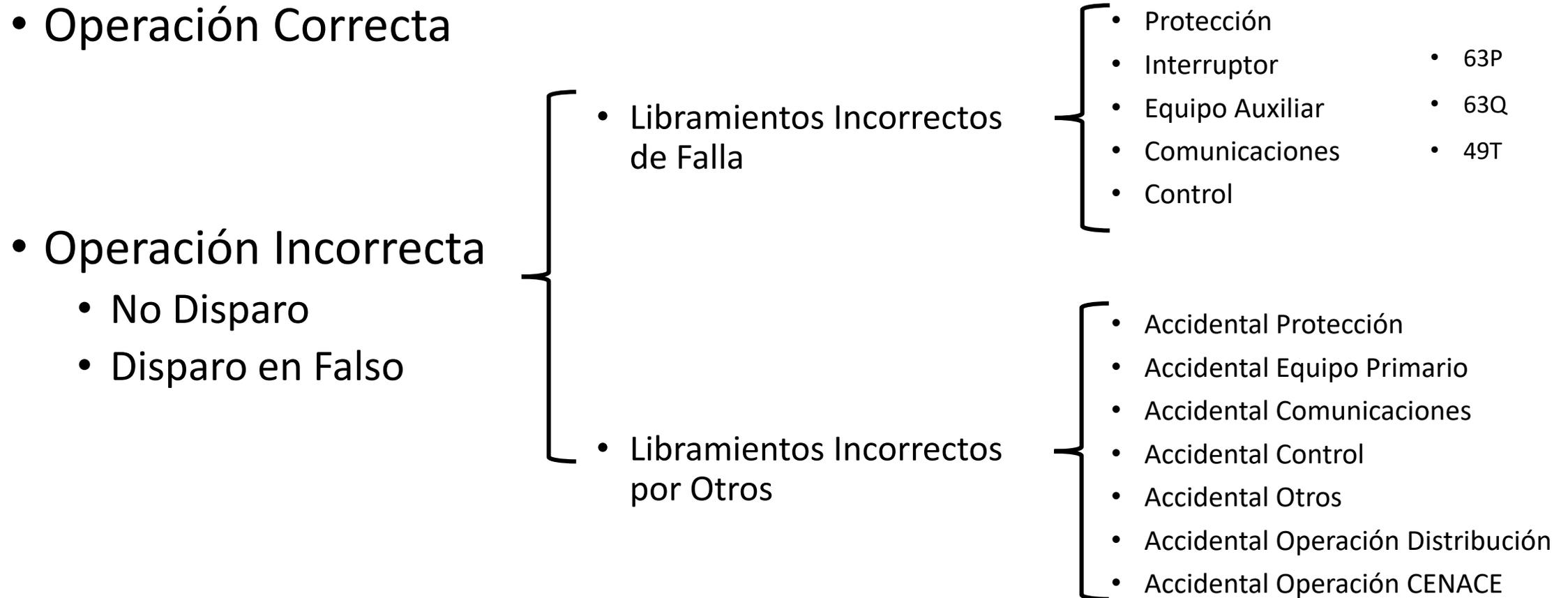
SENSIBILIDAD DE LOS EQUIPOS:

FUSIBLES +/- 25%

RESTAURADORES +/- 10%

RELEVADORES +/- 3%

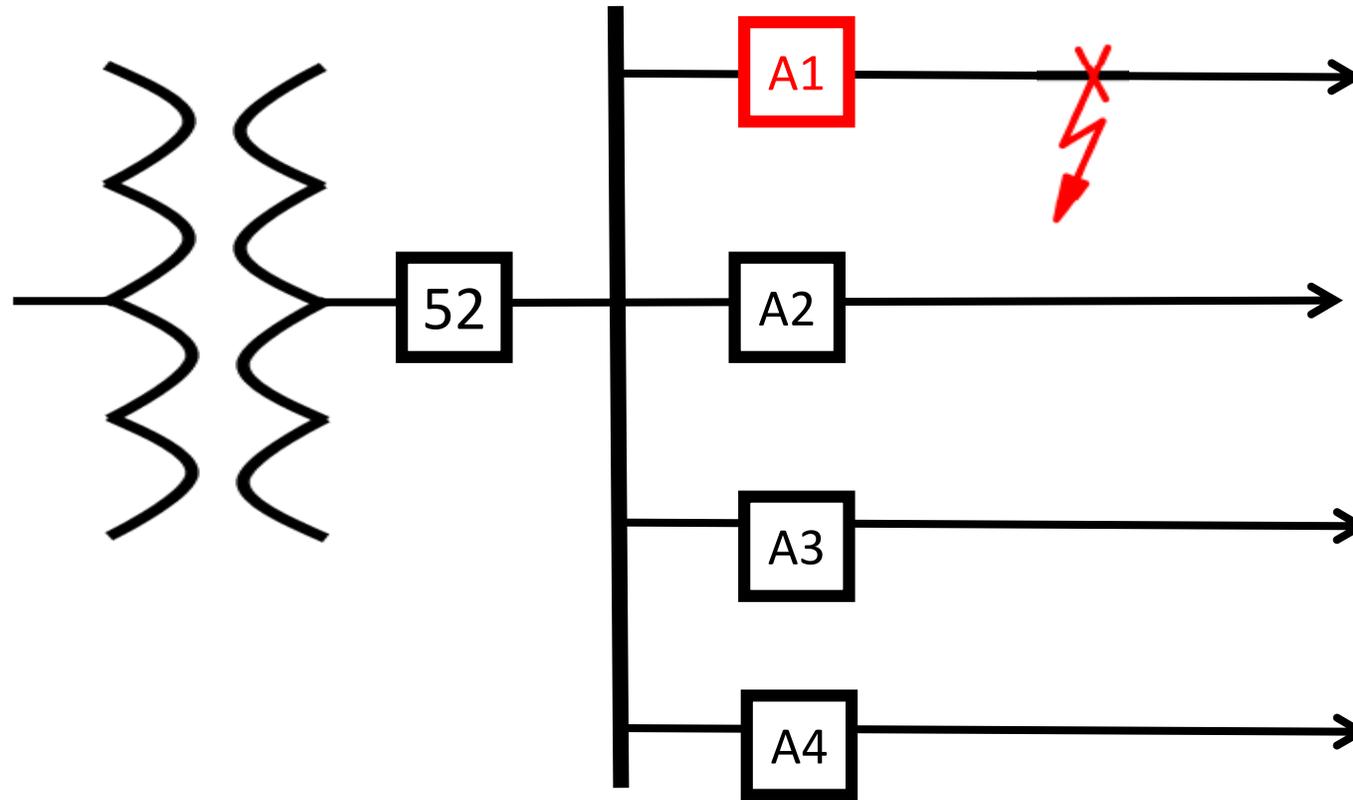
Clasificación del desempeño de las Protecciones



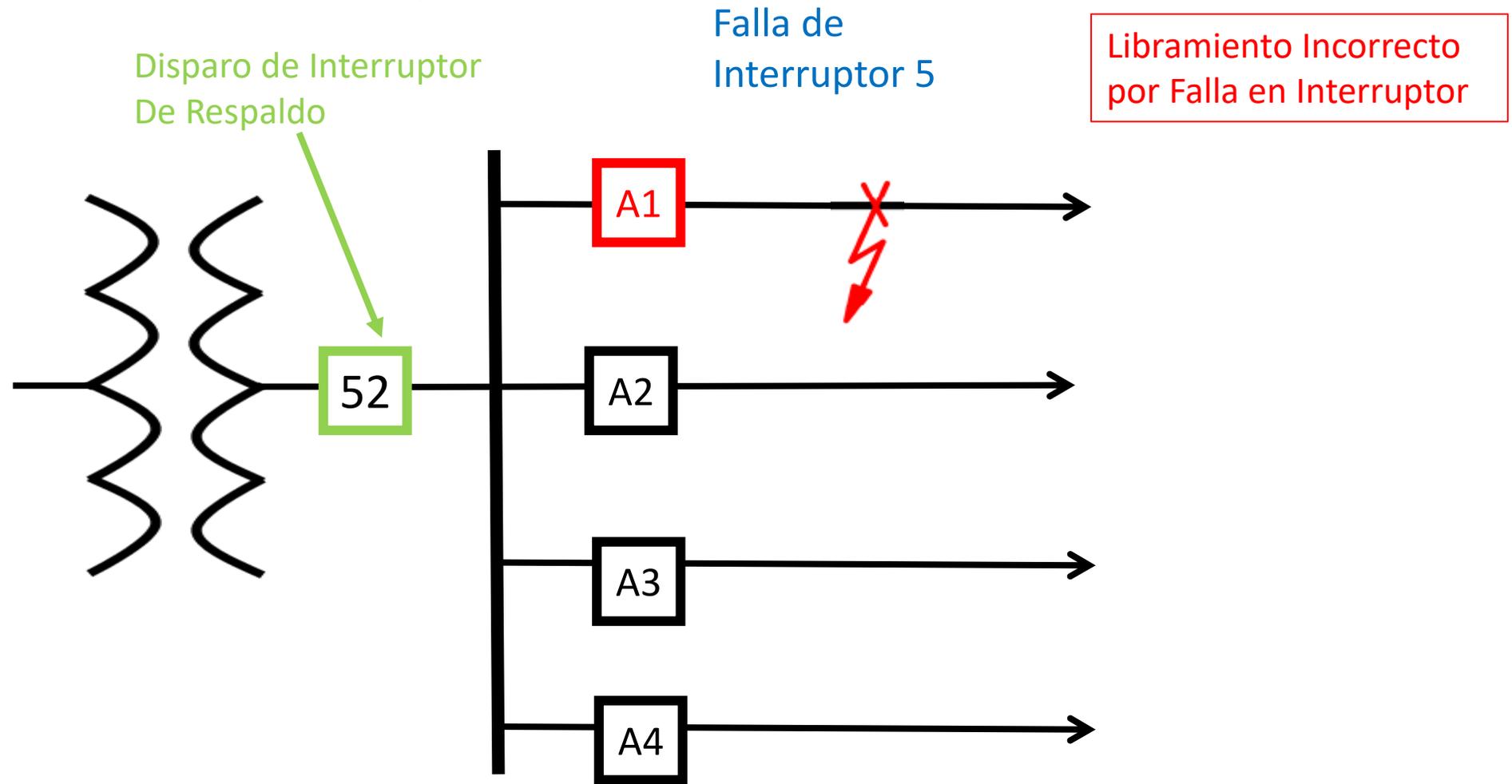
Operación Incorrecta (No Disparo)

Falla de
Interruptor 5

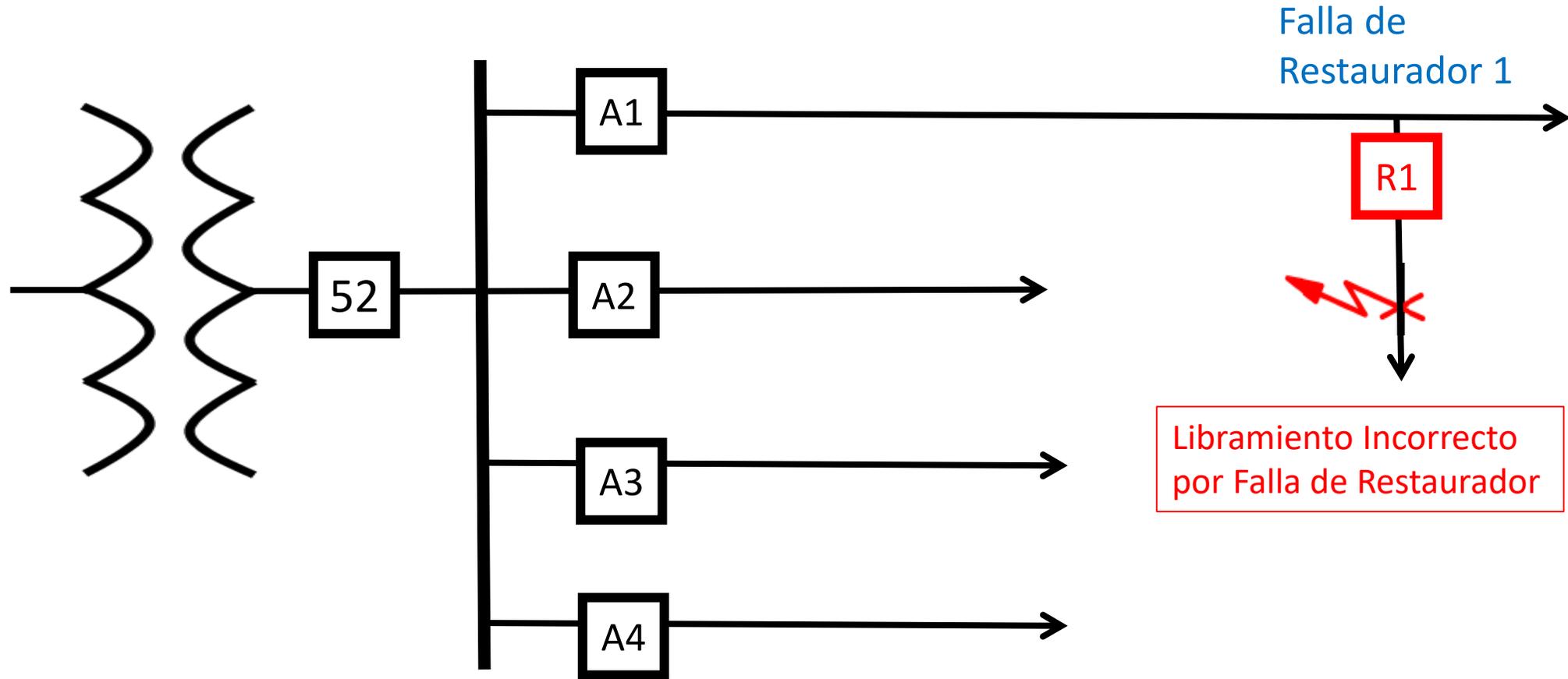
Libramiento Incorrecto
por Falla en Interruptor



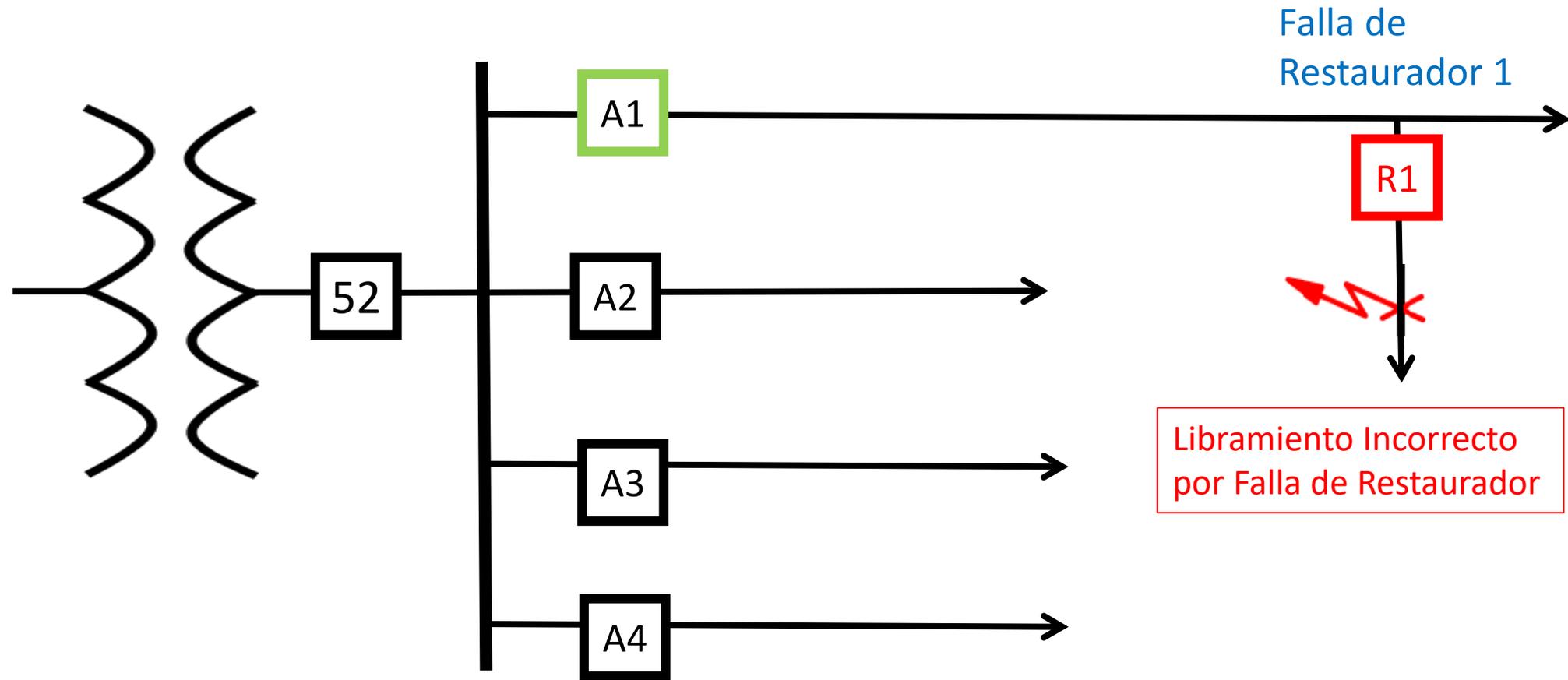
Protección de Respaldo



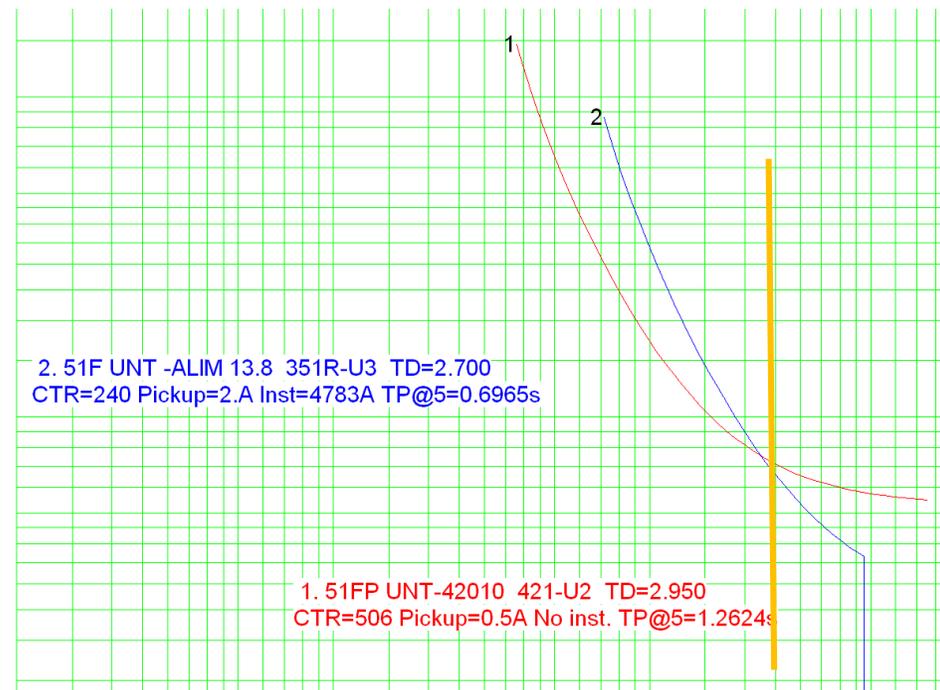
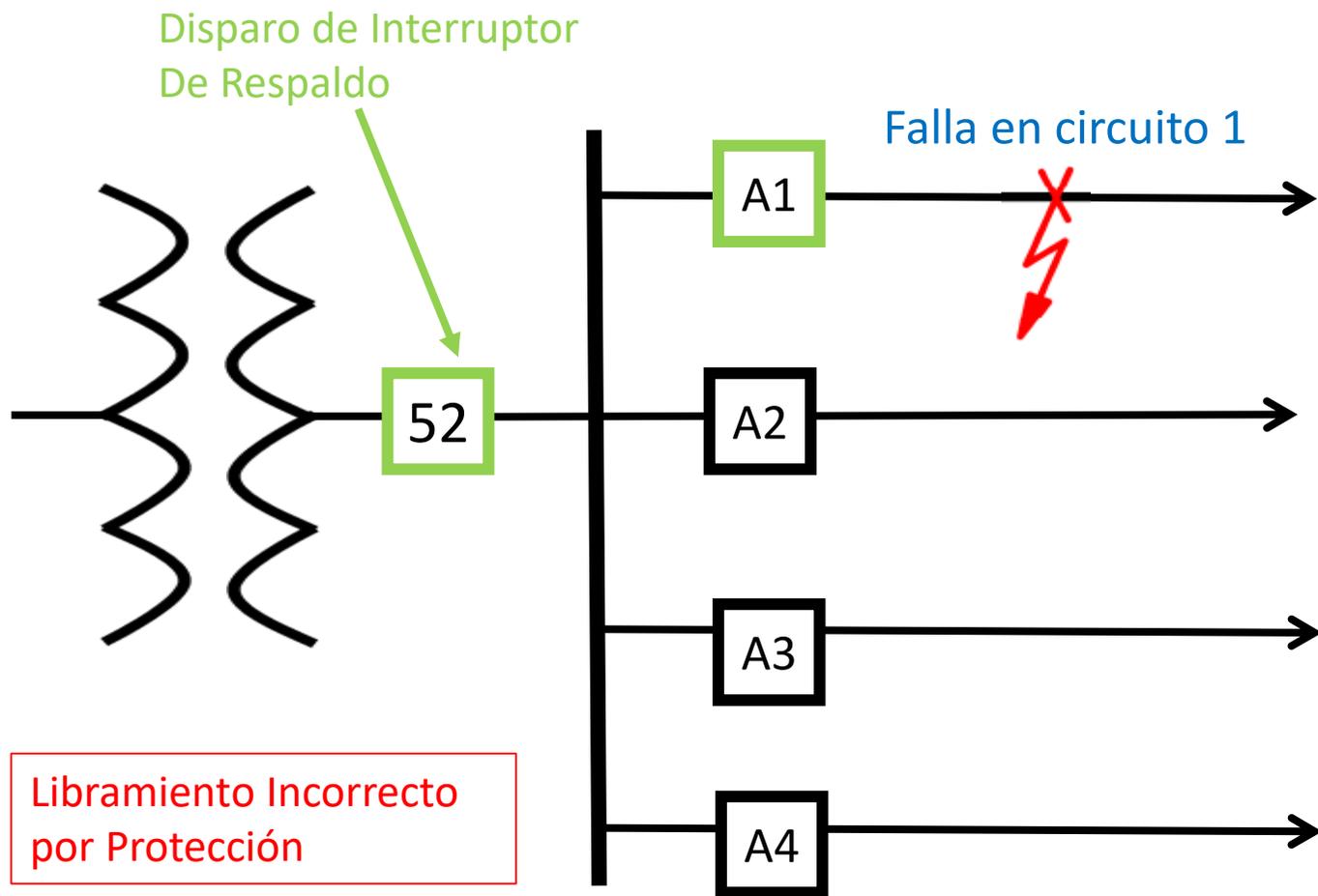
Operación Incorrecta (No Disparo)



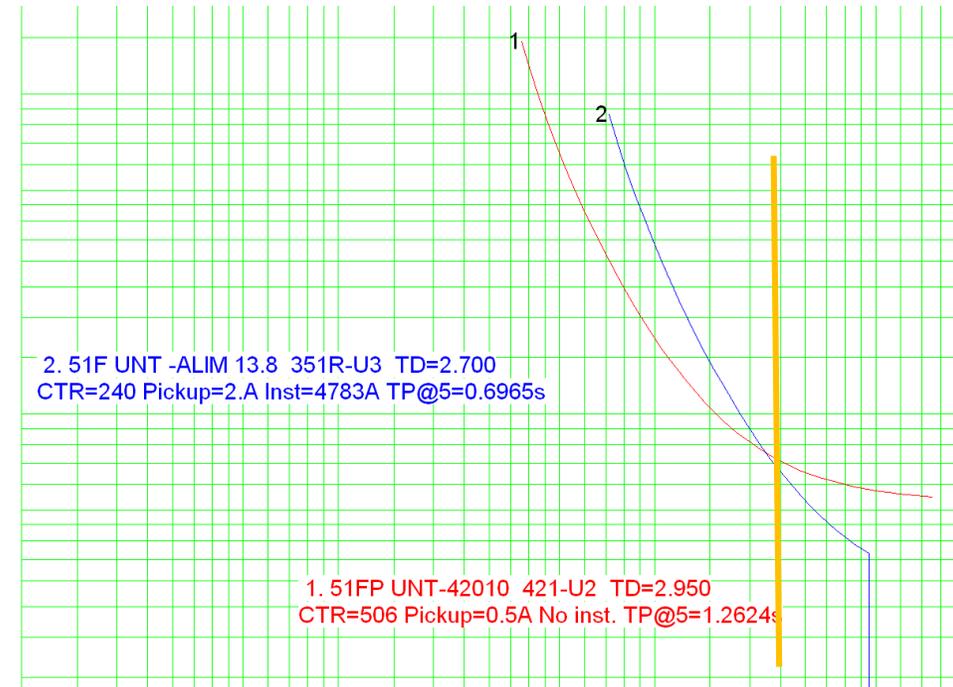
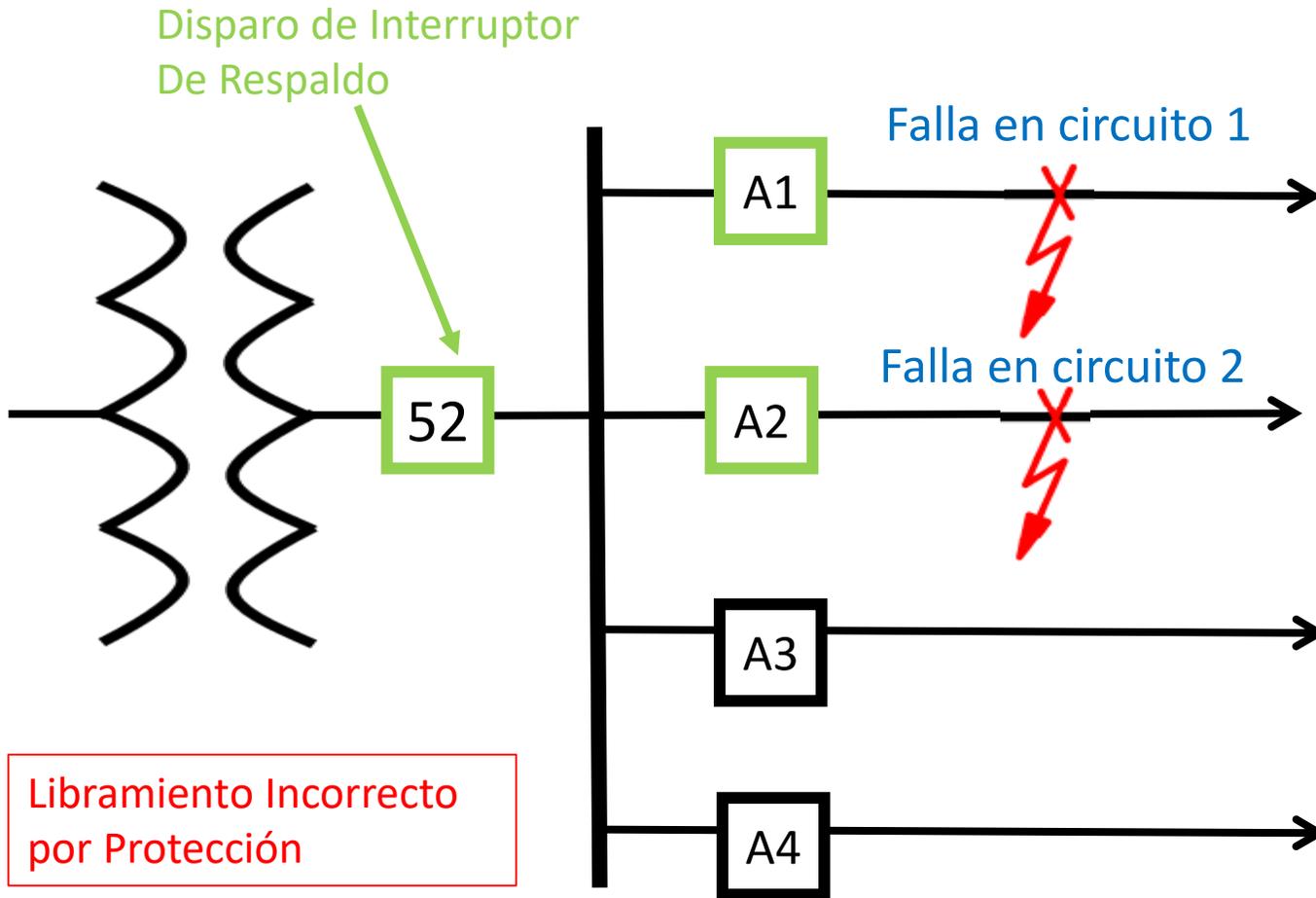
Operación Correcta (Respaldo)



Sobre-alcance de Protección de Respaldo



Sobre-alcance de Protección de Respaldo



Referencias Bibliográficas

- Procedimiento GOD-3531
- Procedimiento GOD-3532
- Procedimiento GOD-3539
- Procedimiento GOD-3544
- John J. Grainger, William D. Stevenson, “Power System Analysis”, 1994, McGraw-Hill.