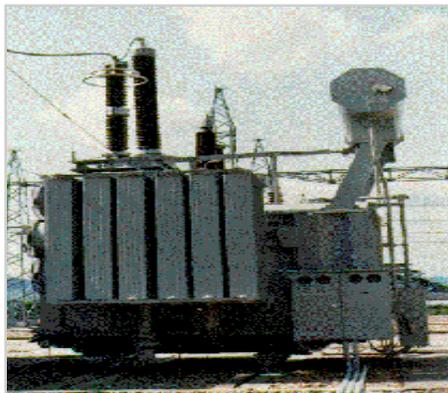
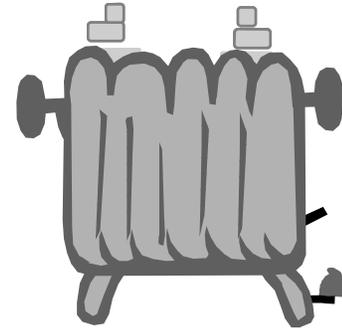
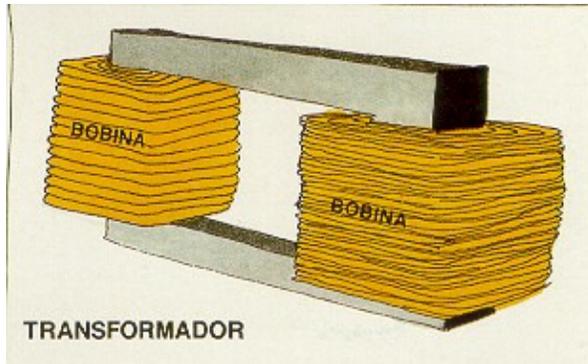




PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES



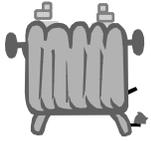
PROTECCIONES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Jorge Antonio Jaimes Báez - MPE Ingeniero Eléctricista

BIBLIOGRAFÍA

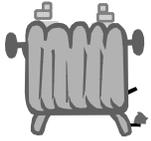


- **Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia** – Héctor Jorge Altuve Ferrer- Universidad Autónoma de Nuevo León- México
- **GUÍAS PARA EL BUEN AJUSTE Y LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL STN.** Ingeniería Especializada Blandon – IEB – Julio 2000
- **Curso Protecciones Eléctricas** – Ingeniería Especializada Blandon – 2011
- **Protective relaying – Principles and applications.** J Lewis Blackburn Marcel Dekker, Inc. – 1987
- **IEEE BUFF BOOK - Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems** IEEE Industrial and Commercial Power Systems Committee. 1990
- **Electrical Distribution-System Protection.** Cooper Power Systems. Third Edition – 1990
- **Manual de Protecciones para Sistemas Eléctricos de Potencia.** Orlando Ortiz, César Rozo, Sandra Mendoza, William Chaparro. U. Nacional – ISA -2000
- **Protecciones Eléctricas – Notas de Clase.** Gilberto Carrillo Caicedo. UIS. 2007
- **Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión** – Segunda Edición. HMV - Meija



1. INTRODUCCIÓN

- El transformador de potencia es uno de los elementos más importantes del sistema de transmisión y distribución. La elección de la protección apropiada puede estar condicionada tanto por consideraciones económicas como por el tamaño del transformador.
- No hay una forma normalizada para proteger todos los transformadores.
- Se debe considerar una protección de respaldo.

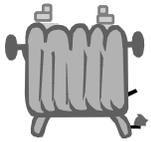


1. INTRODUCCIÓN

Este equipo es el elemento más importante y costoso de una subestación, se encuentra en todos los niveles de tensión. En el esquema de protección de un transformador se toman 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

Curva ANSI (American National Standard Institute).

La curva ANSI (American National Standard Institute), representa la máxima capacidad que puede soportar el transformador sin dañarse cuando es sometido a esfuerzos mecánicos y térmicos ocasionados por un cortocircuito. Para calcular la curva ANSI es necesario clasificar a los transformadores en categorías como se muestra en la tabla



1. INTRODUCCIÓN

Tabla 3.1 Categoría del transformador.

CATEGORÍA DE TRANSFORMADORES		
kVA Nominales de placa (Devanado principal)		
CATEGORÍA	MONOFÁSICOS	TRIFÁSICOS
I	5 - 500	15 - 500
II	501 - 1 667	501 - 5 000
III	1 668 - 10 000	5 001 - 30 000
IV	arriba de 10 000	arriba de 30 000

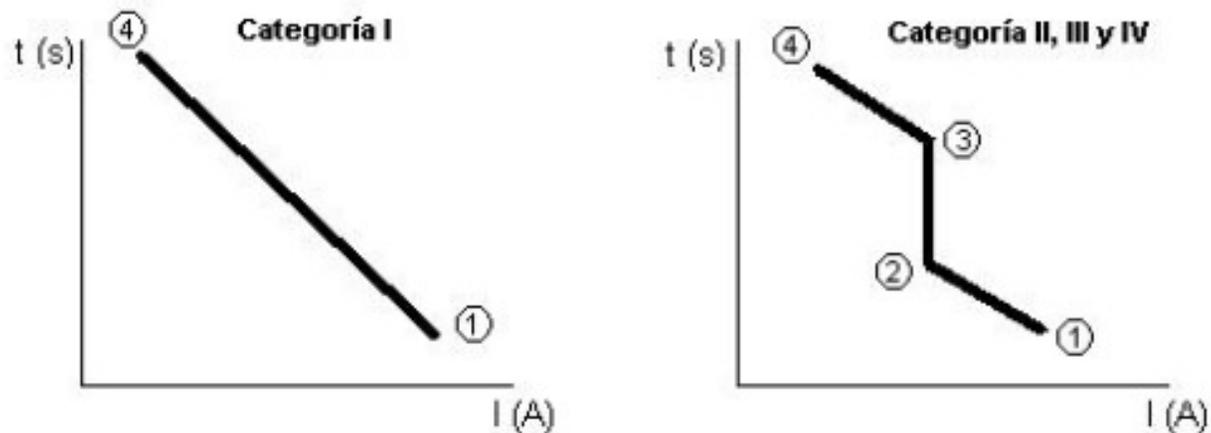
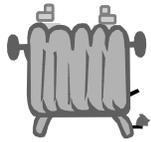


Figura 3.1 Curva ANSI para transformadores.



1. INTRODUCCIÓN

Tabla 3.2 Puntos de curva ANSI.

PUNTO	CATEGORÍA DEL TRANSFORMADOR	TIEMPO [s]	CORRIENTE [A]
1	I	$1\,250 (Z_t)^2$	I_{pc} / Z_t
	II	2	I_{pc} / Z_t
	III, IV	2	$I_{pc} / (Z_t + Z_s)$
2	II	4,08	$0,7 I_{pc} / Z_t$
	III, IV	8,0	$0,5 I_{pc} / (Z_t + Z_s)$
3	II	$2\,551 (Z_t)^2$	$0,7 I_{pc} / Z_t$
	III, IV	$5\,000 (Z_t + Z_s)^2$	$0,5 I_{pc} / (Z_t + Z_s)$
4	I, II, III, IV	50	$5 I_{pc}$

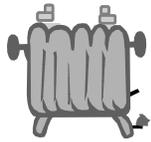
Donde:

Z_t = Impedancia del transformador en por unidad en base a los kVA con enfriamiento OA.

Z_s = Impedancia de la fuente en por unidad en base a los kVA de transformador con enfriamiento OA.

I_{pc} = Corriente en A a plena carga del transformador en base a su capacidad con enfriamiento OA.

Al calcular los puntos de la curva ANSI es necesario verificar que la impedancia del transformador no sea menor a las indicadas en la Tabla 3.3.

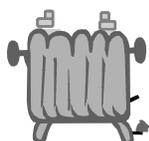


1. INTRODUCCIÓN

Tabla 3.3 Impedancias mínimas.

MONOFÁSICO [kVA]	TRIFÁSICO [kVA]	Impedancia mínima Z_t en por unidad en base a los kVA del transformador
5 - 25	15 - 75	0,0250
37,5 - 100	112,5 - 300	0,0286
167 - 500	500	0,0400

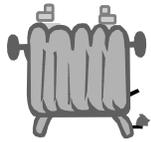
Dependiendo de la conexión del transformador los valores de la curva se deben multiplicar por el factor ANSI de la tabla 3.4, en la cual se aprecian los diferentes tipos de conexión de los transformadores.



1. INTRODUCCIÓN

Tabla 3.4 Impedancias mínimas.

CONEXIÓN DEL TRANSFORMADOR	FACTOR ANSI
Delta - Delta	0,87
Delta - Estrella Aterrizada	0,58
Delta - Estrella	1,00
Estrella Aterrizada - Estrella	1,00
Estrella Aterrizada - Estrella Aterrizada	1,00
Estrella - Estrella Aterrizada (Tipo Núcleo)	0,67
Estrella - Estrella (Tipo Acorazado)	1,00
Estrella - Estrella	1,00
Estrella Aterrizada - Delta	1,00
Estrella - Delta	1,00



1. INTRODUCCIÓN

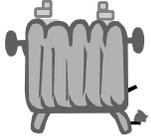
Limites NEC (National Electric Code).

El National Electric Code (NEC) proporciona los límites máximos requeridos para protección contra sobrecorriente de transformadores, en la tabla se resumen estos límites en por ciento, tomando como base la corriente nominal del transformador.

Tabla 3.5 Límites NEC para transformadores.

Impedancia del transformador	Primario			Secundario		
	Tensión [V]	Ajuste interruptor [%]	Capacidad del fusible [%]	Arriba de 600 V		600 V o menos
				Ajuste interruptor [%]	Capacidad fusible [%]	Interruptor o fusible [%]
$Z\% \leq 6$	Arriba de 600	500	300	300	250	125*
$6 < Z\% \leq 10$		400	300	250	225	125*

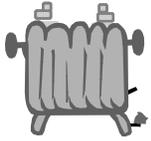
*En lugares con supervisión este limite puede ser de hasta 250%



1. INTRODUCCIÓN

Capacidad de sobrecarga

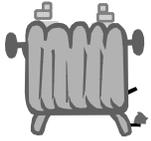
La capacidad de sobrecarga de un transformador se refiere a los amperes de plena carga multiplicados por los factores de enfriamiento y elevación de temperatura, la sobrecarga de un transformador depende de su tipo de enfriamiento y de la temperatura de diseño.



1. INTRODUCCIÓN

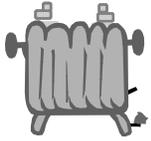
Punto de magnetización

En una aproximación del efecto que ocasiona la corriente de magnetización en el transformador, este punto es variable y depende principalmente del magnetismo residual y del punto de las ondas de tensión aplicado cuando ocurre la energización del transformador. La corriente de magnetización de un transformador es considerada como un múltiplo de su corriente nominal que varía de acuerdo a la capacidad nominal del transformador.



1. INTRODUCCIÓN

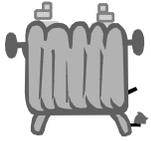
- Los transformadores y autotransformadores, están sometidos a cortocircuitos internos de los cuales se protegen con relés diferenciales porcentuales o de alta impedancia y con relés de presión o acumulación de gas. También están sometidos a sobrecorrientes por fallas externas contra las cuales se protegen con relés de sobrecorriente.
- También pueden sufrir sobrecalentamientos y sobrecargas que se pueden detectar con resistencias detectoras de temperatura y con relés de sobrecarga, respectivamente.



1. INTRODUCCIÓN

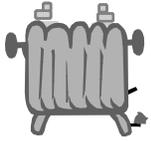
- Las fallas en los transformadores pueden producirse por:
 - ✓ **Causas externas**: sobrecargas, sobretensiones, cortocircuitos en la red, subfrecuencia.
 - ✓ **Causas internas**: Falla a tierra, cortocircuito entre espiras o entre fases, defecto en el núcleo por falla de aislamiento, falla de elementos asociados.

- Los transformadores de menor potencia (<5 MVA) disponen generalmente de fusibles como protección contra cortocircuitos y un termómetro para detectar sobrecargas.



1. INTRODUCCIÓN

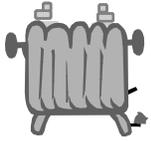
- Se recomienda que la actuación de la protección provoque el disparo instantáneo de todos los interruptores que conectan el transformador, tanto para fallas internas y externas (respaldo).
- Características a tener en cuenta en la protección de transformadores:
 - ✓ Hay diferencias de fase entre las corrientes en transformadores con conexión estrella - delta.
 - ✓ Tienen distintos niveles de voltaje, lo que implica que los CT's pueden ser de distintos tipos, tener relaciones de transformación y características diferentes.



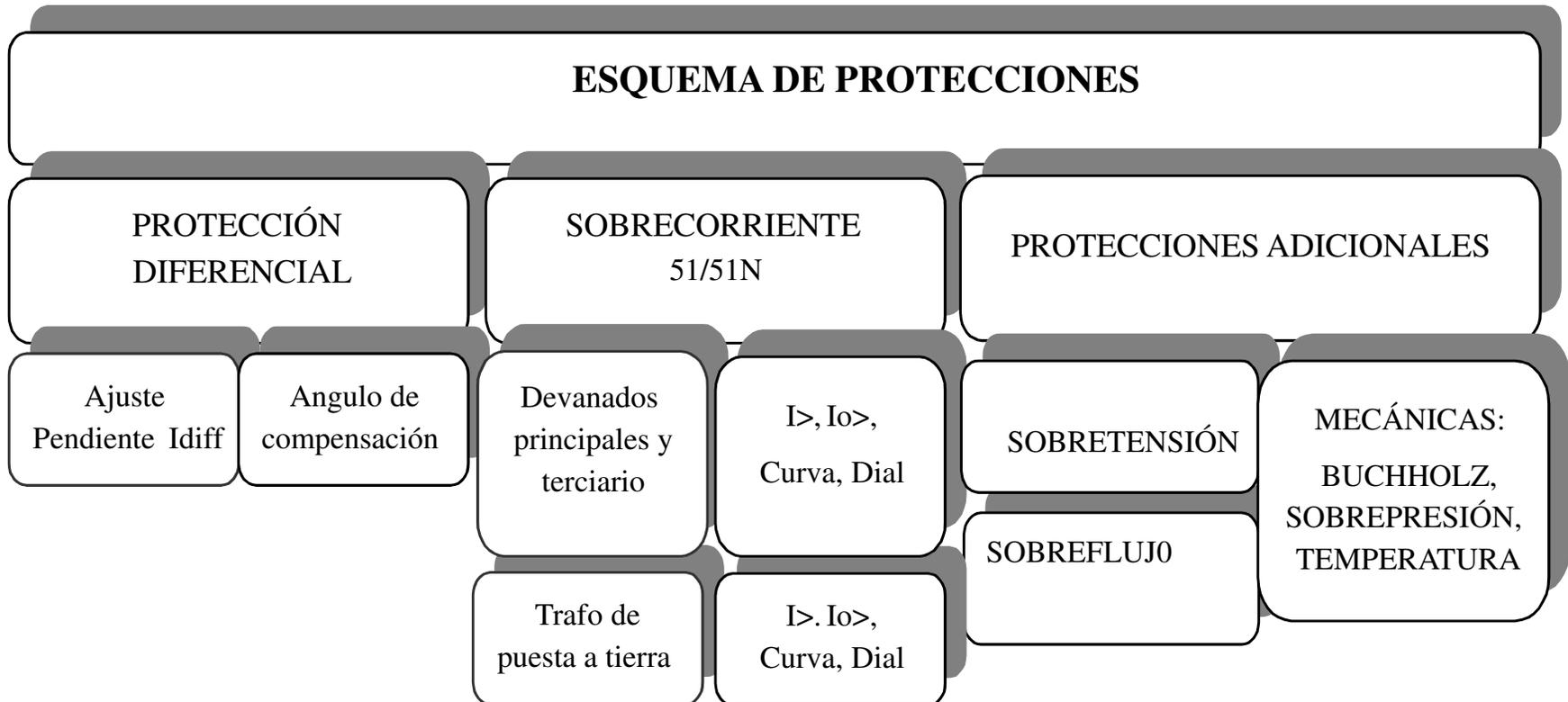
1. INTRODUCCIÓN

- ✓ Puede no haber concordancia entre las relaciones de transformación de los CT's disponibles y la del transformador protegido.
- ✓ La relación de transformación puede ser variable para fines de regulación de voltaje.
- ✓ La corriente de magnetización del transformador puede tener un valor transitorio alto en algunos casos, que la protección puede interpretar erróneamente como indicativo de una falla interna.

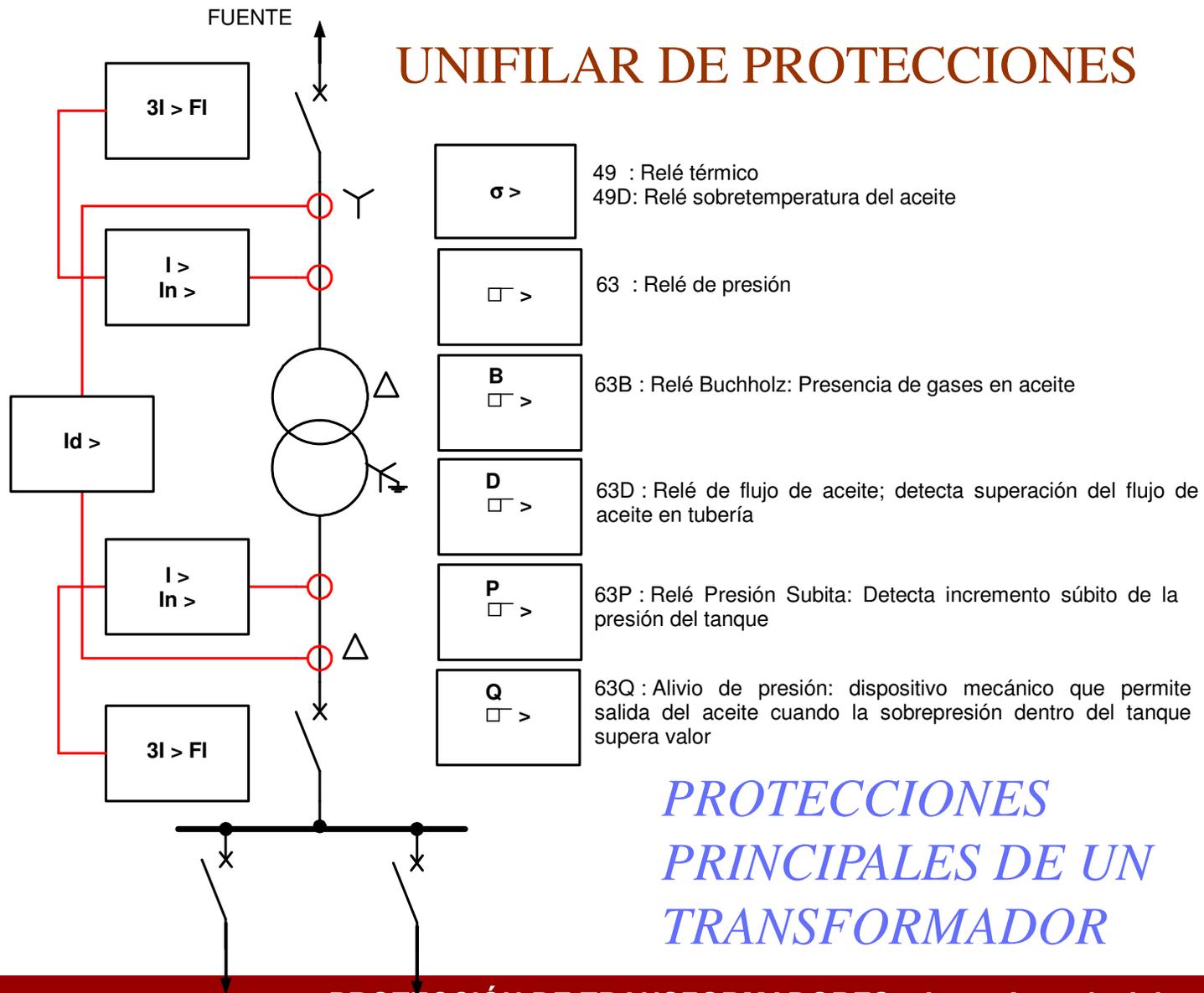
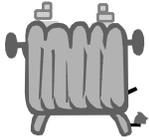
En la figura se observa un esquema de las protecciones principales del transformador

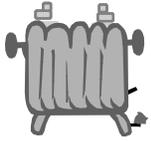


1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN



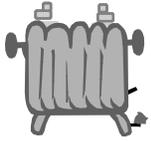


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

La principal función en la protección de transformadores de distribución es la desconexión de estos del sistema de distribución, reduciendo daños y disturbios al mínimo.

Los tipos de protección pueden abarcar los siguientes aspectos:

- **P**rotección contra sobrecarga, requerida debido a la elevación de temperatura causada por las sobrecorrientes de gran duración que pueden deteriorar el aislamiento de los devanados.
- Protección contra cortocircuito para prevenir efectos electrodinámicos y térmicos causados por cortocircuitos externos al transformador.
- Protección contra fallas internas, para minimizar el daño dentro del transformador fallado y aislarlo del resto del sistema..

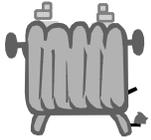


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

1. Factores a considerar con fusibles:

Idealmente los fusibles deben:

- Remover el transformador fallado del sistema de distribución.
- Prevenir fallas disruptivas en el transformador.
- Proteger el transformador de sobrecargas severas.
- Resistir sobrecargas de corto tiempo no dañinas.
- Resistir corrientes de puesta en marcha de cargas en frío.
- Resistir corrientes Inrush.
- Resistirse a daño por sobretensiones inducidas.
- Coordinarse con el próximo dispositivo de protección, aguas arriba.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

2. Criterios de selección de fusibles:

1. Consideraciones de daño del tanque del transformador:

Al ocurrir fallas dentro del transformador, se producen altas presiones internas por la descomposición del aceite y puede causar rotura del tanque o soplado de la tapa acompañado de incendio.

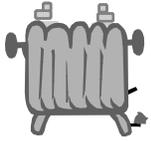
Los fusibles limitadores de corriente proporcionan mejor protección y es práctica común limitar el uso de fusibles de expulsión a puntos donde la corriente de falla es menor o igual a 3000 A. Las curvas de daño de los equipos y materiales son proporcionadas por los fabricantes; En la tabla anexa se indica un ejemplo “P784/D4 de la norma ANSI C 57.12.00”



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

TABLA 12.8. Valores $I - t$ para definir las curvas de daño y la curva de energización (inrush) en transformadores de 1 a 500 kVA.

Evento (Daño o corriente)	Número de veces la corriente nominal	Tiempo en segundos
Daño térmico	2	2.000
	3	300
	4	100
	5	50
	6	35
	7	25
	8	20
	9	15
	10	12.5
	15	5.8
Daño mecánico	20	3.3
	25	2.0
	30	1.5
Corriente inrush	40	0.8
	50	0.5
	25	0.01
Corriente de carga fría	12	0.10
	6	1.00
	3	10.00

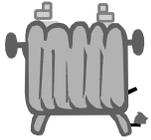


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

2. Criterios de selección de fusibles:

2. Corriente de energización o puesta en servicio (inrush):

Al energizar un transformador se presenta la corriente de excitación o Inrush cuyas magnitudes y duraciones son determinadas por el flujo residual del núcleo del transformador y por el punto de la onda de voltaje que coincida al cerrar el circuito (cuando ocurre la energización). Esto sucede al energizar el transformador y cuando por alguna razón se abate momentáneamente la tensión en el lado de la fuente”



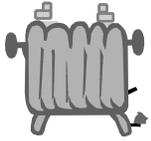
2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

2. Criterios de selección de fusibles:

3. Corrientes de puesta en marcha en frío:

El fusible debe resistir las corrientes de reenergización del transformador después de una salida. El valor de estas corrientes y su duración dependen del tipo de sistema y de las cargas conectadas al transformador.

Esta corriente alta es causada por la pérdida de diversidad (que se produce al energizar súbitamente el transformador con cierto tipo de carga y que había experimentado previamente una interrupción larga) y por las corrientes de arranque de motores.

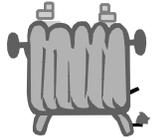


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

2. Criterios de selección de fusibles:

3. Corrientes de puesta en marcha en frío:

La curva del fusible debe estar siempre a la derecha de la curva Inrush y de puesta en marcha en frío y no de cruzarla especialmente en la región por debajo de 0.1 s.



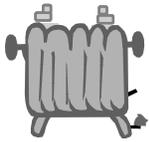
2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

2. Criterios de selección de fusibles:

4. Daño térmico del transformador:

La figura 12.41 muestran la curva de daño térmico de un transformador monofásico de 50 kVA 12.47/ 7.2 kV construida con base en los datos de la tabla 12.8. No es una curva de falla del transformador y fue establecida para una elevación de 55 °C a la cual puede operar sin sufrir pérdida de vida útil.

Al seleccionar el fusible se debe verificar que las curvas t-I se encuentren entre la curva de daño del transformador que se va a proteger desplazada a la derecha y las curvas de energización (Inrush) y de carga fría desplazadas a la izquierda.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

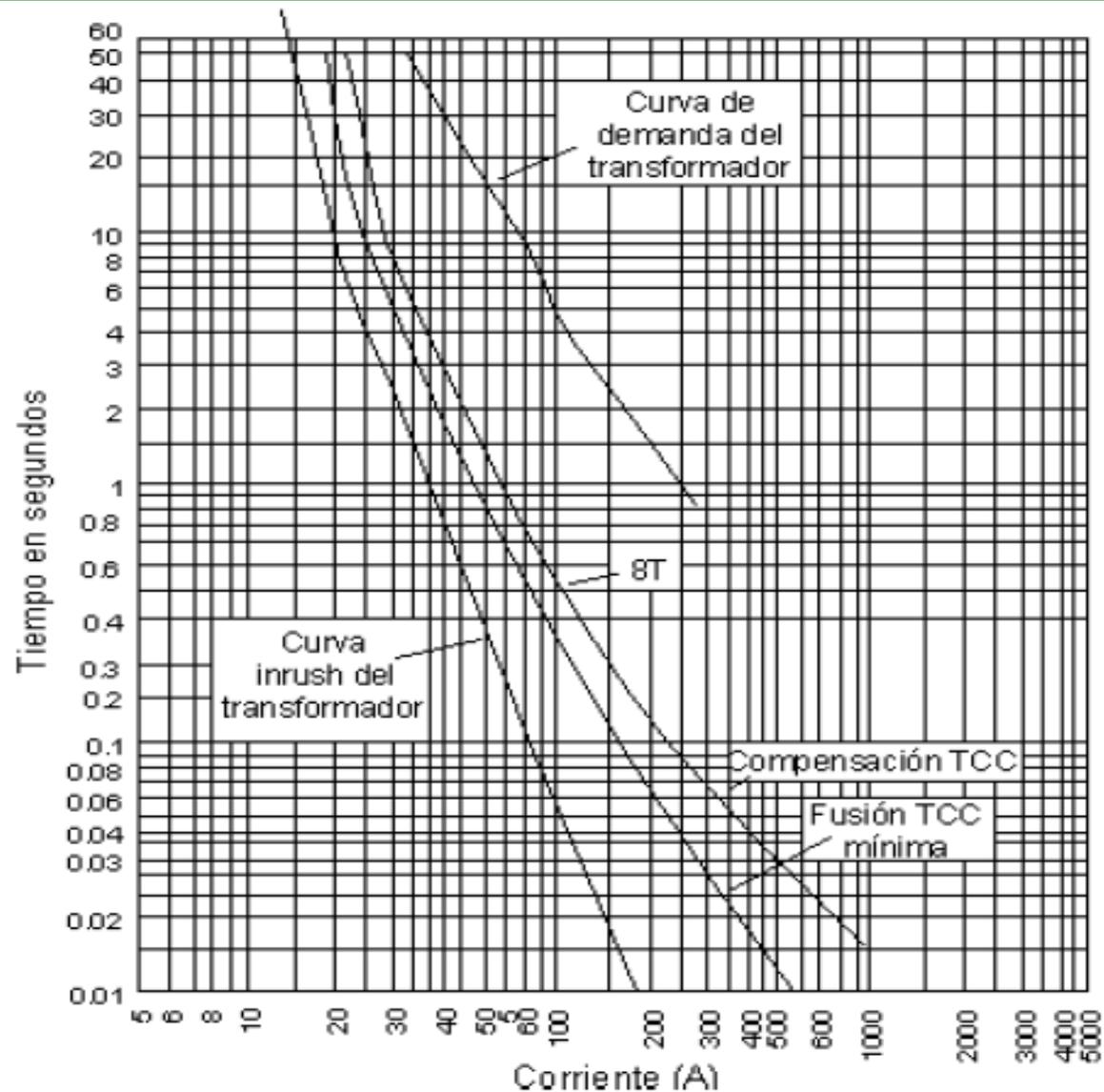
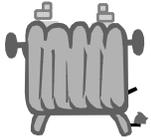


FIGURA 12.41. Protección del transformador de 50 kVA - 1 ϕ con fusible 8T.

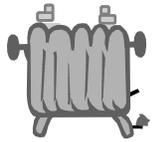


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

3. Filosofía de protección con fusibles:

La función básica del fusible es interrumpir cualquier falla por sobrecorriente que afecte al transformador o al sistema de alimentación del lado primario, teniéndose que coordinar con la protección del lado secundario para complementar la protección del equipo.

Las compañías electrificadoras han establecido la siguiente práctica para asegurar la protección efectiva del transformador de tal manera que el fusible quede bien seleccionado: con la filosofía de baja relación de fusión, los fusibles son seleccionados tan pequeños como sea posible para proveer máxima protección contra sobrecarga..



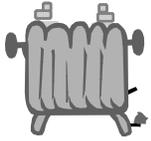
2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

3. Filosofía de protección con fusibles:

La relación de fusión está definida como:

$$\text{Relación de fusión} = \frac{\text{Corriente de fusión mínima del fusible}}{\text{Corriente de plena carga del transformador}} = 2 \text{ a } 4$$

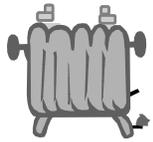
y da la corriente a plena carga del transformador que causa operación del fusible, pero relaciones de fusión tan bajas como 1 y tan altas como 15 son usadas algunas veces.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

3. Filosofía de protección con fusibles:

Existen ventajas y desventajas de ambas relaciones de fusión (altas y bajas) que deben ser consideradas para establecer una filosofía de protección con fusibles, la figura 12.39 muestra en forma gráfica el efecto que la relación de fusión tiene sobre la continuidad del servicio, sobre los costos de repotenciación de fusibles, sobre las fallas de los transformadores debido a sobrecarga y sobre la coordinación de otros fusibles del sistema..



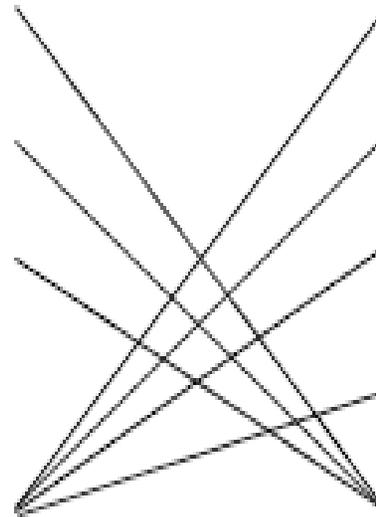
2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

Número de fusibles quemados por descargas atmosféricas.

Existencias y gastos para fusibles.

Coordinación entre fusibles primarios y dispositivos de seccionalización.

Baja relación de fusión.



Fallas de transformadores debido a sobrecargas.

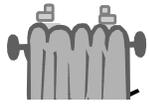
Capacidad de puesta en marcha de carga.

Continuidad de servicio.

Coordinación entre fusibles primarios y fusibles de acometida secundarias.

Alta relación de fusión.

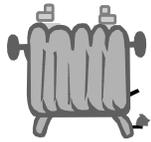
FIGURA 12.39. Efecto de la relación de fusión.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

TABLA 12.9. Características requeridas de los fusibles.

Tiempo de fusión	Corriente de fusión en pu. de la / nominal del transformador	Protección contra
1 hora	2.2 pu. (2 a 2.5 pu.)	Sobrecarga y fallas secundarias de baja magnitud.
100 segundos	> 3 pu. < 6 pu.	Arranque de motores, sobrecarga de corta duración.
10 segundos	> 6 pu. < 11 pu.	Arranque de motores (50 a 75: In), sobrecarga de corta duración.
1 segundo	> 10 pu. < 35 pu.	Arranque de motores, todo tipo de fallas.
0.1 segundos	> 12 pu.	Corriente de magnetización.
0.01 segundos	> 25 pu.	Corriente de magnetización.
	> 74 A	Impulso de rayo, 2 kA.
	> 370 A	Impulso de rayo, 10 kA.
0.001 segundos	> 740 A	Impulso de rayo, 20 kA.
	> 230 A	Impulso de rayo, 2 kA.
	> 1150 A	Impulso de rayo, 10 kA.
	> 2300 A	Impulso de rayo, 20 kA.
Máxima energía $I^2 t$ de paso libre: (Transformadores de 50 a 75 kVA tipo pedestal)	$1 \times 10^5 (A^2 \cdot S)$ para transformadores clase 35 kV. $3 \times 10^5 (A^2 \cdot S)$ para transformadores clase 25 kV. $5 \times 10^5 (A^2 \cdot S)$ para transformadores clase 15 kV.	



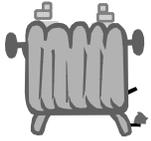
2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

TABLA 12.10. Relación de rapidéz para protección de transformadores.

kVA del transformador		Tensión nominal (kV)							
		15 kVA		25 kVA		35 kVA			
1 ϕ	3 ϕ	Fusión (1 hora)	R.R.	Fusión (1 hora)	R.R.	Fusión (1 hora)	R.R.		
10	30	3.2 15*	6 \pm 12 6	1.6 15*	6 \pm 18 6	1.1 12*	6 \pm 23 6		
25	75	8 15*	6 \pm 8 6	4 15*	6 \pm 15 6	2.7 12*	6 \pm 14 6		
50	150	15	6	8 15*	6 \pm 13 6	5.5 12*	6 \pm 10 6		
100	300	32	6	15*	6	12	6		
167	500	54	6	25	6	20	6		
250	750	80	6	40	6	40	6		
333	1000	110	6	50	6	40	6		
500	1500	150	6	80	6	80	6		

R.R = Relación de rapidéz = $\frac{\text{corriente de fusión para 0.1 s}}{\text{corriente de fusión para 300 s}}$

* Se requiere protección secundaria.
Valores de I fusión en A.

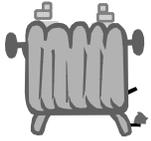


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

4. Efecto de las descargas atmosféricas:

Durante tormentas con descargas se experimentan numerosas salidas por quema de fusibles en transformadores y con daño en transformadores. Estudios han revelado que la quema de fusibles se debe principalmente a corrientes transitorias Inrush producidas por la saturación del núcleo del transformador por transitorios de voltaje inducidos.

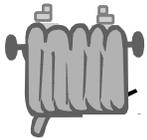
La experiencia ha mostrado que el uso de fusibles lentos tipo T con una relación de fusión mínima de 3 reduce enormemente el número de operaciones del fusible en arcos de alto nivel.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

5. Características del sistema de suministro:

- Tipo de red (aérea o subterránea)
- Tensión nominal
- Nivel básico de aislamiento
- Capacidad de interrupción en el punto de alimentación.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

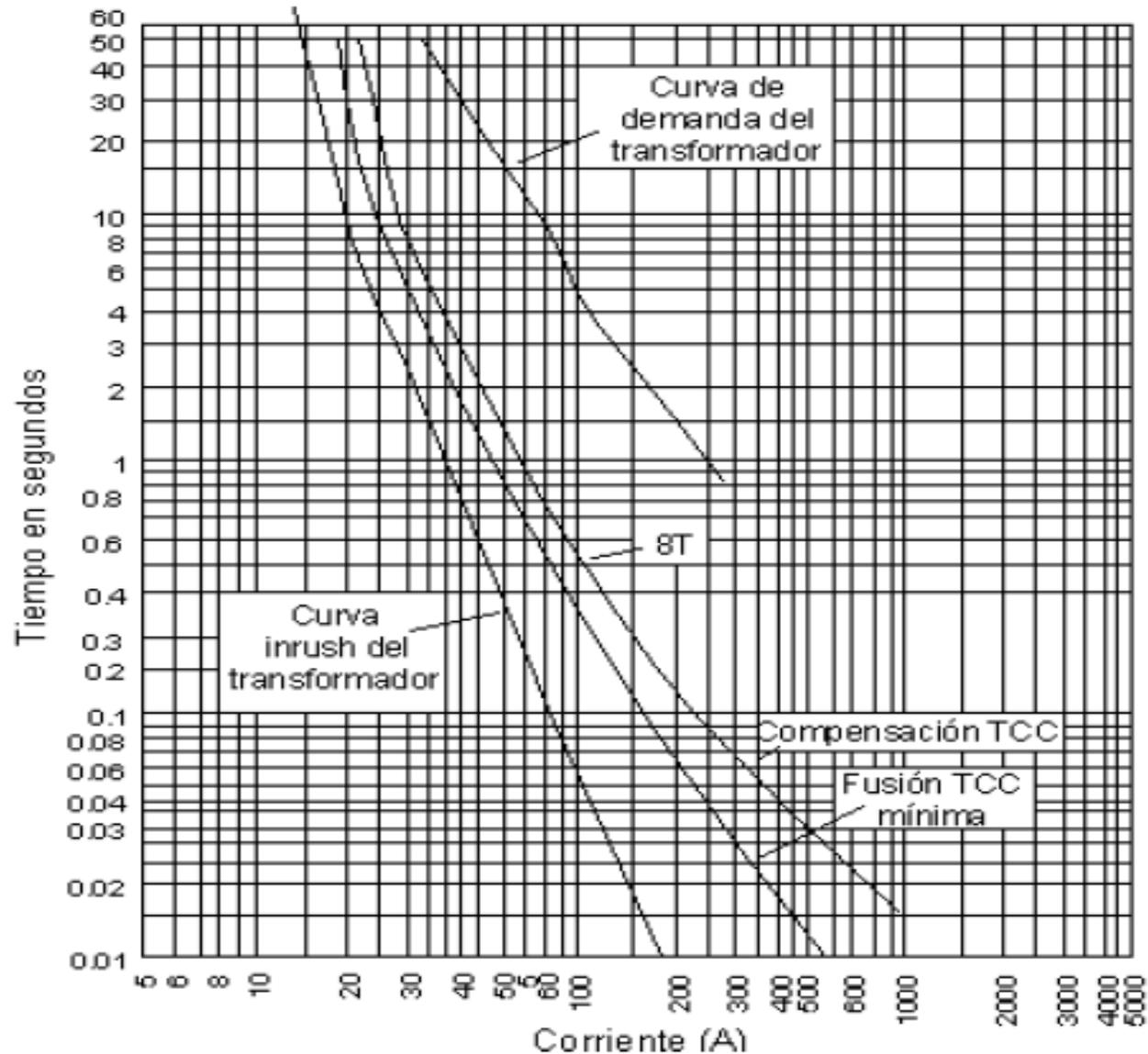
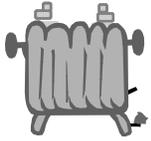


FIGURA 12.42. Protección del transformador de 50 kVA - 1 ϕ con fusible 10 K

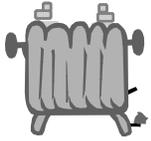


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

6. Fusibles primarios de transformadores:

Existen dos tipos diferentes de protección para transformadores con fusibles primarios:

1. El esquema es protegido removiendo aquellos transformadores que fallan o tienen bajas impedancias a cortocircuitos en el lado secundario.
2. El transformador es protegido contra sobrecargas y fallas de alta impedancia en el secundario también contra fallas internas.

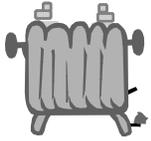


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

6. Fusibles primarios de transformadores:

Las relaciones de fusión del transformador guían la selección del tamaño de los fusibles primarios. A causa de que los fusibles primarios no pueden distinguir entre sobrecargas de corto tiempo, fallas secundarias de alta impedancia y condiciones de sobrecarga de larga duración, la selección del fusible debe ser un compromiso.

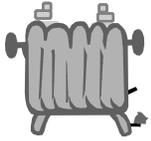
Los fusibles externos son seleccionados para proveer protección de sobrecarga cuando la corriente de carga excede un predeterminado múltiplo de la corriente a plena carga para 300s.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

6. Fusibles primarios de transformadores:

Los transformadores autoprotegidos tienen este tipo protección usando un breaker automático secundario para proveer protección de sobrecarga y de falla secundaria mientras un fusible interno en el primario remueve el transformador de la línea en caso de falla. El fusible interno es dimensionado para que se quemé sólo cuando se dañe en transformador.

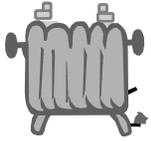


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

6. Fusibles primarios de transformadores:

La protección de sobrecarga puede establecerse en base a los siguiente:

- A 300 s la sobrecarga permitida es tres veces los kVA nominales.
- A 10 s la sobrecarga permitida es 13.7 veces los kVA nominales.
- A 4 s la sobrecarga permitida que es 25 veces los kVA nominales.

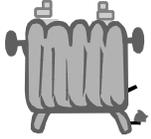


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

6. Protección con fusibles del secundario de transformadores pequeños:

Los transformadores convencionales pequeños (pequeña potencia) y alta relación de transformación tienen valores muy bajos de corriente a plena carga.

Un transformador de 3KVA-7200V sólo tiene 0.42 A sobre el lado primario. Los fusibles primarios pueden no proteger tales transformadores contra sobrecargas y fallas. Será necesario mejorar la protección con ayuda de fusibles secundarios.

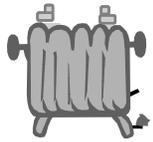


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

6. Protección con fusibles del secundario de transformadores pequeños:

Los fusibles primarios de alta descarga de un pequeño transformador no siempre protegen cargas del 300%.

La figura 12.45 ilustra el uso de fusibles secundarios para proteger transformadores de distribución pequeños.



2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

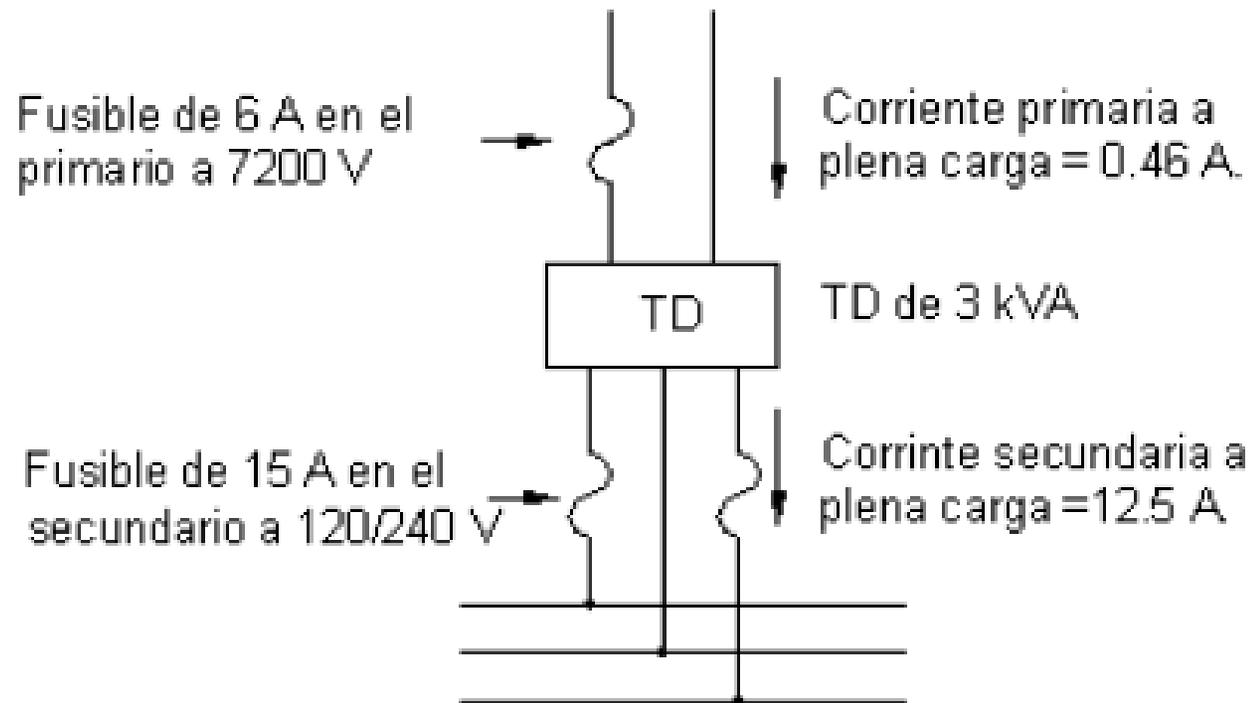
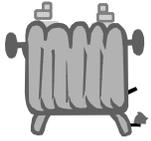


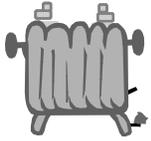
FIGURA 12.45. Protección de transformadores de pequeña capacidad.



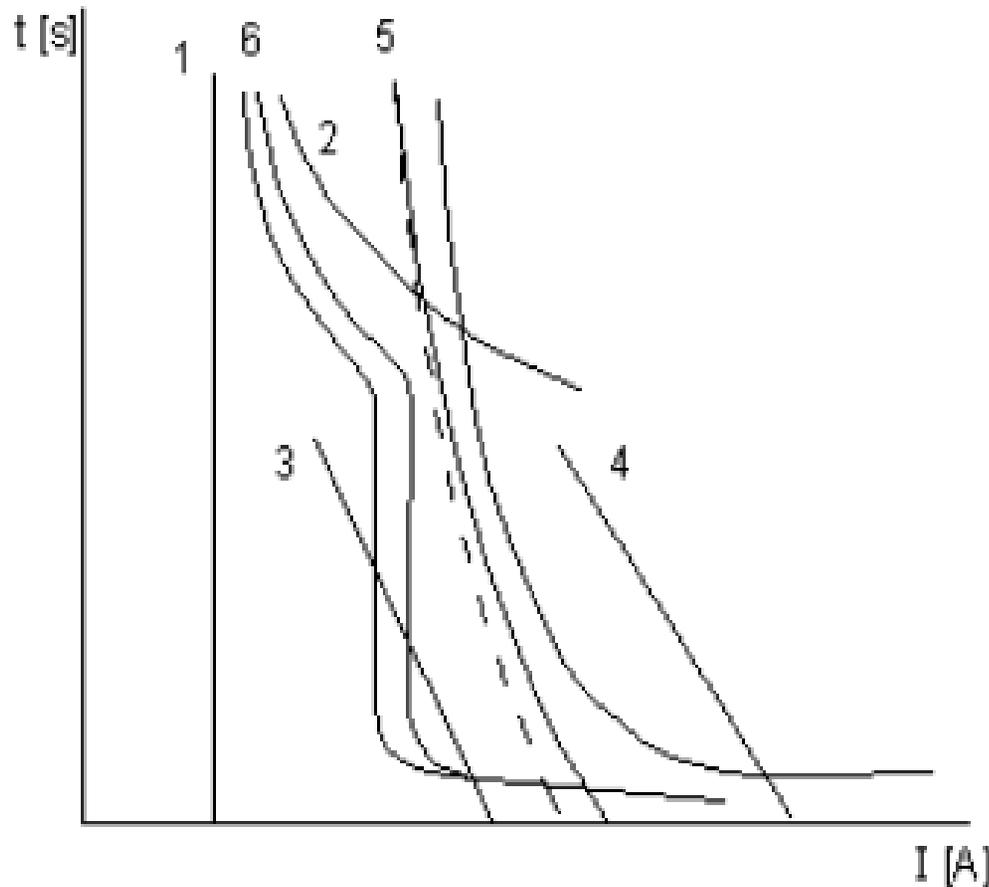
2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES

6. Protección con fusibles del secundario de transformadores pequeños:

Con frecuencia en el secundario van interruptores termomagnéticos en lugar de fusibles, el interruptor termomagnético debe seleccionarse de acuerdo con la capacidad corriente en el lado secundario y criterio de sobrecarga establecido, de tal forma que para lograr la coordinación deben referirse todos valores de corriente al lado primario, vigilando que sean cubiertos todos los puntos de la curva de daño del transformador. (ver figura 12.46)..

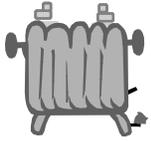


2. PROTECCIÓN CON FUSIBLES



1. Corriente nominal del transformador.
2. Curva de daño del transformador.
3. Curva de energización.
4. Curva de daño del conductor BT.
5. Fusible de expulsión en el primero.
6. Interruptor termomagnético de BT.

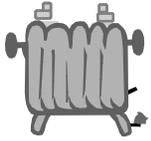
FIGURA 12.46. Coordinación de protección del transformador de distribución.



3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

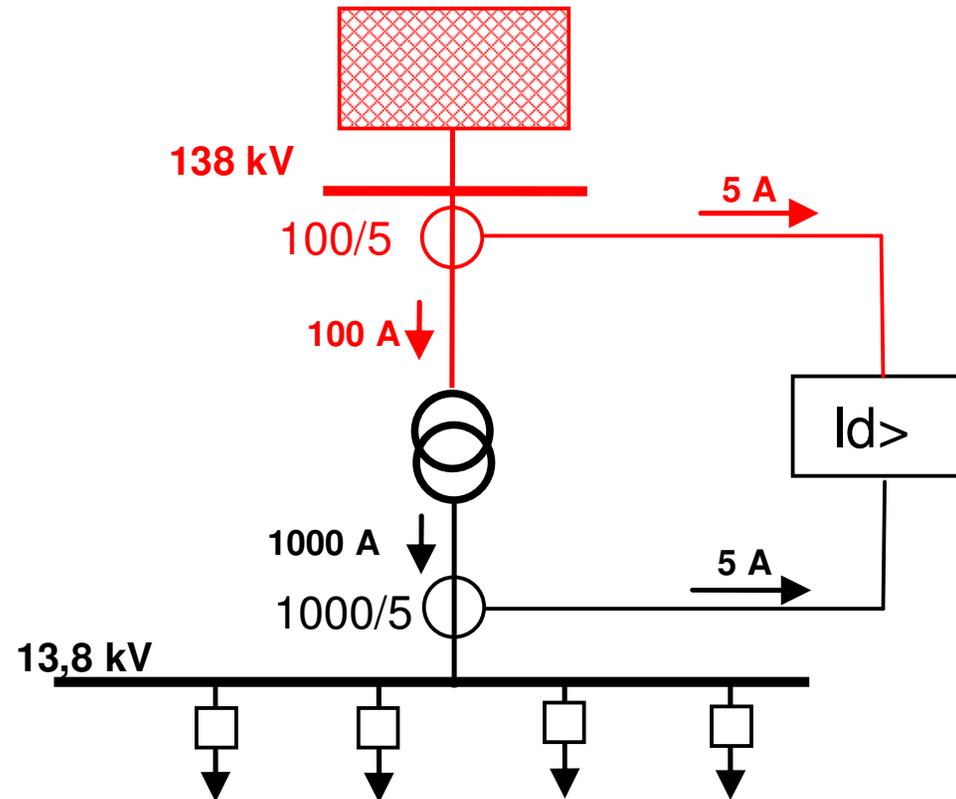
El relé diferencial de corriente es el tipo de protección usada más comúnmente para transformadores de 10 MVA en adelante.

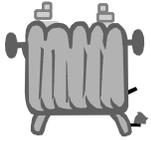
La protección diferencial es muy apropiada para detectar las fallas que se producen tanto en el interior del transformador como en sus conexiones externas hasta los transformadores de corriente asociados con esta protección.



3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

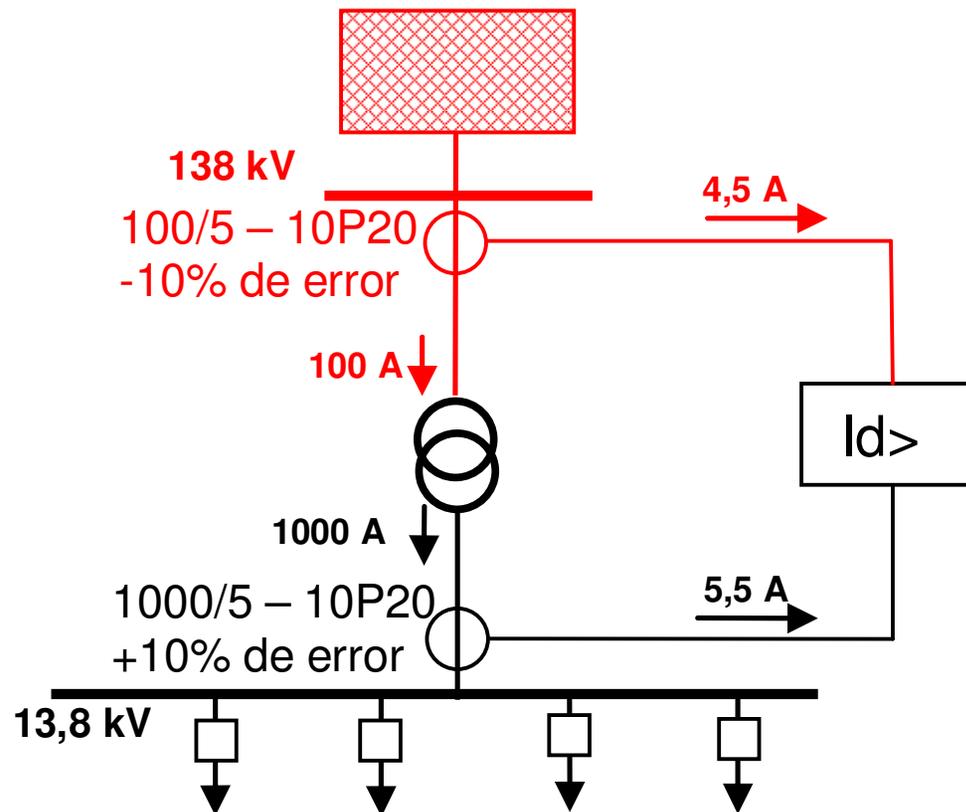
✪ Carga nominal

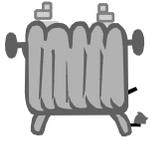




3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

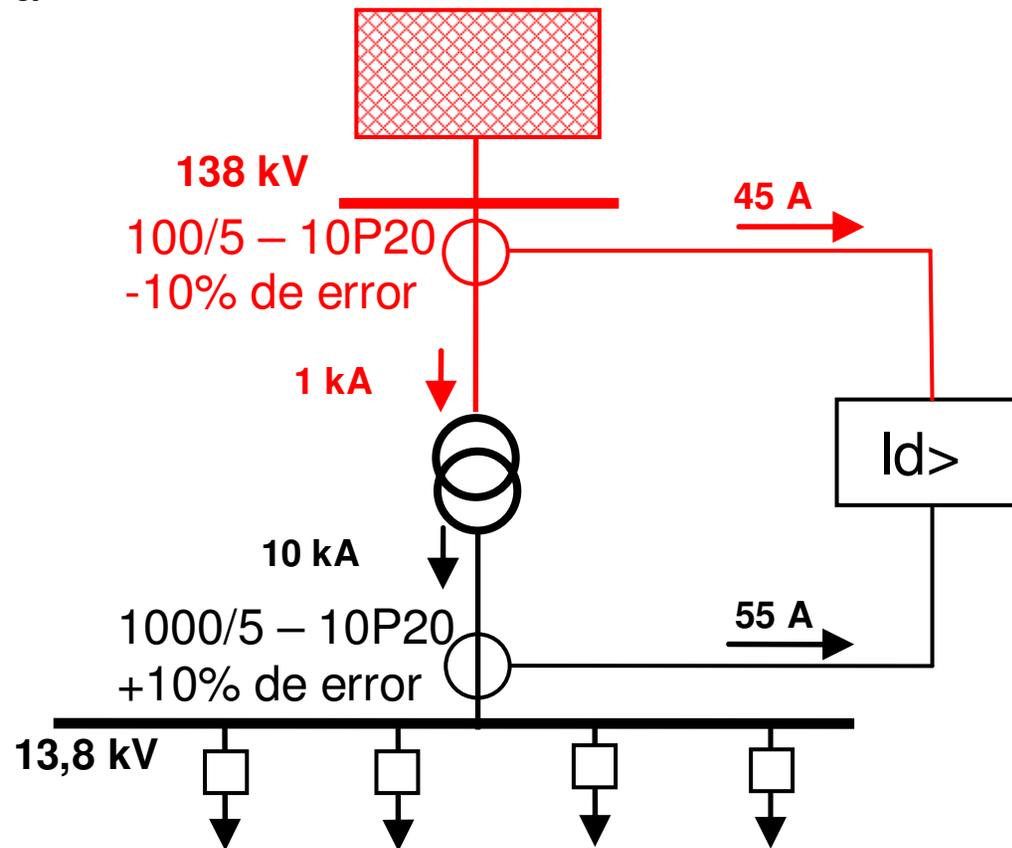
- Carga nominal y error CTs

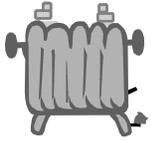




3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

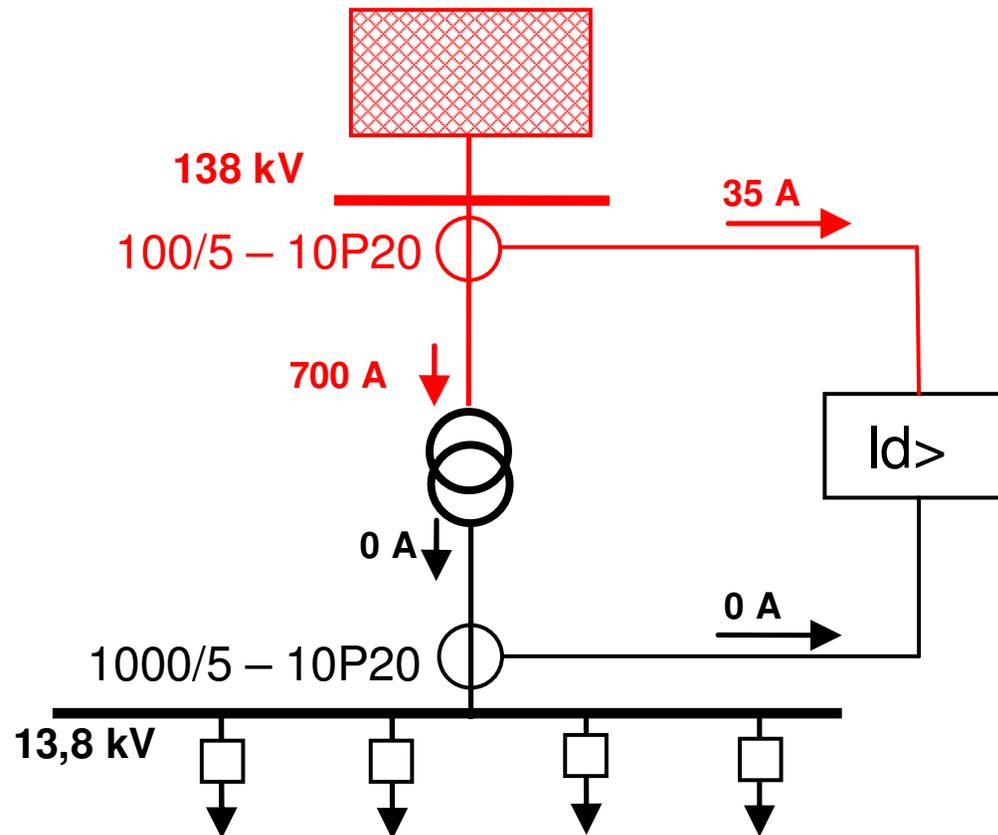
☉ Falla externa

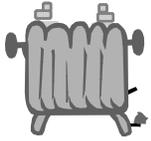




3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

⊕ Energización

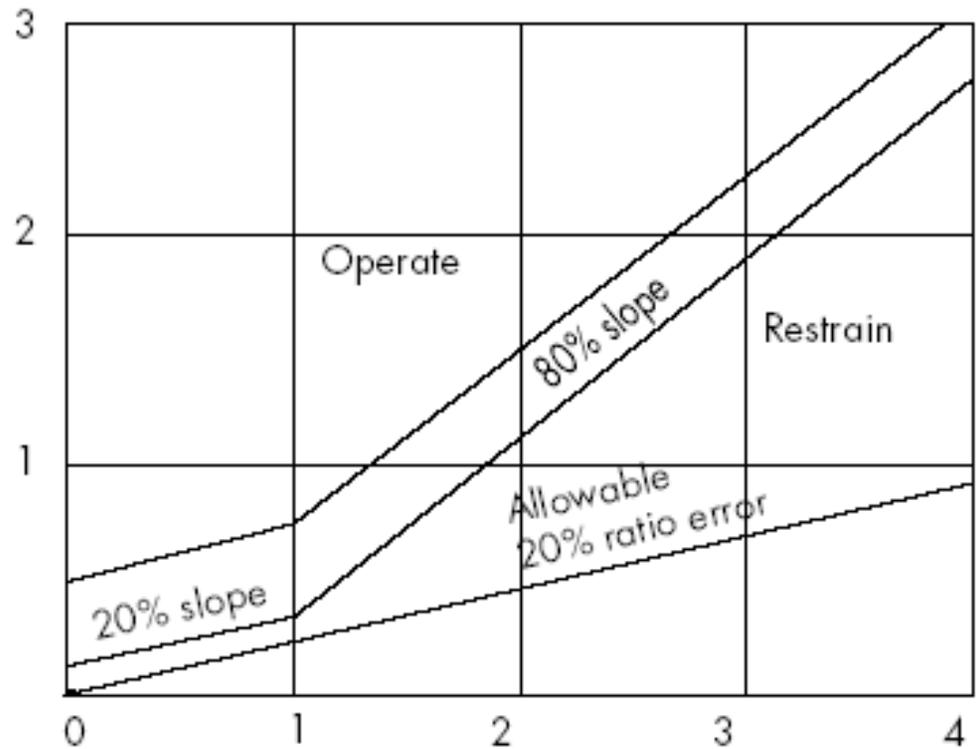




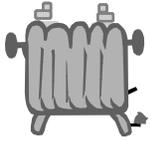
3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

$$\text{Differential current (xI}_n\text{)} = \overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} + \overline{I_4}$$

Setting range
 $0.1 - 0.5I_n$



$$\text{Effective Bias (xI}_n\text{)} = \frac{|I_1| + |I_2| + |I_3| + |I_4|}{2}$$

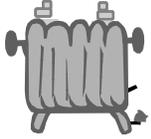


3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

ALCANCE DE LA ZONA DE PROTECCIÓN

El alcance depende de los CT's de donde se tomen las señales de corriente para el relé diferencial

CONEXIÓN DIFERENCIAL LARGA	CONEXIÓN DIFERENCIAL CORTA
Se utilizan los CT's de los campos de conexión	Se utilizan los CT's de los bujes del transformador.
Protege para fallas internas en el transformador y también para fallas en las conexiones a los campos	Protege únicamente para fallas internas dentro del transformador



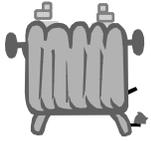
2. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

Factores a considerar en el ajuste de la PD

Selección de la corriente diferencial de umbral.

Para elegir el umbral de ajuste más adecuado para la protección diferencial del transformador, se realizan fallas externas monofásicas y trifásicas y se determinan las corrientes diferenciales que circularán por el relé para cada una de ellas.

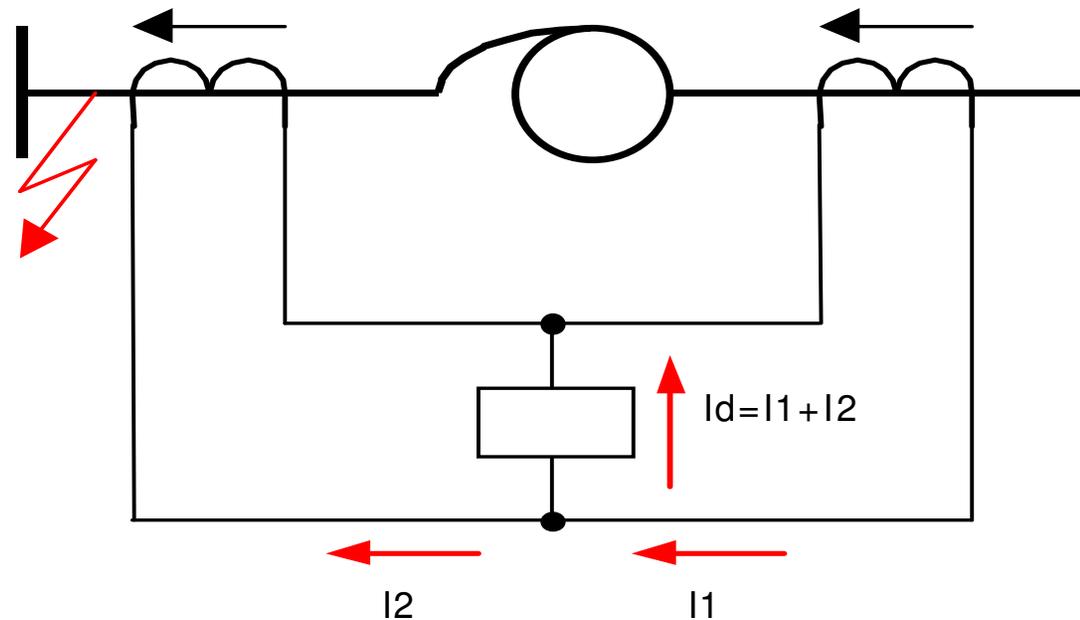
La corriente diferencial de umbral se ajusta a un valor por encima de la máxima corriente obtenida en las simulaciones con un margen de seguridad que garantice su estabilidad ante fallas externas.



2. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

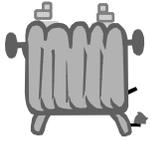
Factores a considerar en el ajuste de la PD

Selección de la corriente diferencial de umbral.



Protección diferencial de autotransformador ante falla externa



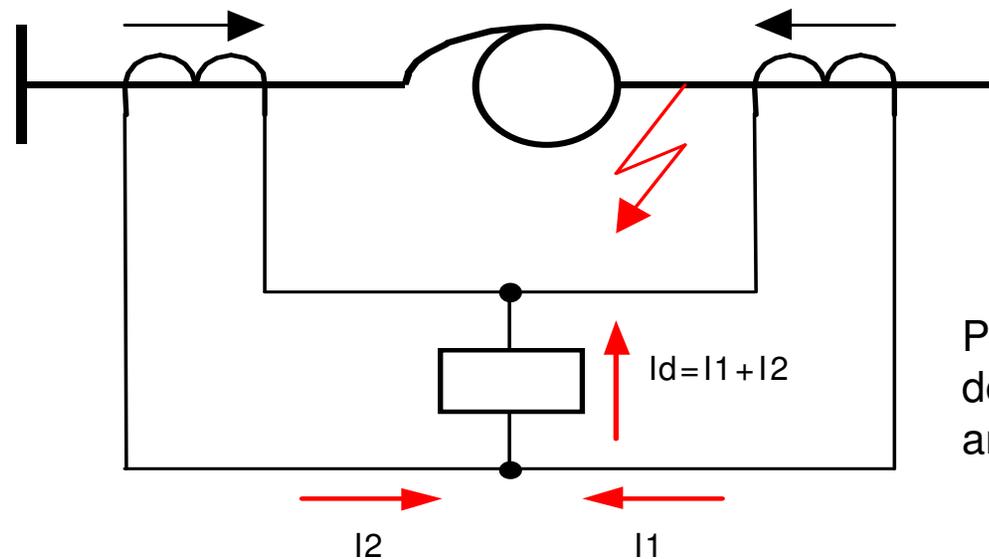


2. PROTECCIÓN DIFERENCIAL

Factores a considerar en el ajuste de la PD

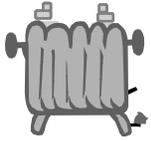
Verificación de la sensibilidad de la PD ante falla interna.

Se simulan fallas internas en el elemento protegido y el valor de corriente obtenido debe ser mucho mayor que la corriente de umbral seleccionada, para garantizar una alta sensibilidad en el relé.



Protección diferencial
de autotransformador
ante falla interna

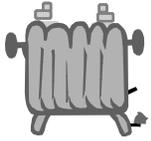




4. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

La protección de sobrecorriente en transformadores de potencia, se utiliza como protección de respaldo de la protección diferencial y para fallas externas. Los relés de sobrecorriente sólo se utilizan como protecciones principales en los transformadores cuando el costo de la protección diferencial no se justifica.

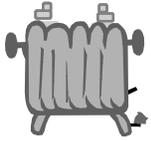
A continuación se presentan algunos criterios para el ajuste de los relés de sobrecorriente tanto de fases como de tierra.



4. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

1) PROTECCIÓN DE FASES

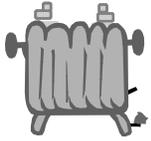
Cuando se requiere la sobrecarga del transformador y para permitir la buena operación del relé, el valor de ajuste de la corriente de arranque debe ser mayor a la corriente de sobrecarga esperada. El valor de arranque se recomienda tomarlo como un 130% de la corriente nominal del transformador (en refrigeración forzada) y el dial y la curva se determina de acuerdo con el estudio de cortocircuito.



4. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

1) PROTECCIÓN DE FASES

Para los relés de sobrecorriente de fases se hace un análisis integral, es decir, se simulan fallas bifásicas aisladas en puntos cercanos al transformador, tanto por el lado de alta como por el lado de baja y se observan las magnitudes de las corrientes por todos los relés para las diferentes fallas, se establece un ajuste primario para cada uno de los relés de sobrecorriente de fases y se verifica la coordinación entre ellos, de tal forma que cuando la falla ocurra en cercanías al relé éste opere primero y los demás operen selectivamente.

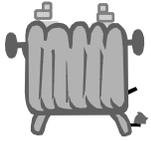


4. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

1) PROTECCIÓN DE FASES

Esta metodología se debe aplicar en generación máxima para ajustar los relés en el punto donde es más difícil coordinarlos.

Además se debe verificar que el ajuste obtenido del relé (dial y curva característica) se ubique por debajo de la curva de soportabilidad del transformador, para garantizar que el equipo no sufrirá daño.

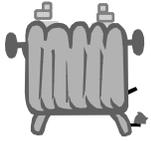


4. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

2) PROTECCIÓN DE FASES INSTANTÁNEA

No es recomendable el uso de la unidad instantánea para protección de transformadores ya que se pueden presentar operaciones indeseadas ante corrientes de energización o por fallas en otros niveles de tensión. Cuando esta unidad se utiliza, su ajuste debe ser superior a la máxima corriente subtransitoria asimétrica para una falla en el lado de baja tensión del transformador.

Así mismo, la unidad instantánea se debe ajustar en un valor superior a la corriente “inrush” del transformador, para evitar disparos inadecuados.

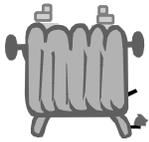


4. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

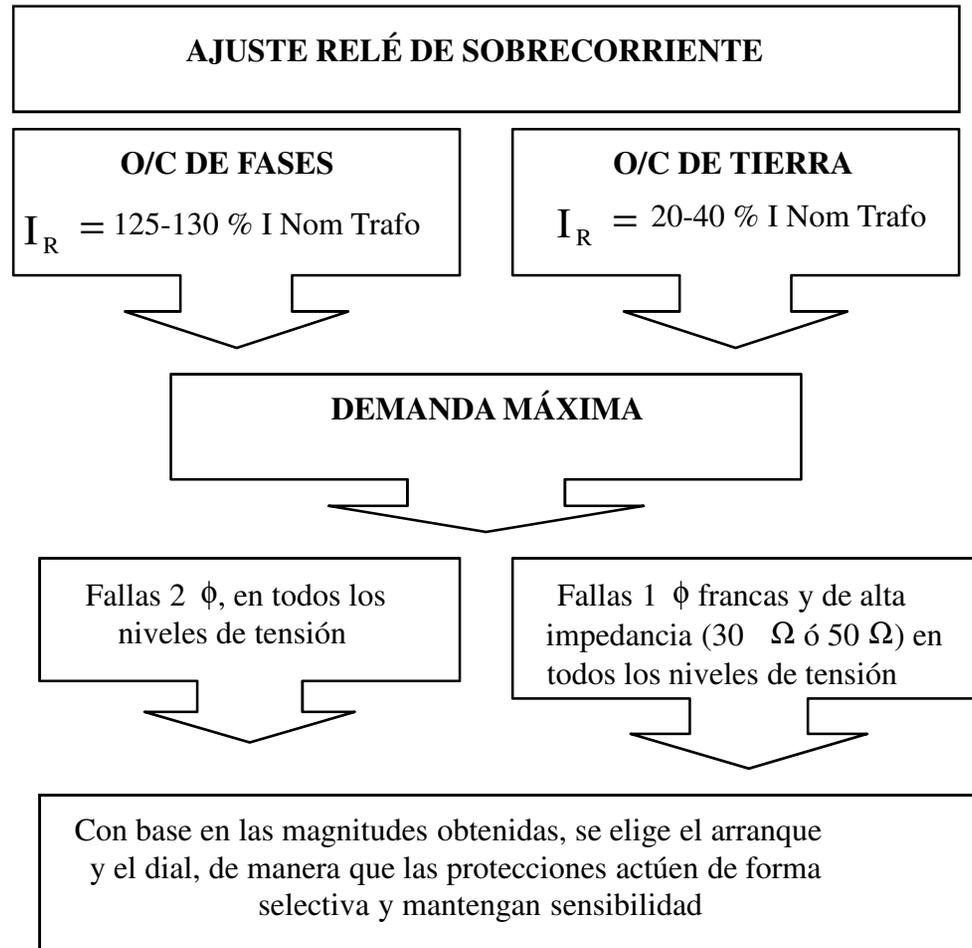
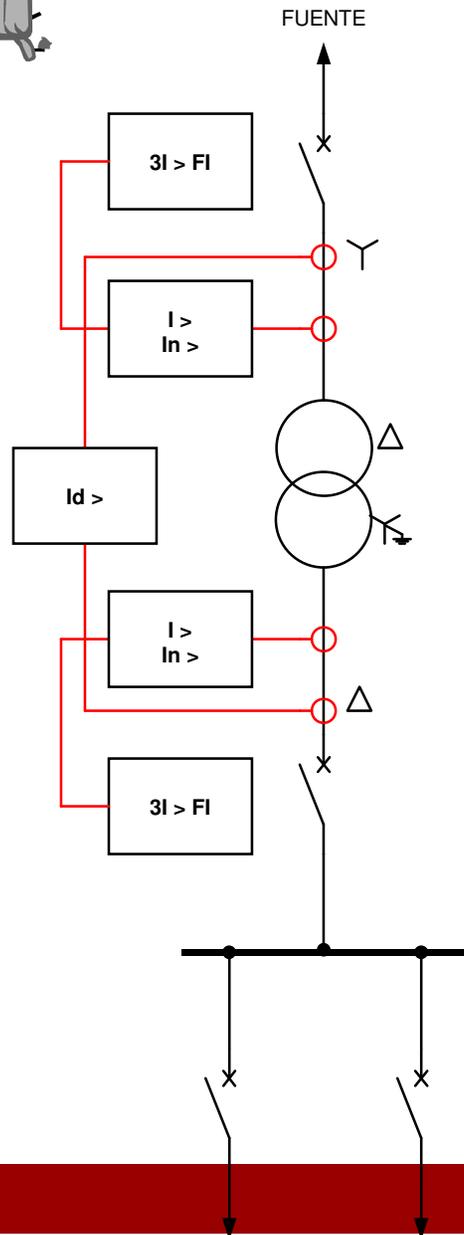
3) PROTECCIÓN DE FALLA A TIERRA

El valor de arranque de los relés de sobrecorrientes de tierra se recomienda en un valor del 40% de la corriente nominal del transformador, dado que los niveles de desbalance esperados en el sistema son inferiores este valor. El dial y la curva se determinan de acuerdo con el estudio de corto circuito.

Para el ajuste de los relés de sobrecorriente de tierra, se simulan fallas monofásicas francas y de alta impedancia (30Ω ó 50Ω) en varios puntos del sistema (varios niveles de tensión del transformador), se registran las corrientes residuales y a partir de estos resultados se escogen los ajustes más adecuados haciendo las verificaciones del caso y cuidando de que estos relés queden con un alto grado de sensibilidad, manteniendo una selectividad apropiada.

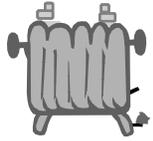


PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE



No es recomendable el uso de sobrecorriente instantáneas!!!





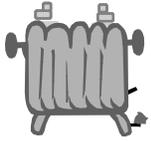
5. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

La protección contra sobretensiones se lleva a cabo con los dispositivos previstos en las instalaciones para la coordinación de aislamiento (pararrayos).

El aislamiento de los transformadores corresponde a un nivel superior, mientras que los pararrayos constituyen un nivel inferior o nivel de protección.

Si el transformador dispone de un cambiador de taps, es necesario para asegurar la protección instalando un pararrayo en el borne neutro.





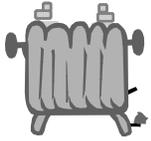
6. PROTECCIÓN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



Para aquellos transformadores que por su potencia necesitan de refrigeración forzada, en caso de falla de las instalaciones auxiliares para lograr esta refrigeración, la potencia de los transformadores debe ser reducida de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Para este caso, aparte de las alarmas que indiquen una situación de falla, deberá disponerse de un automatismo que al cabo del tiempo permitido desconecte el transformador. Este resultado puede obtenerse con un control por termómetro de contacto de la temperatura del aceite.



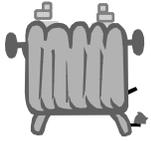


7. PROTECCIÓN DE SOBRECARGA

Un transformador debe ser capaz de soportar sobrecargas durante períodos cortos de tiempo, pero es necesario controlar estas sobrecargas con el fin de evitar un envejecimiento prematuro del aislamiento de los devanados.

Para este control se suele utilizar una protección térmica y un control de la temperatura del aceite.

Las protecciones térmicas clásicas consisten en un relé que controla la corriente que circula por el transformador. Esa corriente incide sobre un bloque metálico que provoca su actuación por acción del calor, ofreciendo constantes de tiempo hasta su actuación de 15 a 80 minutos.

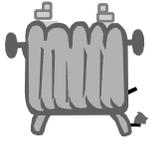


7. PROTECCIÓN DE SOBRECARGA

El inconveniente de este sistema es que sólo controla la corriente circulante y no está asociado a la temperatura del aceite del transformador.

Los nuevos sistemas combinan ambas magnitudes, con lo cual se obtiene un resultado satisfactorio y se reducen los riesgos de funcionamiento indeseados. Adicionalmente, continúa utilizándose un control por termostato o por termómetro de contacto, de la temperatura del aceite.





8. PROTECCIONES MECÁNICAS

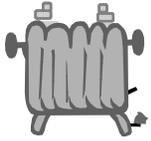
8.1 INTRODUCCIÓN

La acumulación de gases o cambios de presión al interior del tanque del transformador son buenos indicadores de fallas internas. En muchos casos, son más sensibles a fallas internas que no son detectadas por la diferencial u otros relés y en caso de fallas incipientes de lento crecimiento.

Es importante aclarar que su operación está limitada a problemas al interior del tanque del transformador, pero no ante fallas en los bujes o conexiones externas de los CT's.

Estas protecciones son ajustadas por el fabricante y no requieren la intervención del usuario.



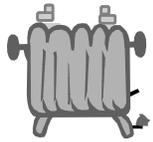


8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.2 RELÉ DE PRESIÓN SÚBITA (SPR)

Estos son aplicables en transformadores inmersos en aceite. Un tipo de estos relés opera ante cambios imprevistos en el gas encima del aceite, otros operan ante cambios súbitos de presión del mismo aceite, que se originan durante fallas internas.

Este relé no opera por presiones estáticas o cambios de presión resultantes de la operación normal del transformador que pueden ocurrir ante cambios de carga y de temperatura. Normalmente da disparo, aunque también puede colocarse para dar alarma.

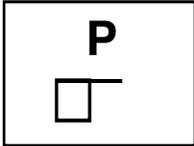


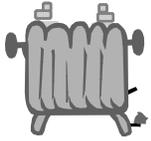
8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.2 RELÉ DE PRESIÓN SÚBITA (SPR)

El tiempo de operación del relé varía desde medio ciclo hasta 37 ciclos dependiendo de la magnitud de la falla. Este relé se recomienda aplicarlos para todos los transformadores con capacidad superior a 5 MVA.

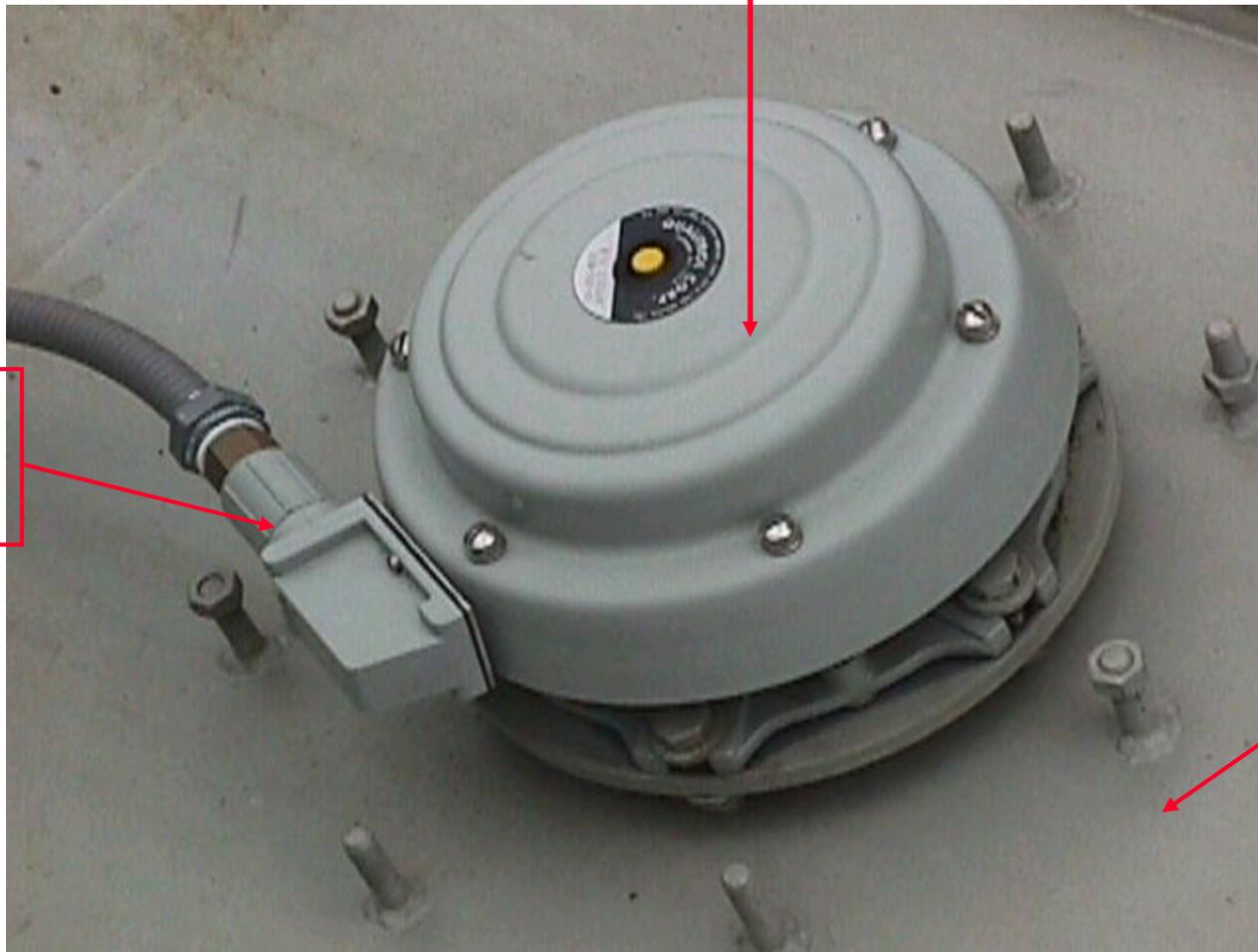
SIMBOLOGÍA:

ANSI/IEEE	IEC
63P	



8. PROTECCIONES MECÁNICAS

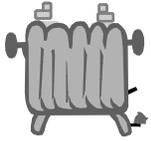
8.2 RELÉ DE PRESIÓN SÚBITA (SPR)



Señales de salida del relé

Cuba del transformador





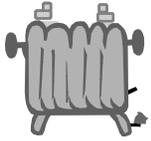
8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.3 RELÉ BUCHHOLZ

Este es una combinación de acumulador de gas y relé de aceite y solamente se aplica a los transformadores con tanque conservador de aceite instalado en la parte superior del tanque principal.

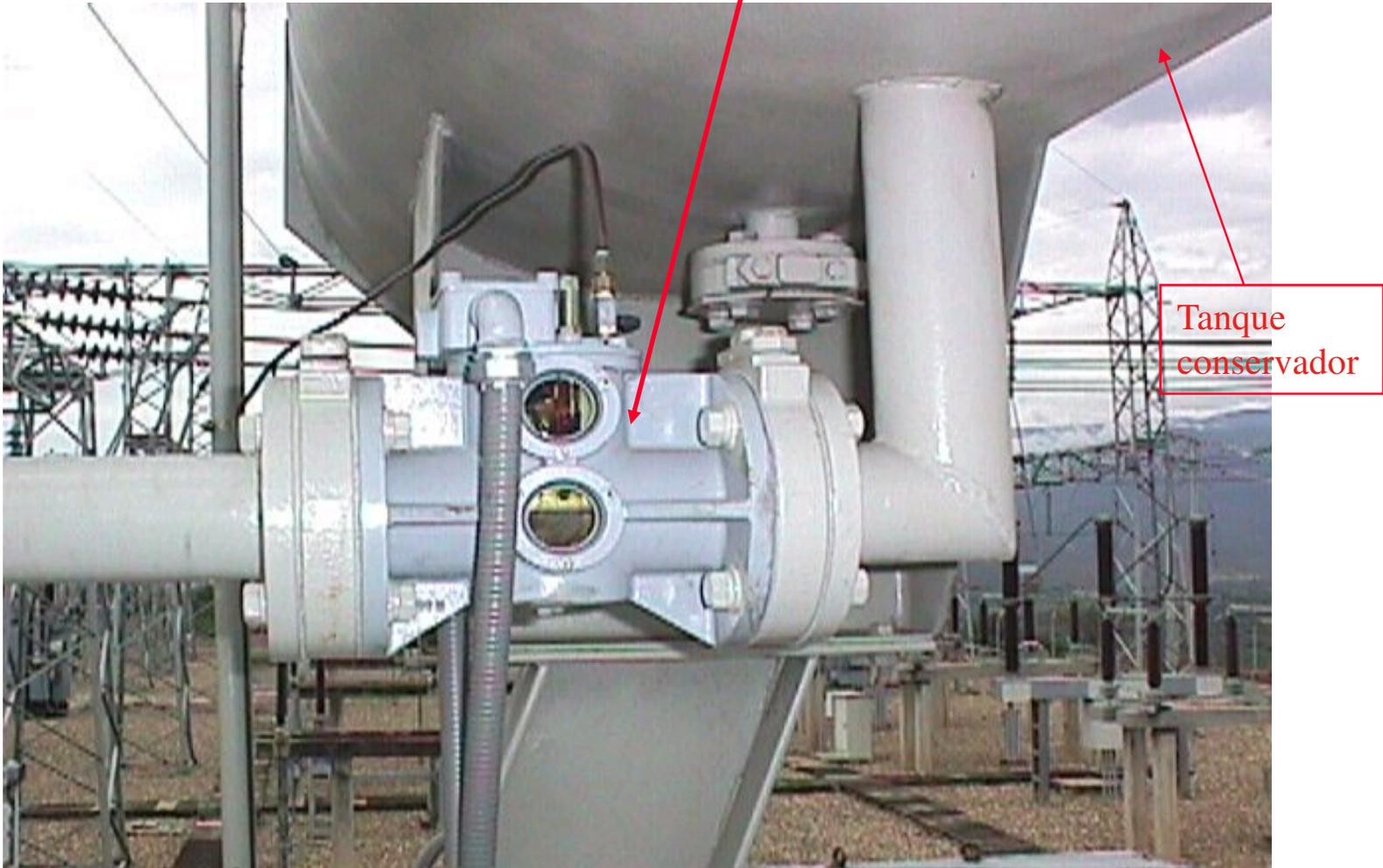
Este relé posee dos dispositivos:

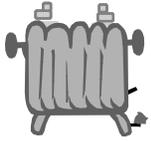
- Una cámara de recolección de gas en el cual se acumula el gas resultante de la ruptura de aislamiento por la presencia de un arco eléctrico leve. En la primera etapa, el relé da alarma.
- Un dispositivo que se opera por el movimiento repentino del aceite a través de la tubería de conexión cuando ocurren fallas severas, cerrando unos contactos que dan disparo a los interruptores del transformador.



8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.3 RELÉ BUCHHOLZ



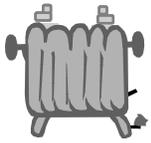


8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.3 RELÉ BUCHHOLZ

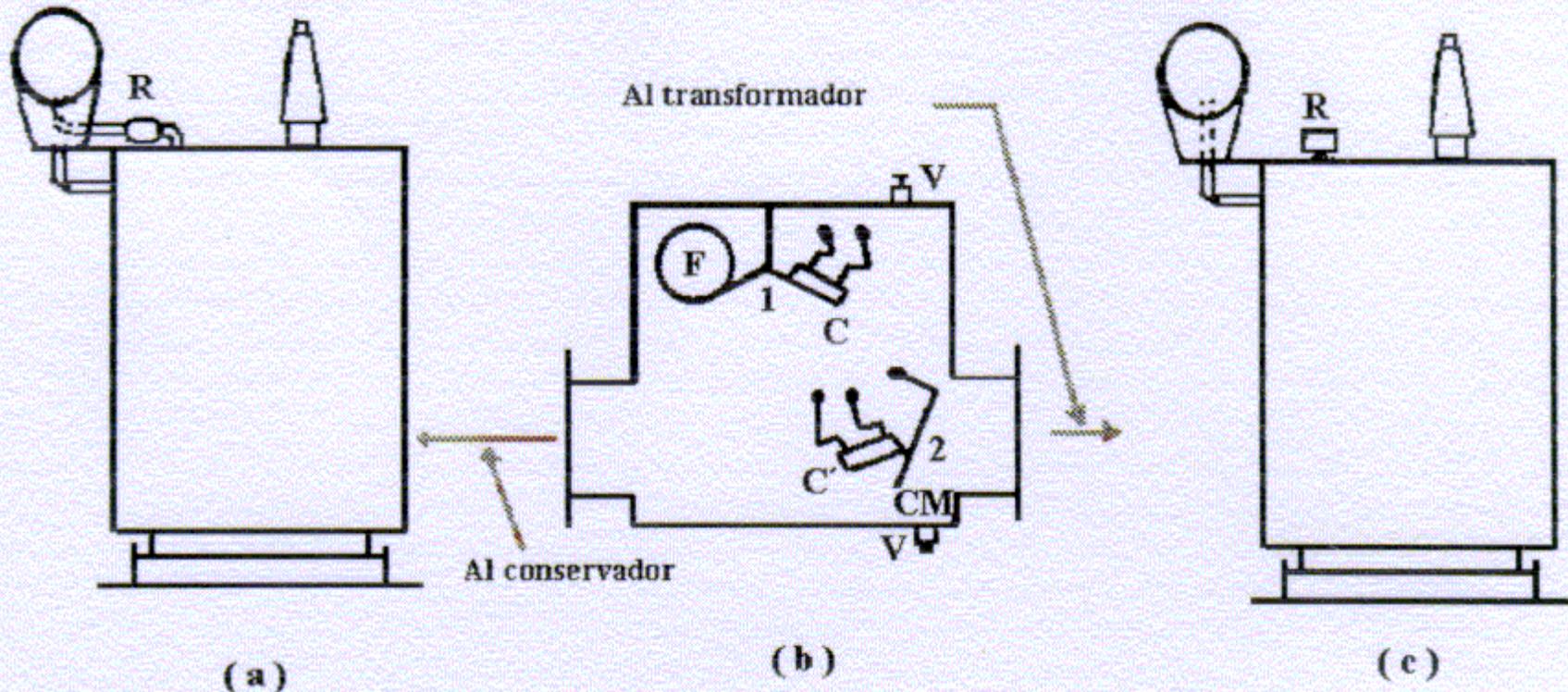
El relé se aplica a transformadores con aceite y que poseen un tanque conservador (utilizado en Europa, Canadá, Colombia). El relé se instala en el tubo que conecta el tanque del transformador y el tanque conservador, como se muestra en la figura a. El diagrama esquemático de una variante constructiva típica se muestra en la figura b.

Los relés basados en incremento de presión se aplican a transformadores sin tanque conservador. En estos transformadores el tanque no está totalmente lleno de aceite sino que por lo general contiene además un gas noble. El relé se coloca en la parte superior del transformador. Ver figura c.



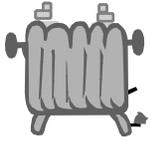
8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.3 RELÉ BUCHHOLZ



RELÉS DE DETECCIÓN DE GAS (a, b) Y DE INCREMENTO DE PRESION (c) DE TRANSFORMADORES

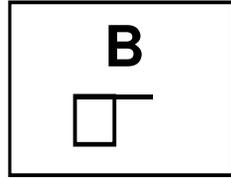
Figura 10.23

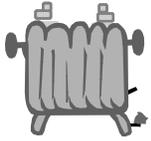


8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.3 RELÉ BUCHHOLZ

SIMBOLOGÍA:

ANSI/IEEE	IEC
63B	



8. PROTECCIONES MECÁNICAS

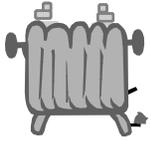
8.3 RELÉ BUCHHOLZ

La posible causa de la falla se puede determinar de acuerdo al color del gas acumulado, así:

COLOR DEL GAS	CAUSA DE LA FALLA
Gris	Descomposición del aceite
Amarillo	Fallas en partes de madera
Blanco	Falla en papel

Los relés Buchholz pueden operar incorrectamente por efecto de vibraciones.





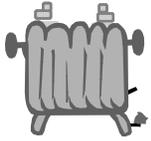
8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.4 DETECTORES DE NIVEL DE ACEITE

Este relé origina disparo cuando el nivel de aceite no es el requerido, ya que existe un nivel mínimo de aceite que debe tener el transformador para seguir operando sin afectar la vida útil del mismo.

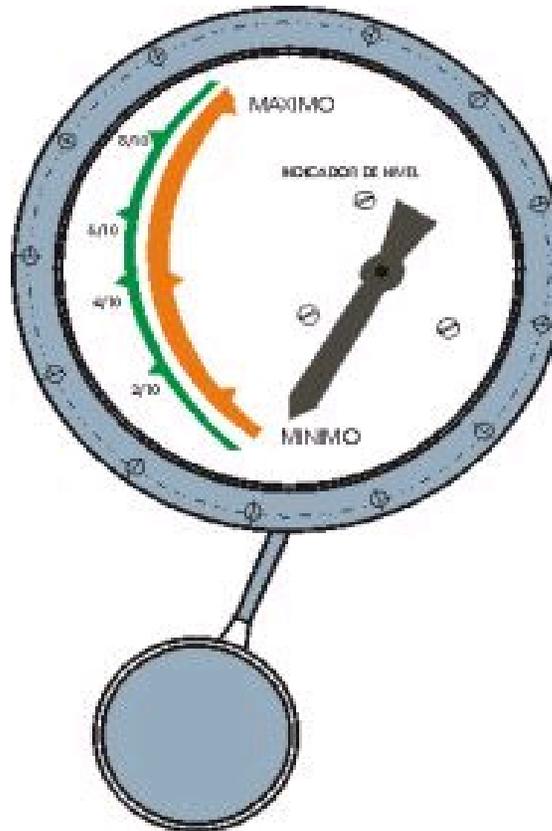
La aguja indicadora es operada magnéticamente por el movimiento de un flotador que sigue el nivel del líquido, ya sea en la cuba o en el tanque conservador.

Normalmente tiene dos etapas de funcionamiento, la de alarma y la de disparo.



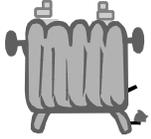
8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.4 DETECTORES DE NIVEL DE ACEITE



Tipo Carátula



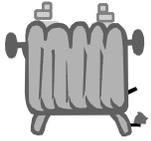


8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.5 DETECTORES DE TEMPERATURA

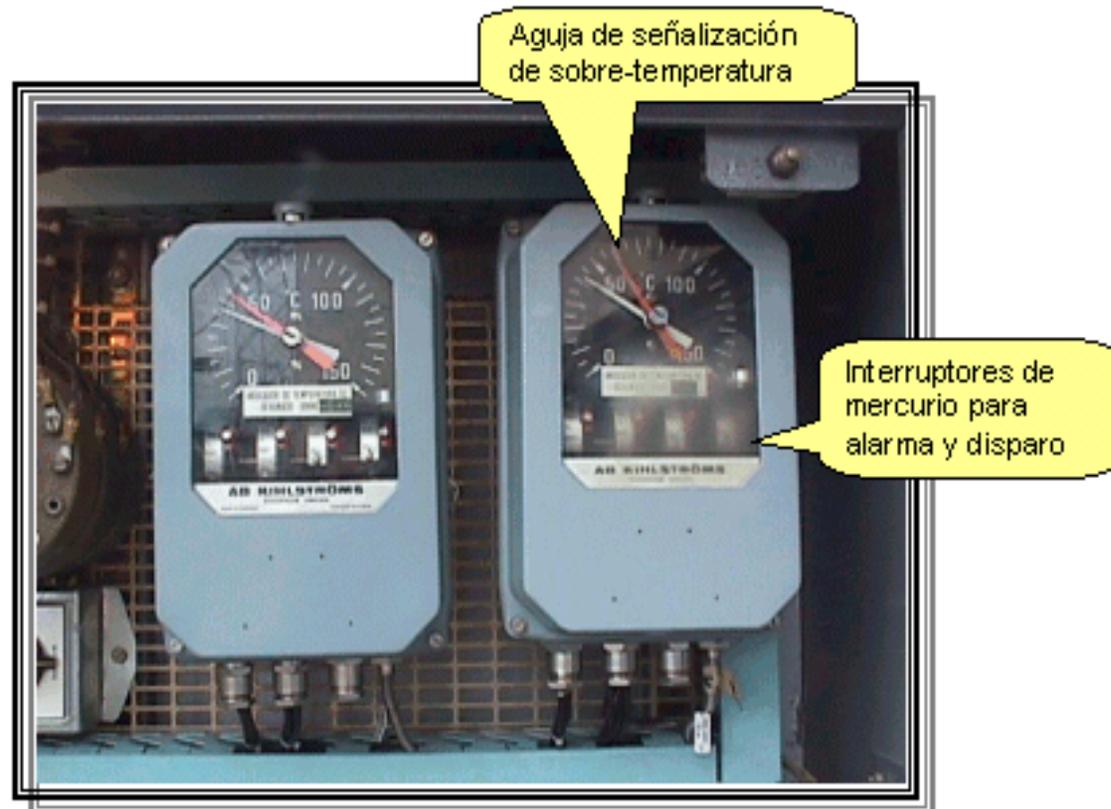
Estos pueden consistir en termómetros o resistencias de temperatura (RTD), que se instalan en los devanados del transformador para detectar temperaturas altas que se puedan presentar por sobrecargas o daños en el sistema de refrigeración del transformador.

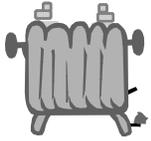
Se debe tener en cuenta que usualmente solo es posible supervisar directamente las temperaturas del aceite, el medio refrigerante (aire o agua) y a veces, de los devanados de baja tensión, debido al costo enorme que representaría aislar los sensores en contacto con los devanados de alta tensión.



8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.5 DETECTORES DE TEMPERATURA



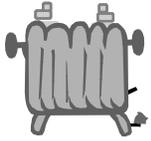


8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.6 RELÉ DE IMAGEN TÉRMICA

Este relé determina la temperatura de los devanados con base en la corriente que circula por ellos y en la temperatura previa del aceite del transformador.

Consiste de una resistencia inmersa en el aceite del transformador y que está conectada a los CT's ubicados a la salida del transformador; el calentamiento de esta resistencia es medida con un sensor de temperatura (RTD o termocupla) para dar alarma, disparo o control del mecanismo de enfriamiento de los transformadores.



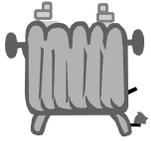
8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.6 RELÉ DE IMAGEN TÉRMICA

Se debe tener en cuenta que este dispositivo es un mecanismo de cálculo analógico, ajustado normalmente por el fabricante del transformador, para estimar, de acuerdo con la carga, la temperatura en los puntos más calientes de los devanados, simulando al mismo tiempo la dinámica de calentamiento del transformador.

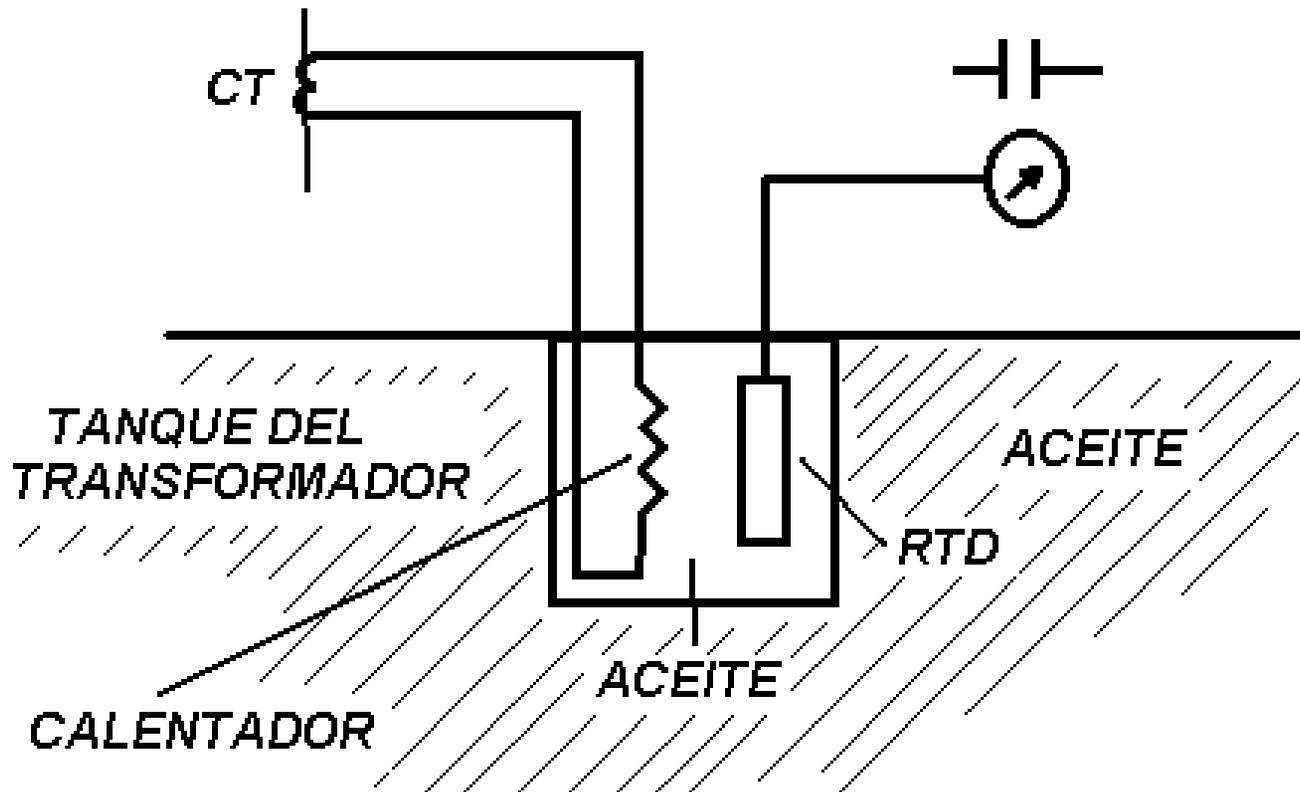
SIMBOLOGÍA:

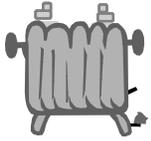
ANSI/IEEE	IEC
49	



8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.6 RELÉ DE IMAGEN TÉRMICA



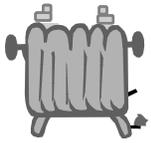


8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.7 SECADOR DE SÍLICA GEL

El desecador de aire es el único aparato que permite intercambios entre el transformador y la atmósfera. Se deben tomar todas la precauciones posibles para que el aire aspirado sea lo más seco posible. El aparato instalado en los transformadores hace las siguientes funciones:

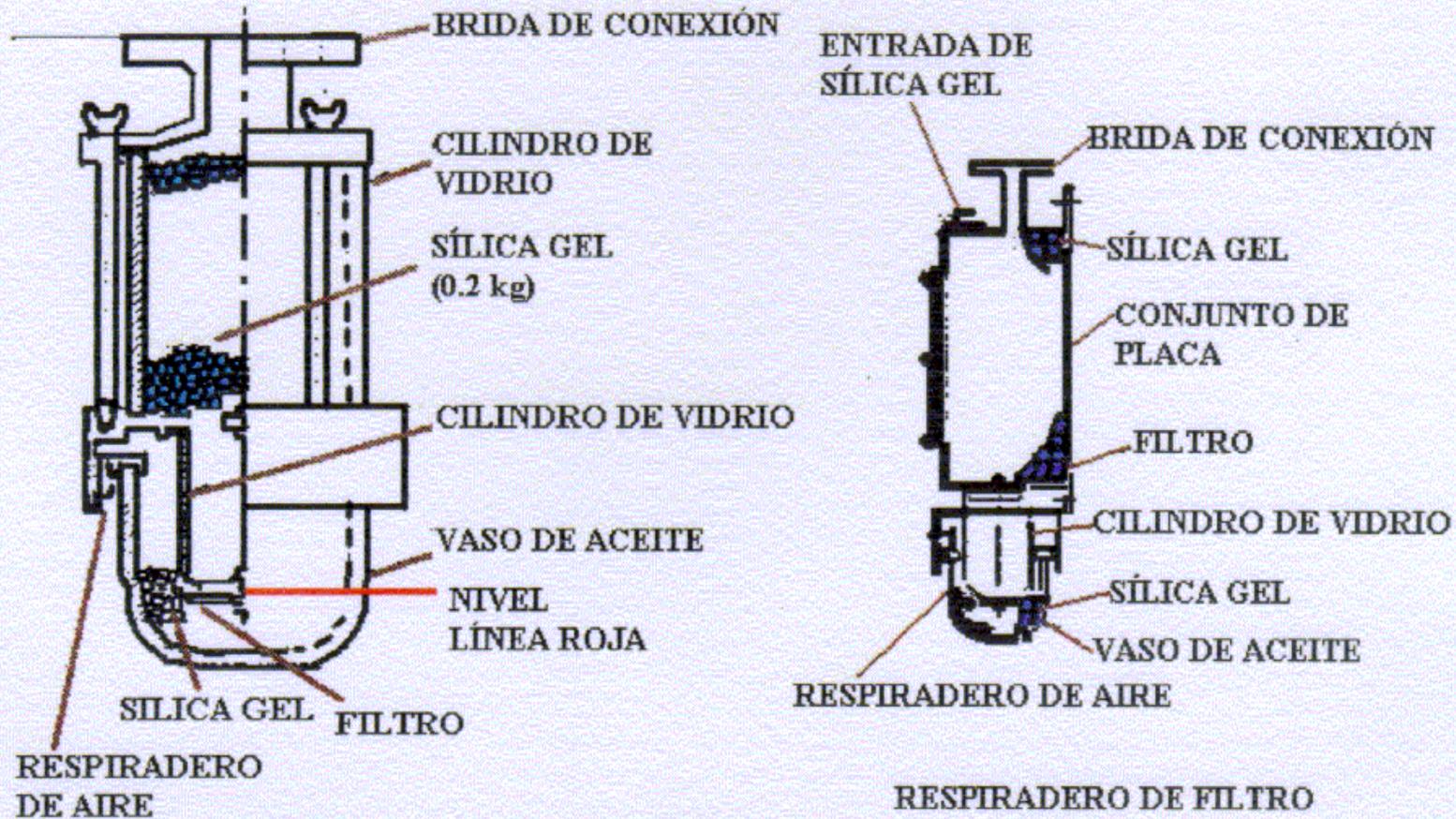
- Disminuye los cambios con la atmósfera debido a un sifón que constituye una junta aceite.
- Obliga al aire aspirado a atravesar lentamente una capa espesa de producto deshidratante (sílica gel) que elimina completamente la humedad presente en el aire.

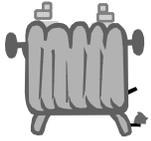


8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.7 SECADOR DE SÍLICA GEL

SECADOR DE SÍLICA GEL





8. PROTECCIONES MECÁNICAS

8.7 SECADOR DE SÍLICA GEL

