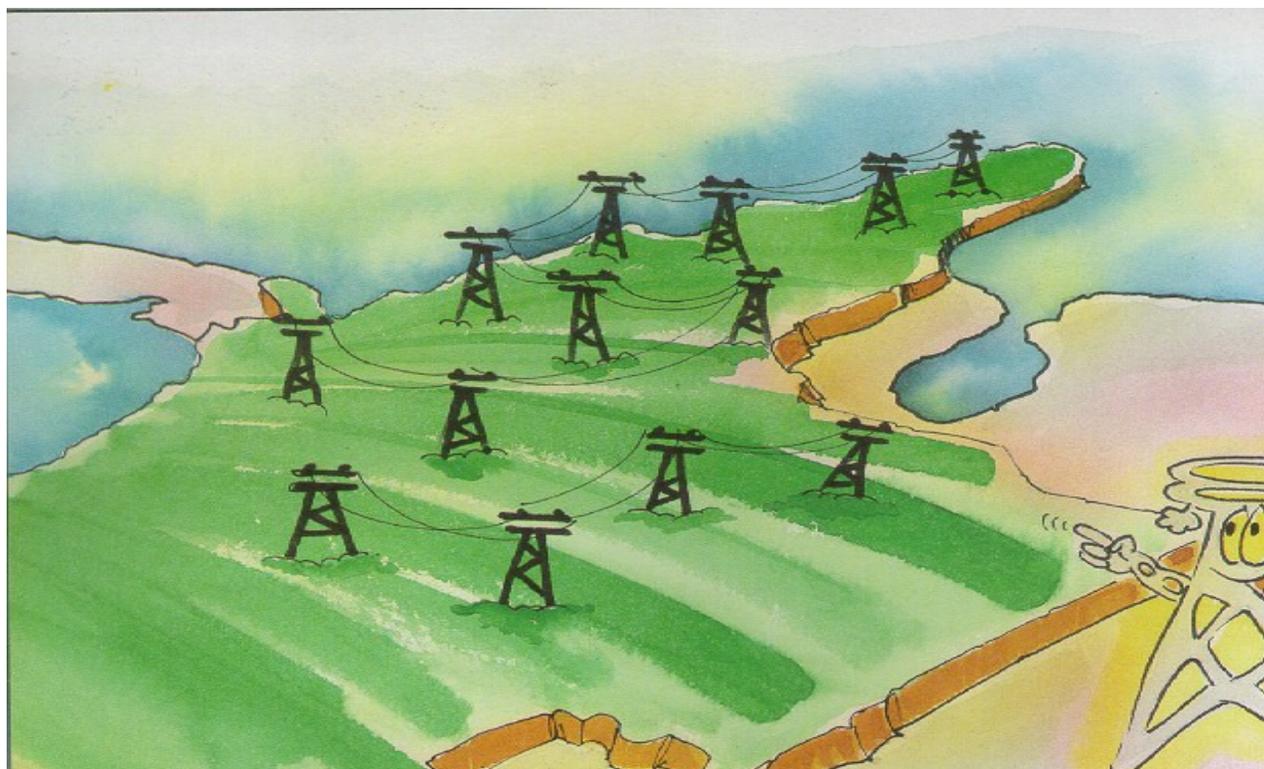




PROTECCIONES – DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN



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 Systemas. 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. HVM - Mejía y Villegas Consultores.



DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN



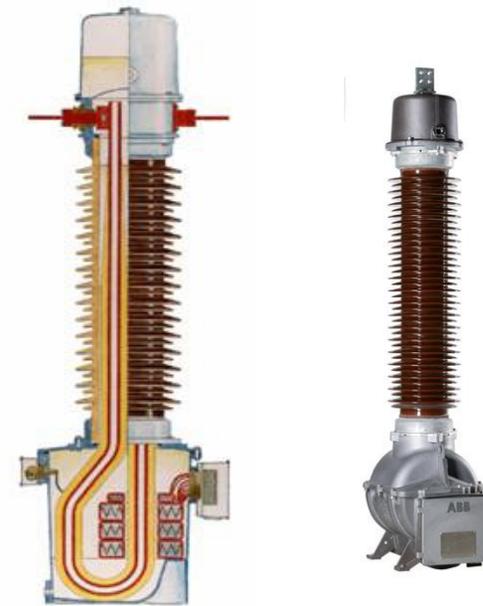
1. Transformadores de medida:
 - Transformador de corriente
 - Transformador de tensión
2. Relés de protección que controlan Interruptores Mayores a 1000 V
3. Interruptores Automáticos
4. Fusibles



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TRANSFORMADORES DE MEDIDA:

La misión de un Transformador de Medida es dar información precisa a los sistemas de medida, control y protección.



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

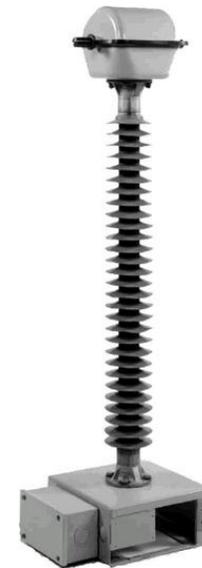
TAREAS DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

- Transformar tensiones (PT) y corrientes (CT) con valores grandes a valores fáciles de manejar por los relés, equipos de supervisión y de medida.
- Aislar el circuito de medida del sistema primario de alta tensión.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TAREAS DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

- Posibilitan la normalización de relés y equipos de medida a unos bajos valores de tensiones y corrientes nominales.

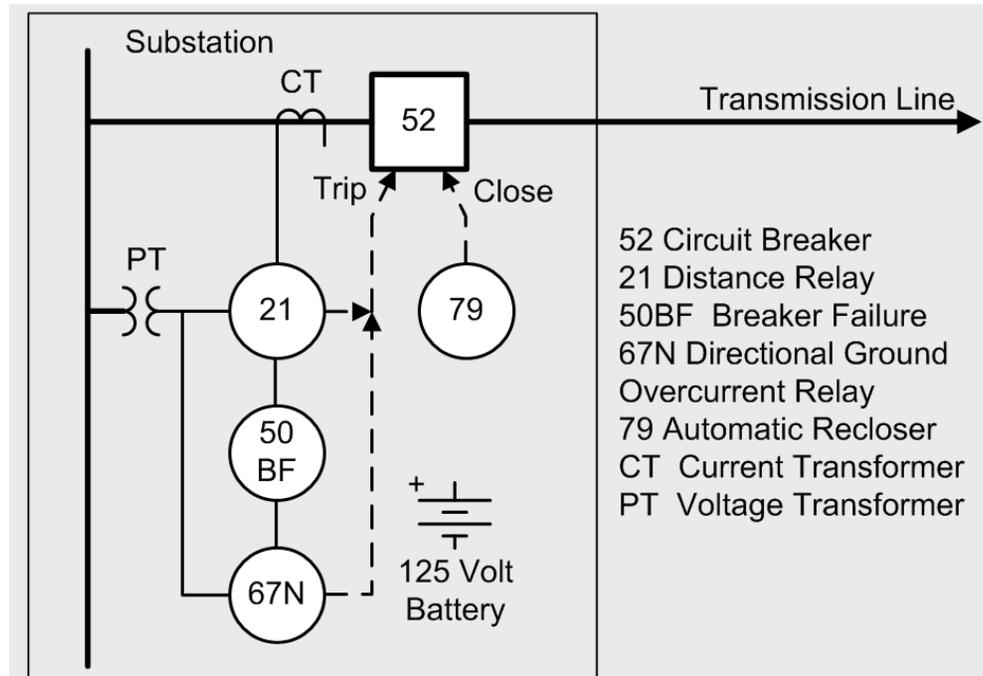


MOCT
MAGNETO-OPTICO

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TAREAS DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

- Evitan la conexión directa entre los instrumentos de medida y protección con los circuitos de alta tensión que sería peligroso para el operario.



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

FUNCIÓN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

El transformador de corriente tiene las siguientes funciones:

- Aislar los circuitos de medición y protecciones de las altas tensiones, permitiendo que los relés, equipos de medición y equipos de registro sean aislados solo para baja tensión. Por ejemplo, se pasa un sistema de 500 kV en el primario a un sistema de 600 V en baja tensión.
- Disminuir la corriente que circula a través de los circuitos de protección y medida a niveles que sean fácilmente manejables. Por ejemplo, se pueden tener 1000 A de corriente nominal en el primario y 1 A de corriente nominal en el secundario.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

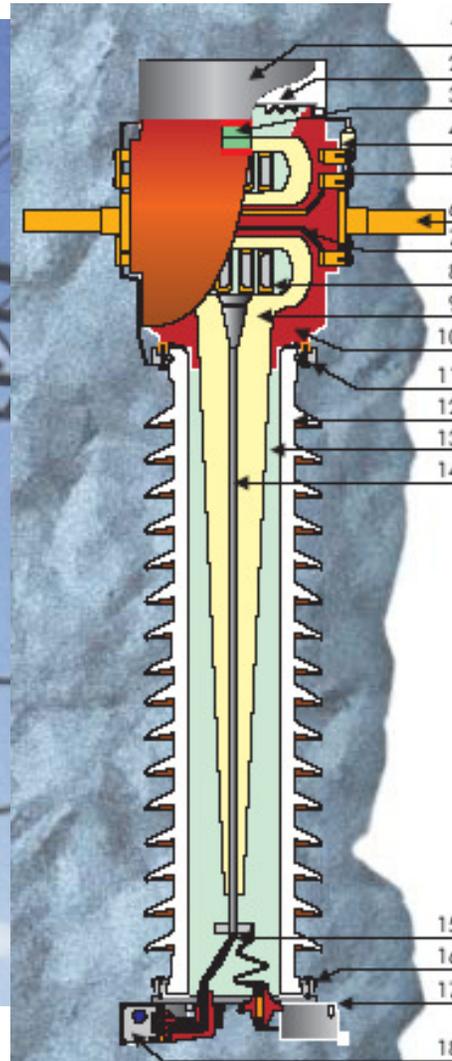
APLICACIÓN

Los transformadores de corriente se aplican básicamente en:

- Circuitos de protecciones: para llevar las corrientes a los equipos de protecciones y equipos de registro de falla.
- Circuitos de medición: proporcionan la corriente necesaria para todos los equipos de medición tales como amperímetros, vatímetros, unidades multifuncionales de medida, contadores de energía, transductores para telemedida, etc.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE



Componentes

1. Domo de Aluminio
2. Membrana
3. Indicador de nivel de aceite
4. Limitador de sobretensión
5. Barras de conexión
6. Bornes primarios
7. Devanado primario
8. Devanados secundarios
9. Aislamiento papel-aceite
10. Cabeza encapsulada en resina
11. Brida superior de fijación del aislador
12. Aislador de porcelana
13. Aceite aislante
14. Electrodo baja tensión
15. Conexiones secundarias
16. Brida inferior
17. Base
18. Caja de bornes de baja tensión.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

La especificación de transformadores de corriente depende de las características del circuito al que estará asociado y de los equipos de control o protecciones a los cuales les proporcionará la corriente. Los principales factores que definen las características necesarias de un transformador de corriente son las siguientes:

- Corriente nominal del circuito al cual se le medirá la corriente.
- Tipo de aplicación: protección o medida.
- Corriente de cortocircuito máxima del circuito, esta característica es fundamental si el transformador de corriente es para protección.
- Carga secundaria. Ohmios o voltamperios de los equipos de medida o protección que se conectarán y de los respectivos cables.
- Corriente nominal secundaria

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CORRIENTE NOMINAL

La corriente nominal primaria debe ser igual o superior a la corriente máxima del circuito en operación normal. Se sugiere que la corriente nominal del CT sea entre un 10% y un 40% superior a esta corriente máxima. Las corrientes nominales primarias de los transformadores de corriente se encuentran normalizadas

➤ De acuerdo con la norma IEC 60044-1 los valores nominales primarios son los siguientes:

➤ 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A, y sus múltiplos decimales.

➤ De acuerdo con la norma ANSI C57.13 los valores nominales primarios son los siguientes:

➤ 10 – 15 – 25 – 40 – 50 – 75 – 100 – 200 - 400 – 600 - 800 – 1200 – 1500 – 2000 – 3000 – 4000 – 5000 – 6000 – 8000 – 12000 A.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CORRIENTE NOMINAL

La corriente nominal secundaria se selecciona teniendo en cuenta los equipos existentes que se quieran alimentar desde el secundario del transformador de corriente. Si los equipos son nuevos se puede seleccionar una corriente nominal secundaria de 1 A o de 5 A (la norma IEC 60044-1 contempla también la posibilidad de 2 A).

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CARGA SECUNDARIA

La carga del transformador de corriente está determinada por la circulación de corriente a través de la impedancia del circuito. Esta impedancia del circuito incluye:

- Impedancia propia del transformador de corriente
- Impedancia del cable de conexión hasta los equipos
- Impedancia de los equipos que se conectan al circuito secundaria
- Impedancia de los puntos de conexión: borneras y terminales de los equipos

La carga secundaria del transformador de corriente que se especifica está dada por lo que consumen los elementos externos, es decir, que no se incluye su carga interna

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CARGA SECUNDARIA

La norma IEC 60044-1 tiene normalizados los siguientes valores de carga secundaria: 2,5 – 5,0 – 10 – 15 y 30 VA. También se pueden seleccionar valores superiores a 30 VA de acuerdo con los requerimientos de la aplicación. La norma ANSI C57.13 define las cargas que se muestran en la siguiente tabla

	Designación	R (Ω)	L(mH)	Z(Ω)	Voltamperios (a 5 A)	Factor de potencia
Medida	B-0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
	B-0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
	B-0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
	B-0.9	0.81	1.040	0.9	22.5	0.9
	B-1.8	1.62	2.080	1.8	45.0	0.9
Proteccion	B-1	0.50	2.300	1.0	25.0	0.5
	B-2	1.00	4.600	2.0	50.0	0.5
	B-4	2.00	9.200	4.0	100.0	0.5
	B-8	4.00	18.400	8.0	200.0	0.5

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE MEDIDA

Para la medida es indispensable que el error sea muy bajo, normalmente inferior al 1% cuando se trata de medida para efectos comerciales. La clase de precisión de estos transformadores de corriente se especifica como un porcentaje de error que se garantiza para la corriente nominal, por ejemplo, una precisión de 0.2 significa un error máximo del 0.2% a la corriente nominal. Para corrientes diferentes a la corriente nominal, el error máximo permitido dependerá de la norma con la cual se especifica el transformador de corriente.

También se tiene la clase de precisión extendida, la cual significa que el error se garantiza en un rango de corriente y no solo para la corriente nominal, por ejemplo, 0.2 s significa un error máximo del 0.2% para una corriente entre el 20% y 120% de la corriente nominal

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE MEDIDA

Norma IEC 60044

Clase de precisión	±Porcentaje de error al porcentaje de carga dado abajo				± Desplazamiento de fase en minutos al porcentaje de carga dado abajo			
	5%	20%	100%	120%	5%	20%	100%	120%
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	15	8	5	5
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2	30	15	10	10
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	90	45	30	30
1.0	3.0	1.5	1.0	1.0	180	90	60	60

Clase de precisión	±Porcentaje de error al porcentaje de carga dado abajo	
	50%	120%
3	3	3
5	5	5

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE MEDIDA

Norma IEC 60044

Clase de precisión	±Porcentaje de error al porcentaje de carga dado abajo					± Desplazamiento de fase en minutos al porcentaje de carga dado abajo				
	1%	5%	20%	100%	120%	1%	5%	20%	100%	120%
0.2S	0.75	.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10
0.5S	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	45	30	30	30

Nota: Esta tabla aplica solamente para transformadores de corriente con corriente secundaria de 5 A

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE MEDIDA

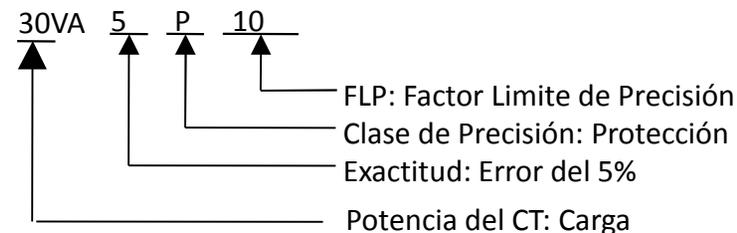
Norma ANSI C57.13

Clase de precisión	±Porcentaje de error al porcentaje de carga dado abajo	
	10%	100%
0.3	0.6	0.3
0.6	1.2	0.6
1.2	2.4	1.2

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE PROTECCIÓN

La clase de precisión de un transformador de corriente utilizado en protecciones, según la norma IEC 60044-1 1996 Instrument Transformers - Part I: Current Transformers, se especifica por el porcentaje de exactitud, seguido de la letra P (protección) y por el número de veces la corriente nominal del transformador, al cual se garantiza la exactitud indicada.



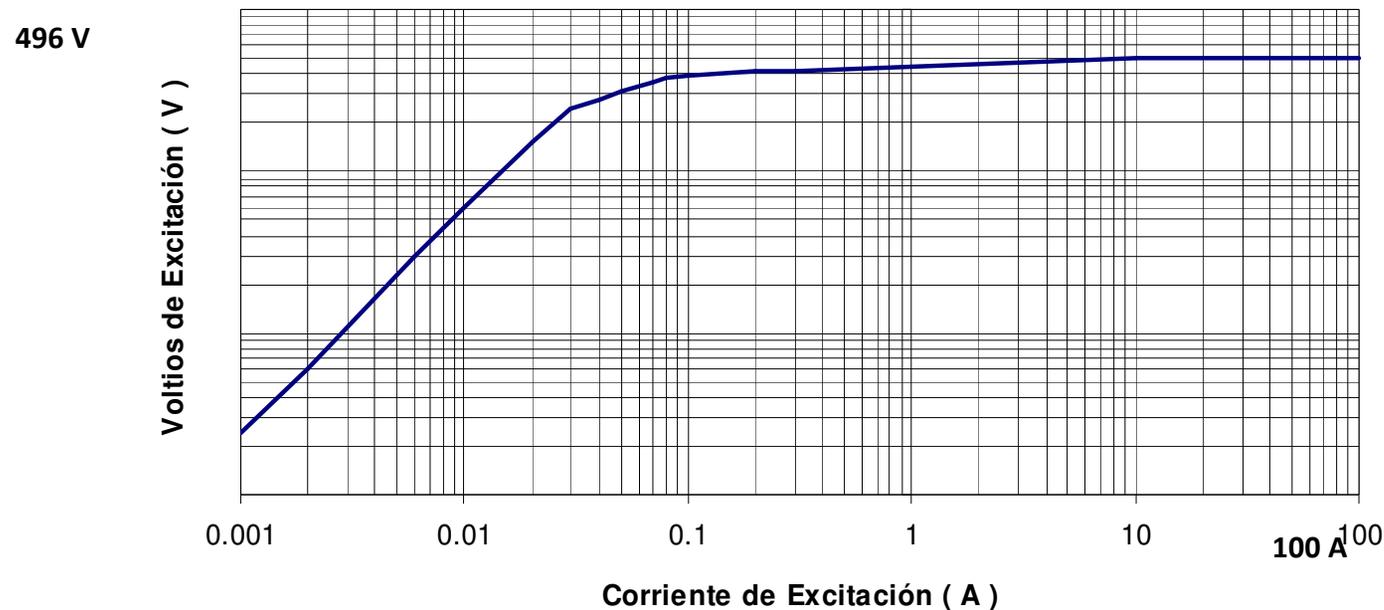
Clase de precisión	±Porcentaje de error para la corriente nominal primaria	± Desplazamiento de fase en minutos para la corriente nominal primaria	Porcentaje de error compuesto para la corriente límite primaria
5P	1	60	5
10P	3	-	10

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CURVA DE EXCITACIÓN DEL CT

- Las pruebas de saturación de CTs se realizan normalmente con tensión, debido a que en la práctica es difícil y costoso hacerlo con corriente. Por ejemplo, un CT de 1600 A y clase de precisión 5P20, debería ser probado con una corriente superior a 32 kA. La alternativa, es encontrar la tensión de saturación del devanado secundario.

Curva de Excitación



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

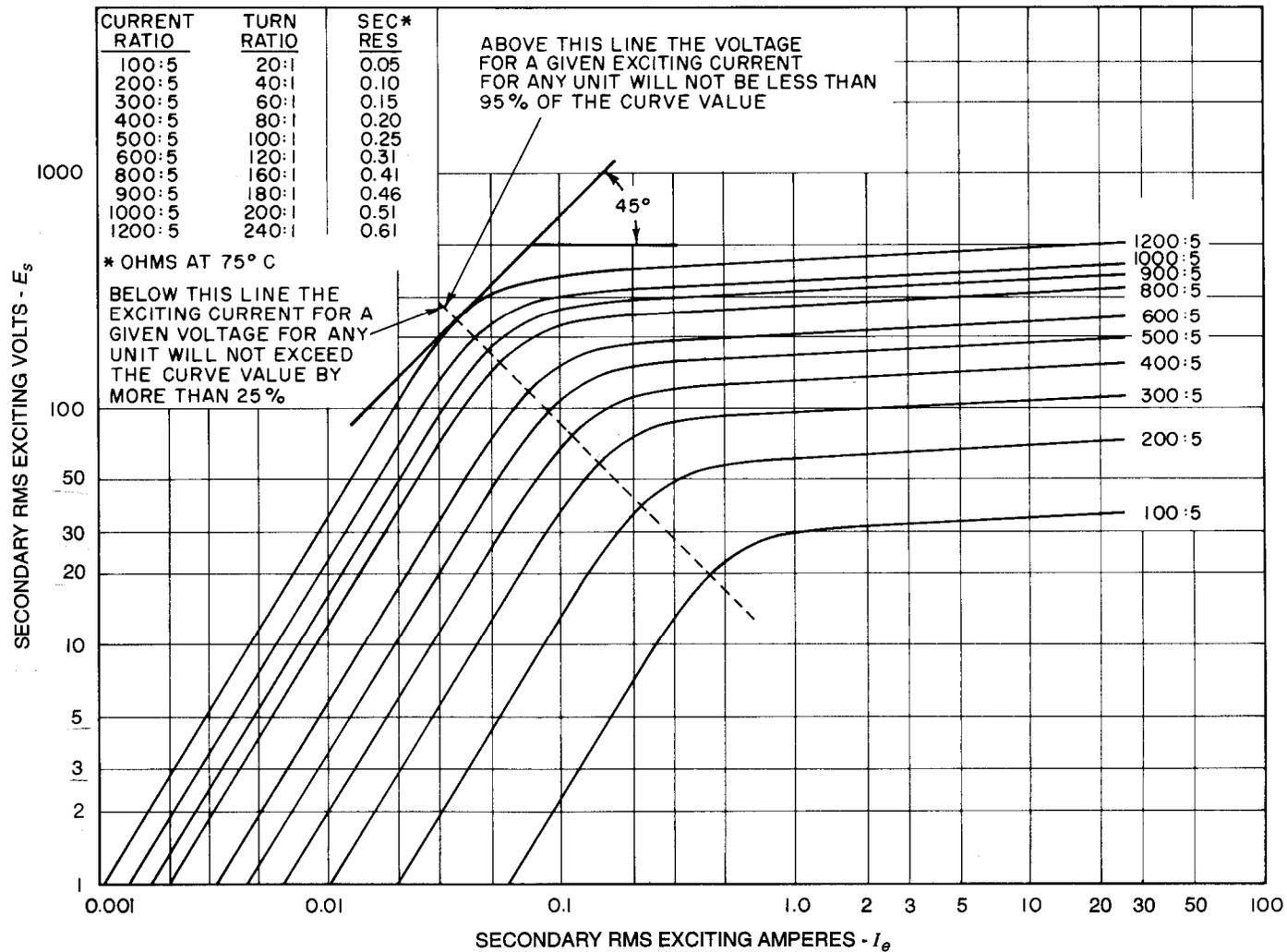
CURVA DE EXCITACIÓN DEL CT

El codo de la curva de excitación está definido así:

- De acuerdo con la IEC 60044-1 es el punto en el cual un incremento del 10% en la tensión secundaria aplicada genera un incremento del 50% en la corriente de excitación.
- De acuerdo con la ANSI C57.13 se tienen dos definiciones para el punto de codo.
 - Es el punto donde la tangente a la característica en una escala log-log es de 45° para CTs sin entrehierro
 - Es el punto donde la tangente a la característica en una escala log-log es de 30° para CTs con entrehierro

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CURVA DE EXCITACIÓN DEL CT



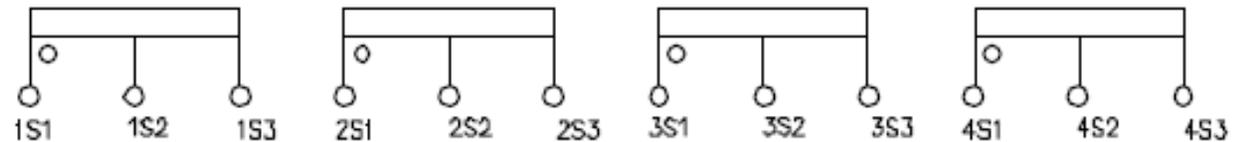
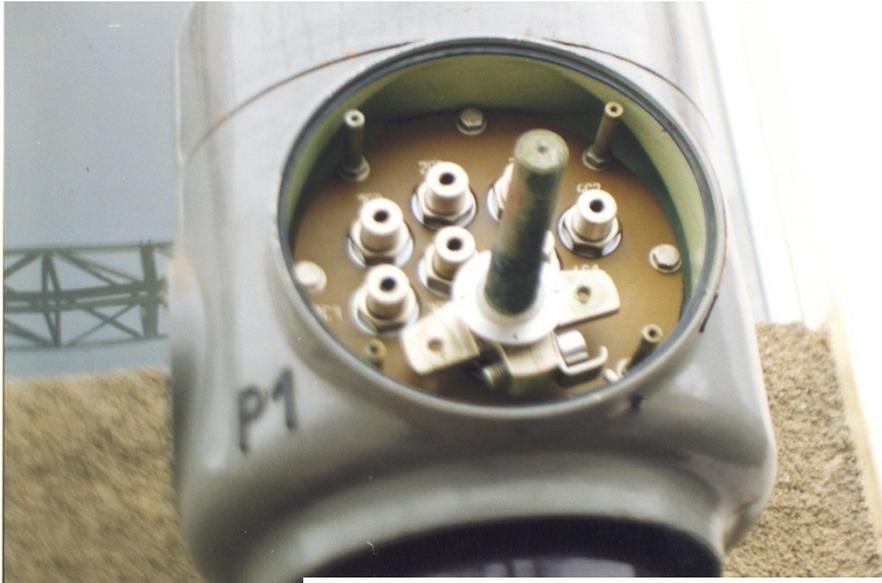
1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CAMBIO DE RELACIÓN

Los transformadores de corriente de alta tensión normalmente cuentan con varias relaciones de transformación, por ejemplo, se puede tener un mismo núcleo con relaciones 800-400/5 A. El cambio de relación de transformación puede ser en el primario o en el secundario.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CAMBIO DE RELACIÓN



$I_p(A)$	200	400	400	800	400	800	400	800
B-ST	1S1-1S2	1S1-1S3	2S1-2S2	2S1-2S3	3S1-3S2	3S1-3S3	4S1-4S2	4S1-4S3
$I_s(A)$	5	5	5	5	5	5	5	5
VA	-	30	30	30	30	30	30	30
CL-KL	-	0.25	5P20	5P20	5P20	5P20	5P20	5P20
F_s	-	≤ 10	-	-	-	-	-	-

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CARGABILIDAD DEL CT

La cargabilidad de los núcleos del transformador de corriente se obtiene sumando la potencia individual consumida por cada uno de los instrumentos de medida y relés de protección conectados, más la potencia consumida en las conexiones. Debido a la tendencia de disminuir el consumo de los VA en los relés modernos, la potencia consumida en las conexiones resulta ser un parámetro cada vez más importante para el cálculo de la cargabilidad de los transformadores de corriente, aún en los casos en los cuales la corriente nominal sea de 1 A; con la siguiente ecuación obtenemos la potencia consumida en el cable:

$$P_C = I_s^2 * R_C * l$$

Dónde:

P_c: Potencia consumida por el cable, VA

I_s : Corriente que circula por el cable, 1 A

R_c: Resistencia del cable, Ω/km

l: Longitud del cable, km

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CARGABILIDAD DEL CT

Se calcula la tensión (Voltaje de saturación) que se produce en los terminales de cada uno de los núcleos del transformador de corriente a la corriente nominal con la siguiente fórmula:

$$V_{SAT} = I_S (R_i + Z_r) \qquad Z_r = \frac{P_B}{I_S^2}$$

Dónde:

I_S : Corriente nominal del secundario del transformador, 1 A

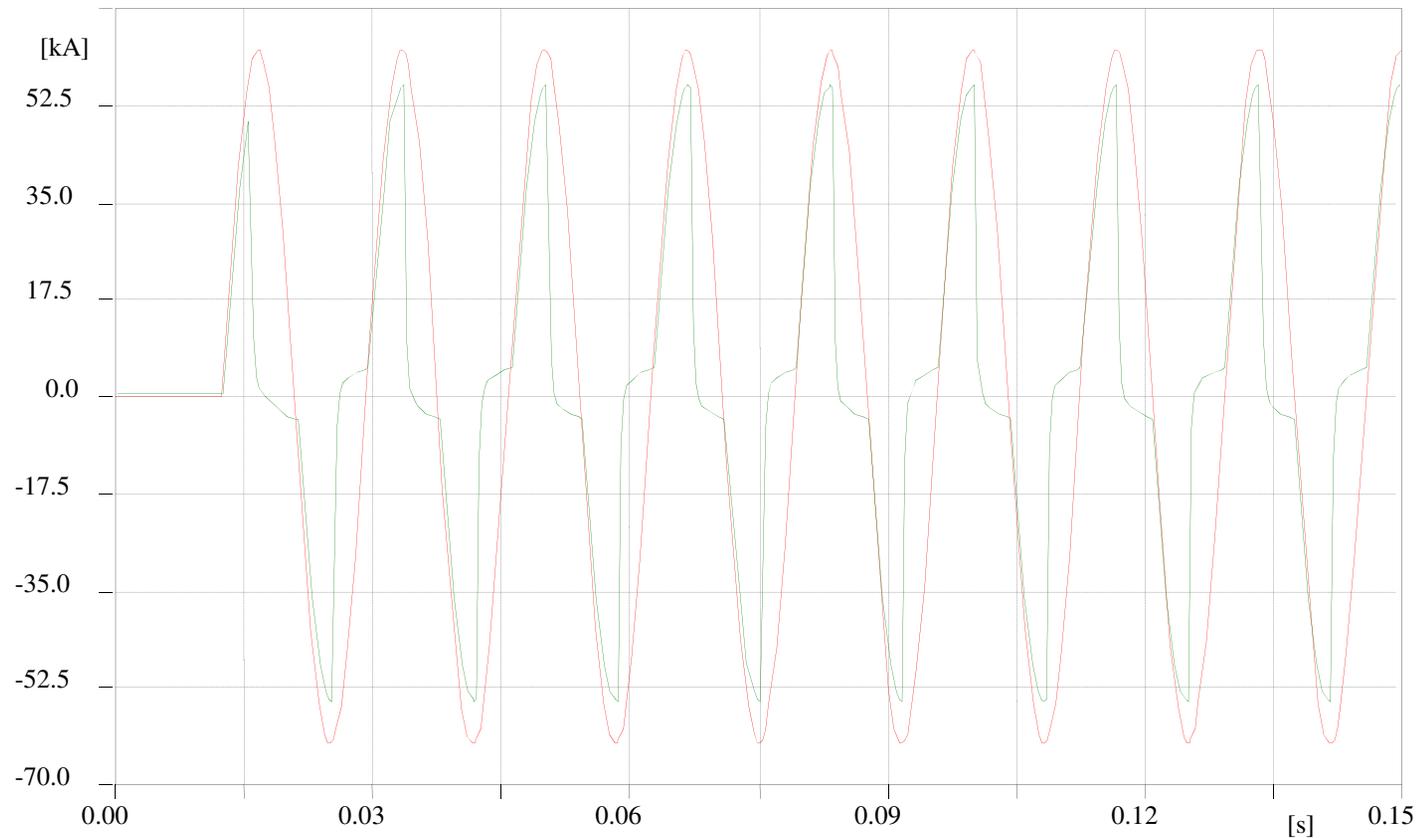
R_i : Resistencia interna del devanado del transformador, Ω

Z_B : Impedancia de la carga conectada, Ω

P_r : $P + PC$: Carga total conectada al núcleo, VA

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

SATURACIÓN AC



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

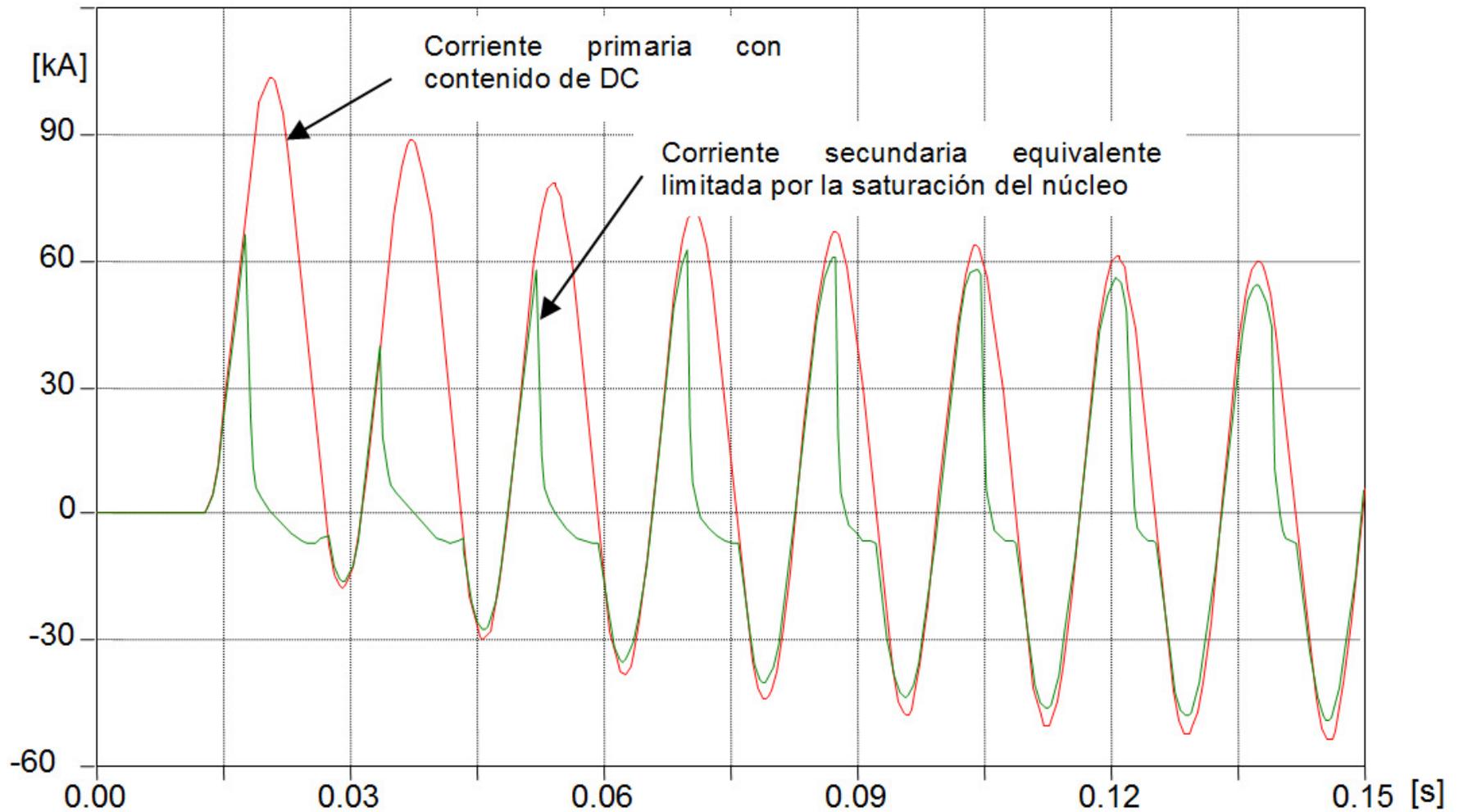
FUNCIONAMIENTO TRANSITORIO

El funcionamiento transitorio de los transformadores de corriente se hace relevante cuando éstos se utilizan para protecciones, debido a que durante los cortocircuitos aparecen componentes de corriente continua que incrementan bastante el flujo en el núcleo.

El transformador de corriente requiere generar un flujo magnético en el núcleo que le permita reproducir en el secundario la corriente equivalente a la corriente del primario.

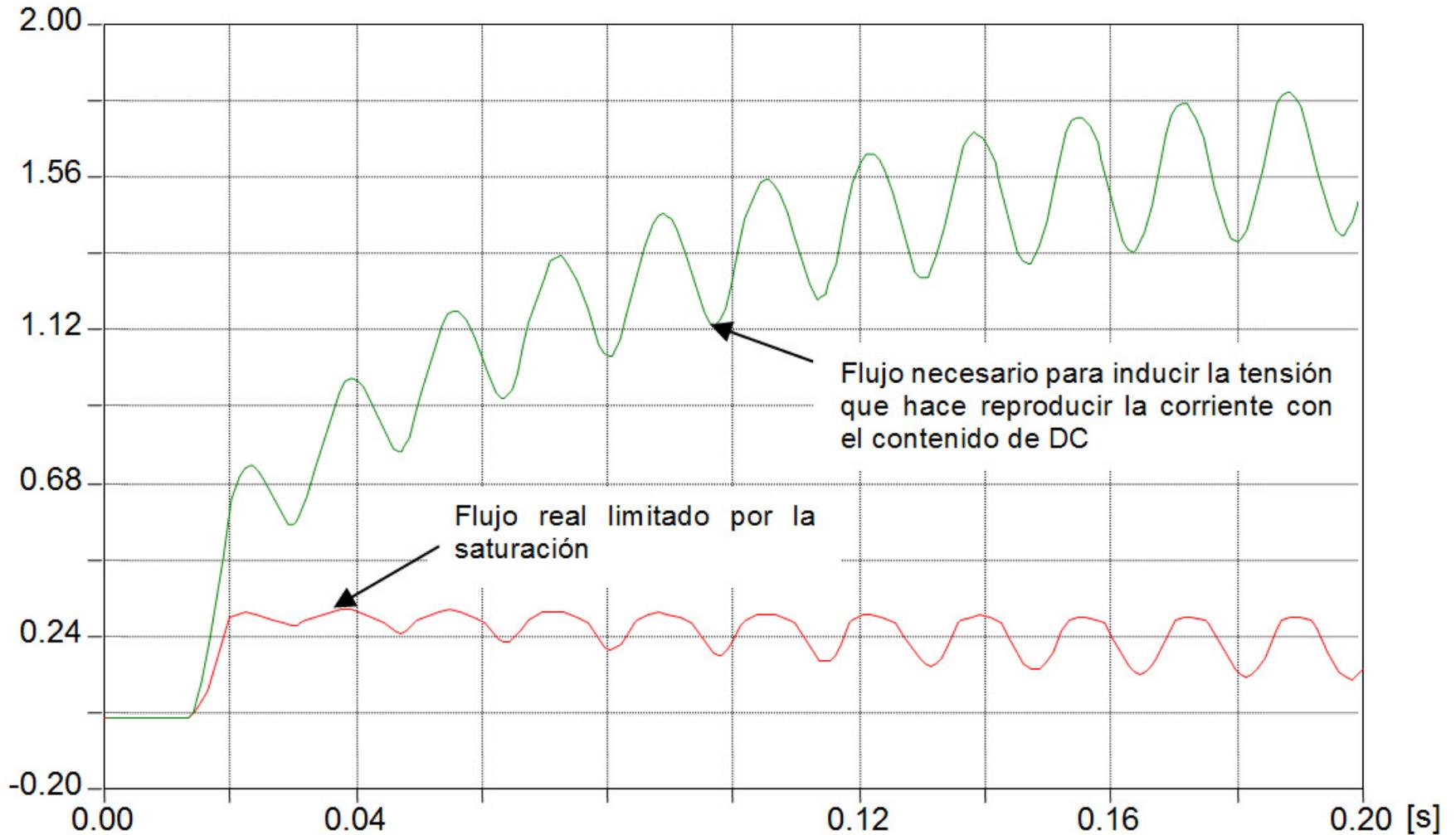
. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

SATURACIÓN DC



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

FLUJOS CON CORRIENTES DC



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CTS PARA FUNCIONAMIENTO TRANSITORIO

El fenómeno de la saturación por DC hace necesario que en las especificaciones de los CTs se tenga en cuenta ésta condición, especialmente en los circuitos donde la relación X/R del sistema es elevada, por ejemplo, cerca a plantas de generación.

El primer análisis que debe hacerse en los casos en los cuales se presente saturación por DC es analizar el efecto que ésta saturación tendrá sobre los relés de protección. Algunos relés tienen mecanismos para evitar la operación errónea ante éste fenómeno.

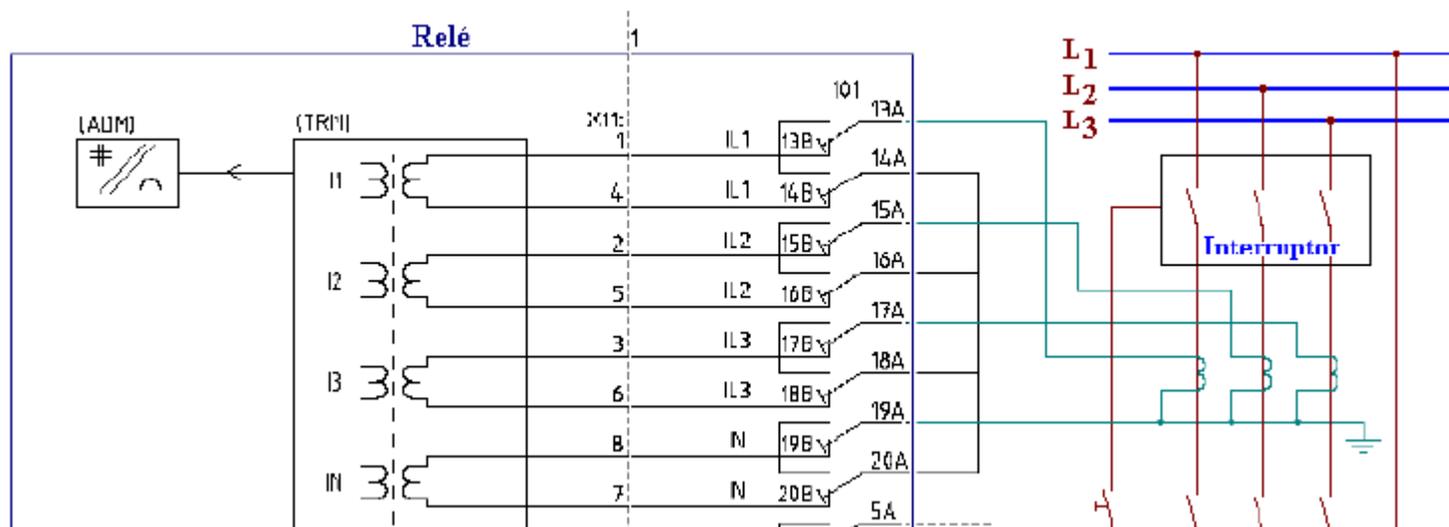
Para los casos en los cuales la saturación por DC afecta en forma considerable los esquemas de protección, es necesario tomar medidas para evitar que ésta se presente. Existen dos alternativas:

- Sobredimensionamiento de los voltamperios de los CTs.
- Utilizar CTs con precisión para funcionamiento transitorio.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

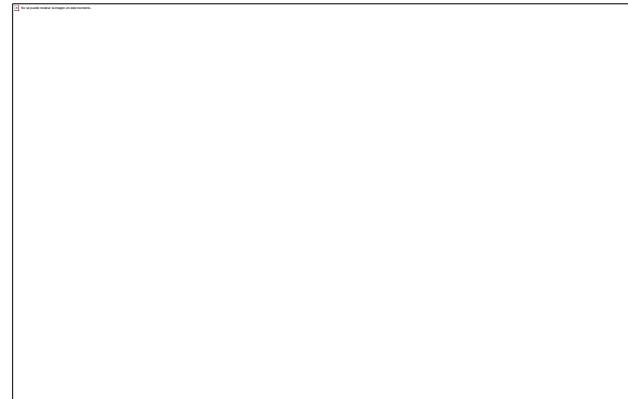
El devanado secundario siempre debe estar cortocircuitado antes de desconectar la carga. Si se abre el circuito secundario con circulación de corriente por el primario, todos los amperios vueltas primarios son amperios vueltas magnetizantes y normalmente producirán una tensión secundaria excesivamente elevada en bornes del circuito abierto.



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- Todos los circuitos secundarios de los transformadores de medida deben estar puestos a tierra.
- Cuando los secundarios del transformador de medida están interconectados, solo debe ponerse a tierra un punto.



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

El transformador de tensión tiene las siguientes funciones:

- Aislar los circuitos de medición y protecciones de las altas tensiones, permitiendo que los relés, equipos de medición y equipos de registro sean aislados solo para baja tensión. Por ejemplo, se pasa un sistema de 500 kV en el primario a un sistema de 600 V en baja tensión.
- Disminuir la tensión que se lleva a los circuitos de protección y medida a niveles que sean fácilmente manejables. Por ejemplo, se pueden tener 220 kV de tensión nominal en el primario y 110 V de tensión nominal en el secundario.
- En las líneas de transmisión que cuentan con sistema de portadora por línea de potencia, se utiliza la parte capacitiva de los transformadores para recibir la señal de comunicaciones que proviene del extremo remoto.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

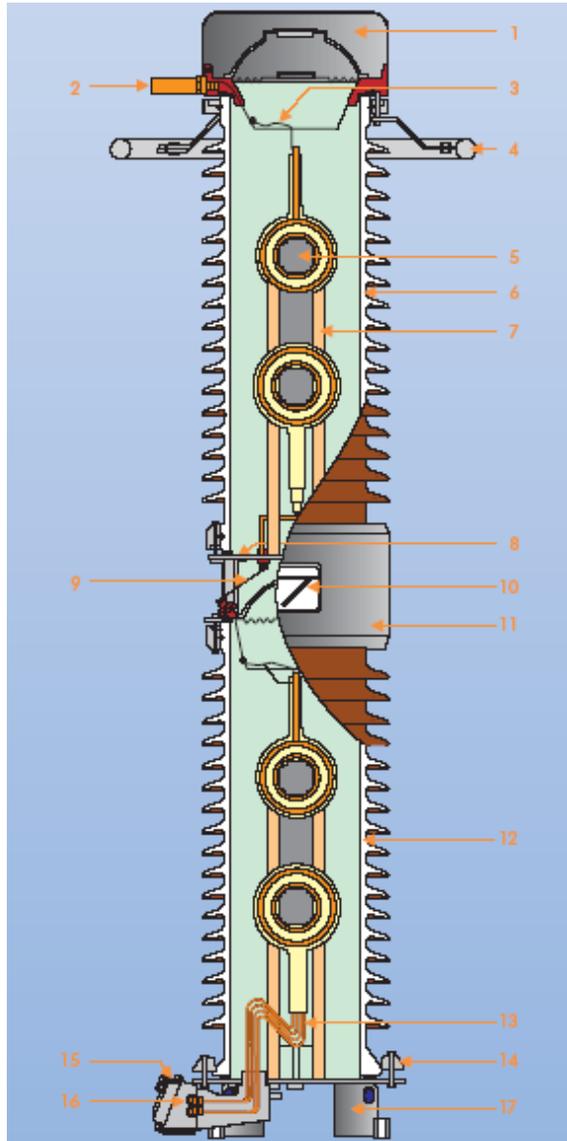
TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Los transformadores de tensión pueden ser:

- Inductivos.
- De acople capacitivo: utilizan un divisor tipo capacitivo para disminuir la tensión a valores de media tensión, por ejemplo 15 kV. De la salida de la parte capacitiva se conecta un transformador inductivo.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

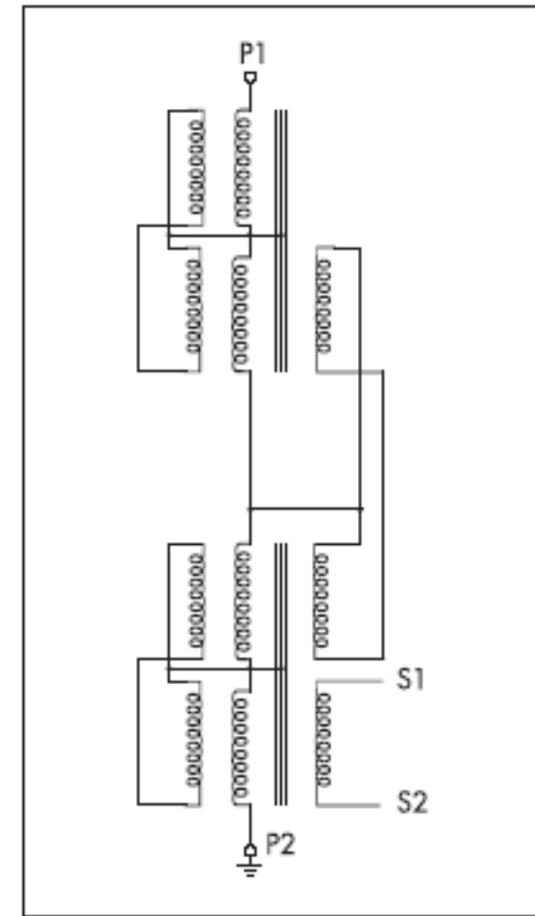
PTS DE ACOPLE INDUCTIVO



Legend

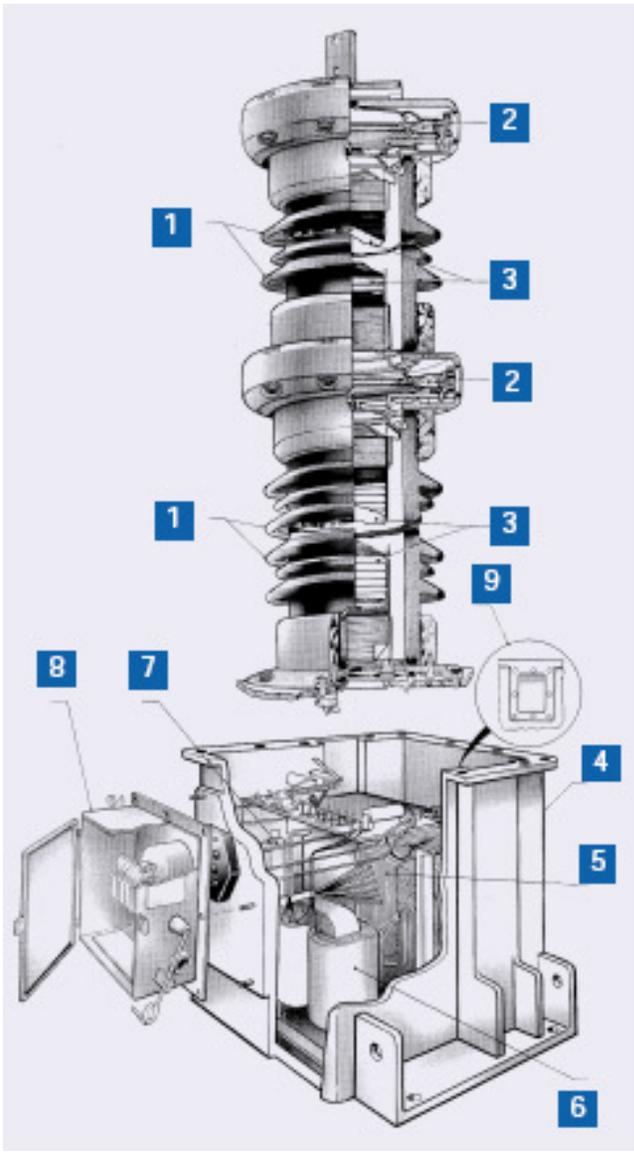
1. Hood
2. Primary terminal
3. Inner HV link
4. Corona ring
5. Cores and windings
6. Upper porcelain insulator
7. Core insulating rods
8. Pillar supporting the upper unit
9. Low voltage connections between the two units
10. Oil level indicator
11. Aluminium sheet enclosure
12. Lower porcelain insulator
13. Secondary connections
14. Clamping devices
15. Secondary terminals box
16. Secondary terminals
17. Base

Voltage transformer, two separate units construction (outline) and cascade connected diagram.



1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

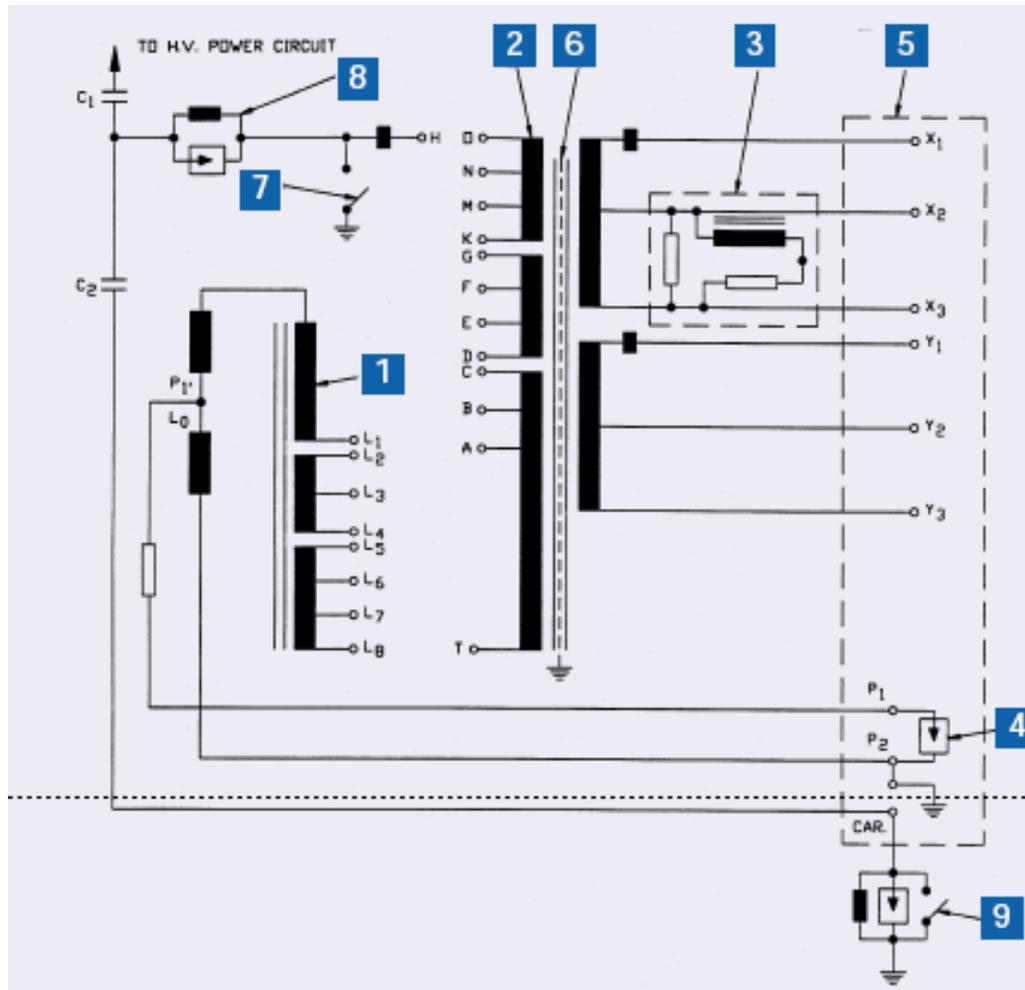
PTS DE ACOUPLE CAPACITIVO



- 1** Porcelain Shell
- 2** Oil Filled Expansion Chamber
- 3** Capacitor Rolls
- 4** Oil Filled Basebox
- 5** Intermediate Transformer
- 6** Series Reactor
- 7** Stabilizing Burden
- 8** Low Voltage Terminal Box
- 9** Oil Level Side Glass

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PTS DE ACOUPLE CAPACITIVO



- 1 Series reactor
- 2 Intermediate voltage transformer
- 3 Harmonic suppression filter
- 4 Protective gap
- 5 Secondary terminal board
- 6 Faraday shield
- 7 Potential ground switch
- 8 Choke coil and gap assembly
- 9 Drain coil, gap and carrier ground switch assembly

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

La especificación de transformadores de tensión depende de las características del circuito al que estará asociado y de los equipos de control o protecciones a los cuales les proporcionará la tensión. Los principales factores que definen las características necesarias de un transformador de corriente son las siguientes:

- Tensión nominal del circuito al cual se le medirá la tensión.
- Tipo de aplicación: protección o medida.
- Carga secundaria: Ohmios o voltamperios de los equipos de medida o protección que se conectarán y de los respectivos cables.
- Tensión nominal secundaria.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

TENSIÓN NOMINAL

En la tensión nominal primaria debe tenerse en cuenta que ésta normalmente es diferente de la tensión máxima asignada al equipo que se utiliza para la selección de los niveles de aislamiento. La tensión nominal primaria debe seleccionarse igual o ligeramente superior a la tensión nominal del sistema, la norma IEC 60044 sugiere que se utilicen las tensiones dadas en la norma IEC 60038.

La tensión secundaria puede ser de 100 V, 110 V o 200 V de acuerdo con la tendencia europea, y de 115 V, 120 V o 230 V de acuerdo con la tendencia americana.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CARGA SECUNDARIA

La norma IEC 60044-2 tiene normalizados los siguientes valores de carga secundaria para transformadores de tensión inductivos: 10 – 15 – 25 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 400 y 500 VA. La norma IEC 60044-5 tiene normalizados los siguientes valores de carga secundaria para transformadores de tensión de acople capacitivo: 1,0 – 1,5 – 2,5 – 3,0 – 5,0 – 7,5 (para un factor de potencia de 1), y 10 – 15 – 25 – 30 – 40 – 50 y 100 (para un factor de potencia de 0,8). La norma ANSI C57.13 tiene normalizados los valores de carga secundaria que se muestran en la siguiente tabla.

Designación	Voltamperios	Factor de potencia
W	12.5	0.1
X	25.0	0.7
M	35.0	0.2
Y	75.0	0.85
Z	200.0	0.85
ZZ	400.0	0.85

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE MEDIDA PTS

Norma ANSI C57.13

Clase de precisión	±Porcentaje de error al porcentaje de tensión dado abajo	
	90%	100%
0.3	0.3	0.3
0.6	0.6	0.6
1.2	1.2	1.2

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE MEDIDA PTS

Norma IEC 60044

Clase de precisión	±Porcentaje de error al porcentaje de tensión dado abajo		± Desplazamiento de fase en minutos al porcentaje de corriente dado abajo	
	80%	120%	80%	120%
0.1	0.1	0.1	5	5
0.2	0.2	0.2	10	10
0.5	0.5	0.5	20	20
1.0	1.0	1.0	40	40
3.0	3.0	3.0	-	-

Nota: la clase de precisión 0.1 solo está definida para transformadores de tensión inductivos

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE PROTECCIÓN PTS

En los transformadores de tensión para protección se define un factor de tensión v_f que indica hasta cuantas veces la tensión nominal se debe garantizar la precisión. Para seleccionar este factor deben conocerse las máximas sobretensiones de frecuencia de red esperadas, las cuales dependen del modo de aterrizamiento del sistema. De acuerdo con la norma IEC 60044 están normalizados valores v_f de 1.2, 1.5 y 1.9.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PRECISIÓN DE PROTECCIÓN PTS

Norma IEC 60044

Clase de precisión	±Porcentaje de error al porcentaje de tensión dado abajo			± Desplazamiento de fase en minutos al porcentaje de corriente dado abajo		
	2%	5%	Vf x 100%	2%	5%	Vf x 100%
3P	6,0	3,0	3,0	240	120	120
6P	12,0	6,0	6,0	480	240	240

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PTS PARA CONDICIONES TRANSITORIAS

Cuando se presenta una falla en el sistema de potencia ocurren dos fenómenos transitorios en el secundario del transformador de tensión, uno de baja frecuencia (de unos pocos Hz) y otro de alta frecuencia (KHz). Normalmente la alta frecuencia se amortigua rápidamente y la baja frecuencia lentamente. Las amplitudes de estos transitorios dependen del ángulo de fase de la tensión primaria en el momento de presentarse la falla.

La norma IEC 60044-5 define clases de precisión de protección para condiciones transitorias, en las cuales se limita la tensión secundaria que aparece luego de presentarse un cortocircuito en el primario.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

PTS PARA CONDICIONES TRANSITORIAS

Norma IEC 60044-5

T_s(ms)	Relación $\frac{U_s(t)}{\sqrt{2}U_s} \times 100\%$		
	Clases		
	3PT1 – 6PT1	3PT2 – 6PT2	3PT3 – 6PT3
10	-	≤ 25	≤ 4
20	≤ 10	≤ 10	≤ 2
40	< 10	≤ 2	≤ 2
60	< 10	≤ 0.6	≤ 2
90	< 10	≤ 0.2	≤ 2

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CARGABILIDAD DEL PT

La cargabilidad de los núcleos del transformador de tensión se obtiene sumando la potencia individual de cada uno de los instrumentos de medida y relés de protección conectados, adicionalmente se suman las pérdidas en el cable, las cuales se pueden calcular con la siguiente formula:

$$P_C = I_c^2 * R_C * l \quad I_C = \frac{P_t}{V_S}$$

Dónde:

P_c: Potencia consumida por el cable, VA

I_c : Corriente que circula por el cable, A

R_c: Resistencia del cable, Ω/km

l: Longitud del cable, km

P_t: Carga total conectada al transformador, VA

V_s: Tensión nominal del secundario del transformador, V

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

CARGABILIDAD DEL PT

Para cada uno de los núcleos del transformador de potencial se calcula la regulación de tensión de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ Reg} = \frac{V_C}{V_S} * 100$$

Dónde:

VC : Tensión en el cable, V

VS : Tensión nominal del secundario del transformador, V

La caída de tensión en el cable se calcula como:

$$V_C = I_C * R_C = \frac{P_T}{V_S} * R_C$$

Dónde:

PT : Potencia total, VA

RC : Resistencia del cable, Ω

VS : Tensión nominal del secundario del transformador, V

Por lo tanto,

$$\% \text{ Reg} = \frac{P_T * R_C}{V_S^2} * 100$$

2. FUSIBLES

Los fusibles son el medio más antiguo de protección de los circuitos eléctricos y se basan en la fusión por efecto joule de un hilo o elemento fusible.

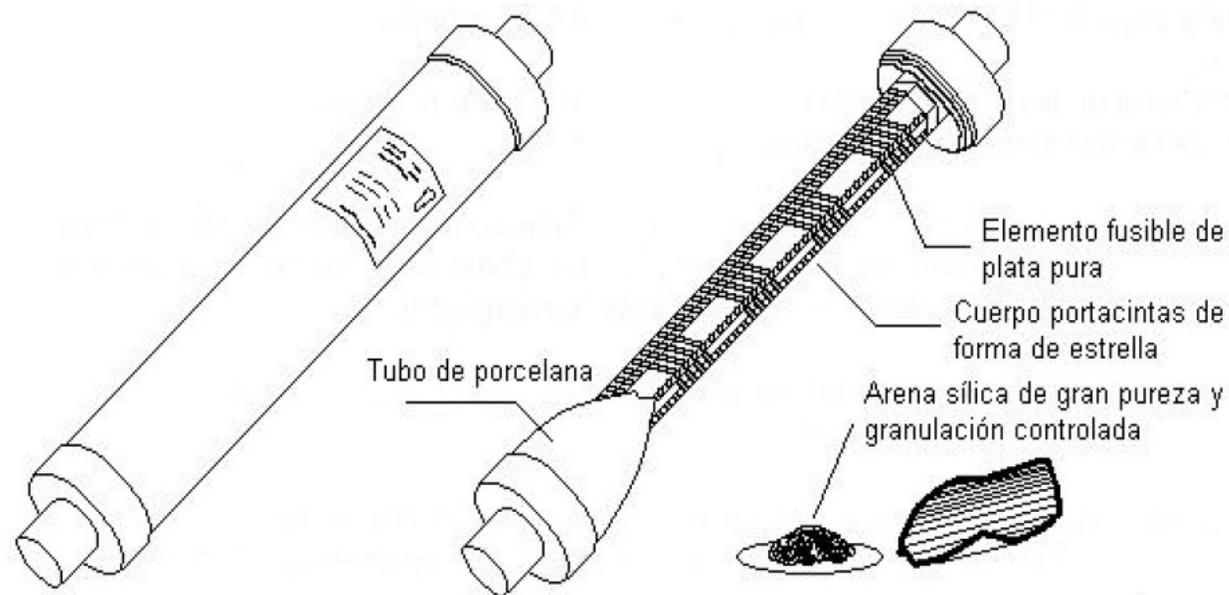


Figura 1.1 Partes de un fusible.

2. FUSIBLES

Un fusible es un dispositivo empleado para proteger un circuito eléctrico mediante la fusión de uno o varios elementos destinados para este efecto, interrumpiendo el flujo de la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa el valor de la corriente de fusión del fusible dentro de un tiempo determinado.

La parte que sirve como elemento de protección para la desconexión del cortocircuito es el elemento fusible, el cual se construye de una sección transversal determinada hecha de una aleación metálica, este se funde al paso de una magnitud de corriente superior para la que fue diseñado.

2. FUSIBLES

Los fusibles de un solo elemento pueden subdividirse en dos clases:

- Aquellos que tienen una temperatura de fusión baja, tal como los de estaño que se funde a 232 °C;
- Los que tienen una temperatura de fusión alta como la plata o cobre, que se funden a 960 °C y 1080 °C respectivamente.

Con curvas idénticas tiempo-corriente, un elemento fusible de estaño puede llevar mayor cantidad de corriente continuamente dentro de la elevación de temperatura permisible que los elementos fusibles de plata o cobre.

2. FUSIBLES

En fusibles con elementos dobles, las funciones eléctricas y mecánicas de las partes están relacionadas de tal manera, que la elección del material se determina por el tipo de curva que se desee obtener.

Este tipo de fusibles incorpora dos elementos en serie, un extremo de cobre estañado se une por medio de una bobina de soldadura. En sobrecargas, la soldadura funde a un valor predeterminado tiempo-corriente provocando la separación de los elementos fusibles. En cortocircuitos e impulsos transitorios el elemento fusible funde antes que la soldadura.

2. FUSIBLES

Parámetros eléctricos de los fusibles

- Frecuencia.
- Tensión eléctrica nominal.
- Corriente eléctrica nominal.
- Nivel básico de impulso.
- Servicio (interior o intemperie).
- Respuesta de operación (curva tiempo-corriente).
- Capacidad interruptiva (simétrica y asimétrica).
- Velocidad de respuesta (en el tipo expulsión).

2. FUSIBLES

Factores tener en cuenta para la aplicación de los fusibles

- Corriente de cortocircuito en el punto de instalación.
- Relación X/R de la impedancia equivalente (Z_e).
- Curva de daño de los elementos a proteger (conductores, transformadores, etc.).
- Curva de energización del transformador (inrush y carga fría).
- Costo.

2. FUSIBLES

Clasificación de los fusibles

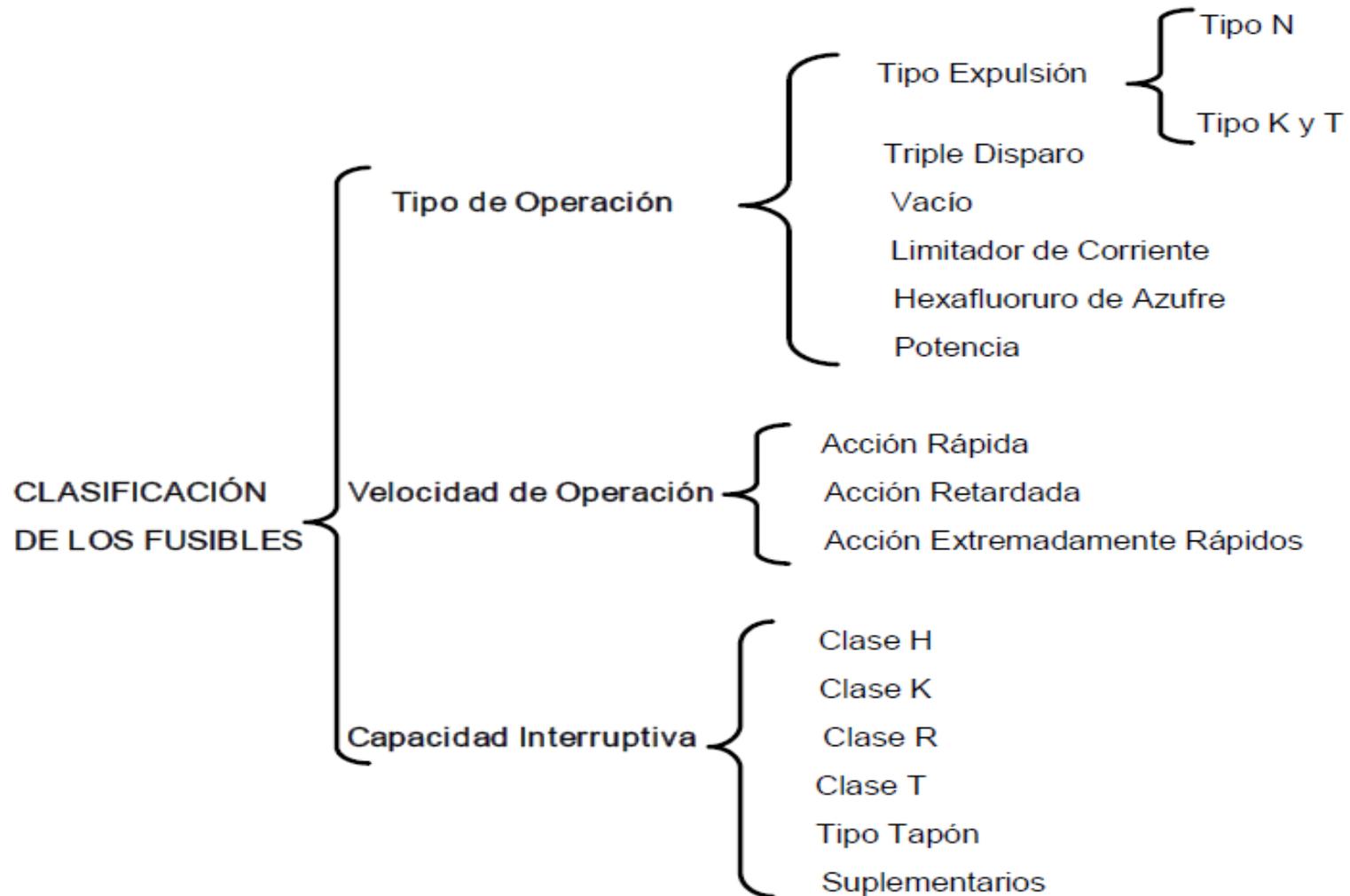


Figura 1.2 Clasificación de los fusibles

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Expulsión

TIPO N: Fue el primer intento de normalización de las características de los elementos fusibles, la norma establecía que deberían llevar el 100% de la corriente nominal continuamente y deberían fundirse a no menos del 230% de la corriente nominal en 5 minutos.

TIPO K y T: Para la característica de operación de estos fusibles se definieron tres puntos correspondientes a los tiempos de 0,1 s, 10 s y 300 s adicionalmente se normalizó que estos fusibles serían capaces de llevar el 150% de su capacidad nominal continuamente para fusibles de estaño y del 100% para fusibles de plata.

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Expulsión

Las capacidades de corriente más comunes de fabricación normalizadas son de 1 A, 2 A, 3 A, 5 A, 8 A, 15 A, 25 A, 40 A, 65 A, 100 A, 140 A y 200 A. Para los cortocircuitos de distribución que utilizan fusibles tipo expulsión se tienen normalizados los valores máximos de la corriente de interrupción

Tabla 1.1 Corriente de cortocircuito máxima para fusibles de distribución.

TENSIÓN [kV]	CORRIENTE DE INTERRUPCIÓN [A]
4,8	12 500
7,2	12 500
14,4	10 000
25	8 000

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Expulsión - trafos

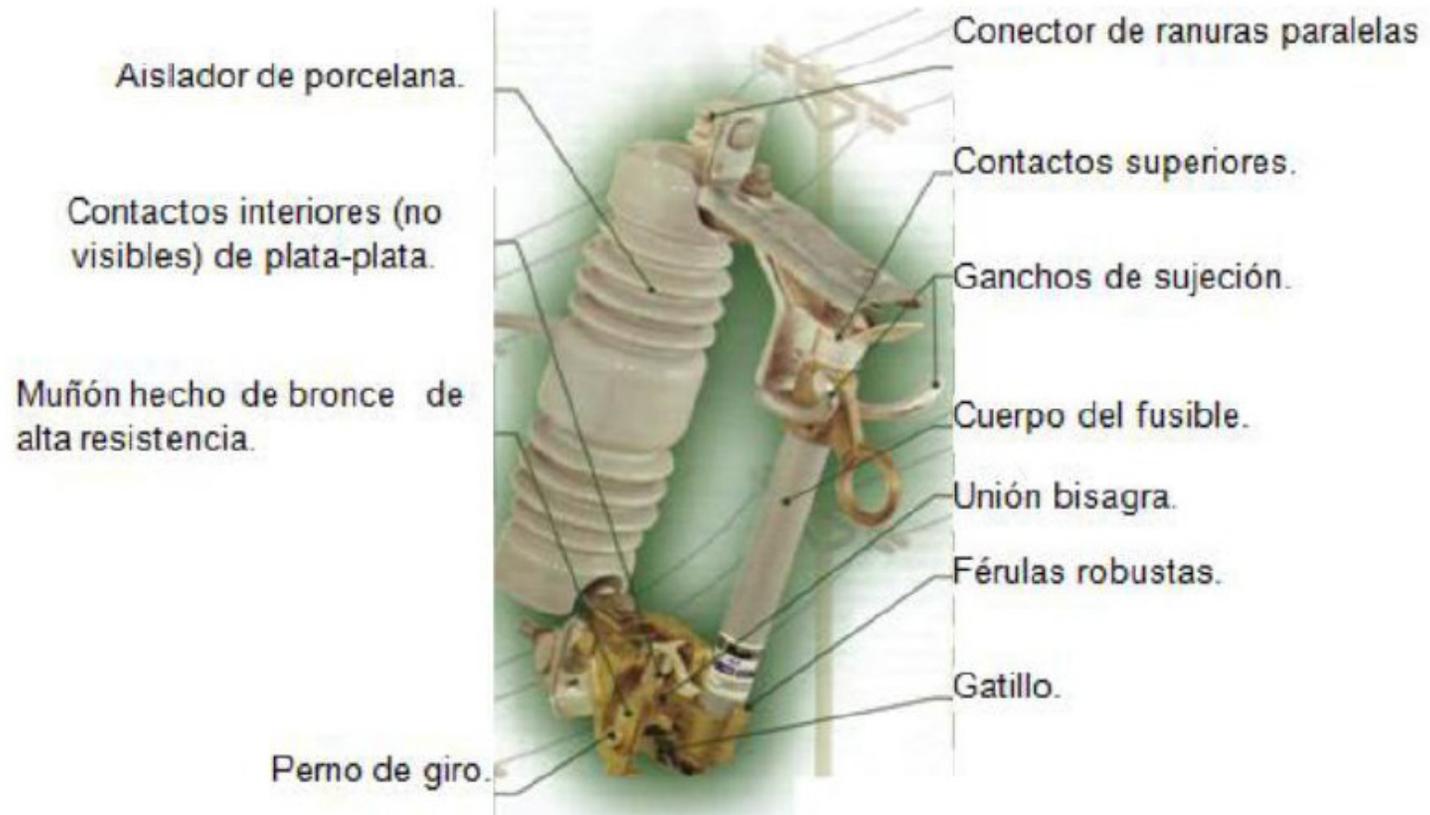


Figura 1.3 Fusible de simple expulsión tipo XS S&C Electric Mexicana.

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Triple disparo

Los fusibles de doble y triple disparo constan de dos o tres cortacircuitos fusibles por fase, los cuales se conectan a la fuente mediante una barra común y la salida se conecta al primer cortacircuito fusible.

Al momento que pasa una corriente mayor a la mínima de operación, se funde el elemento del primer fusible, abriendo el primer portafusible y cerrando en ese momento el siguiente cortacircuito fusible, en caso de persistir la sobrecorriente operará en forma similar al anterior conectando el siguiente cortacircuito fusible con la carga.

En la figura se muestra un cortacircuito fusible de tres disparos

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Triple disparo

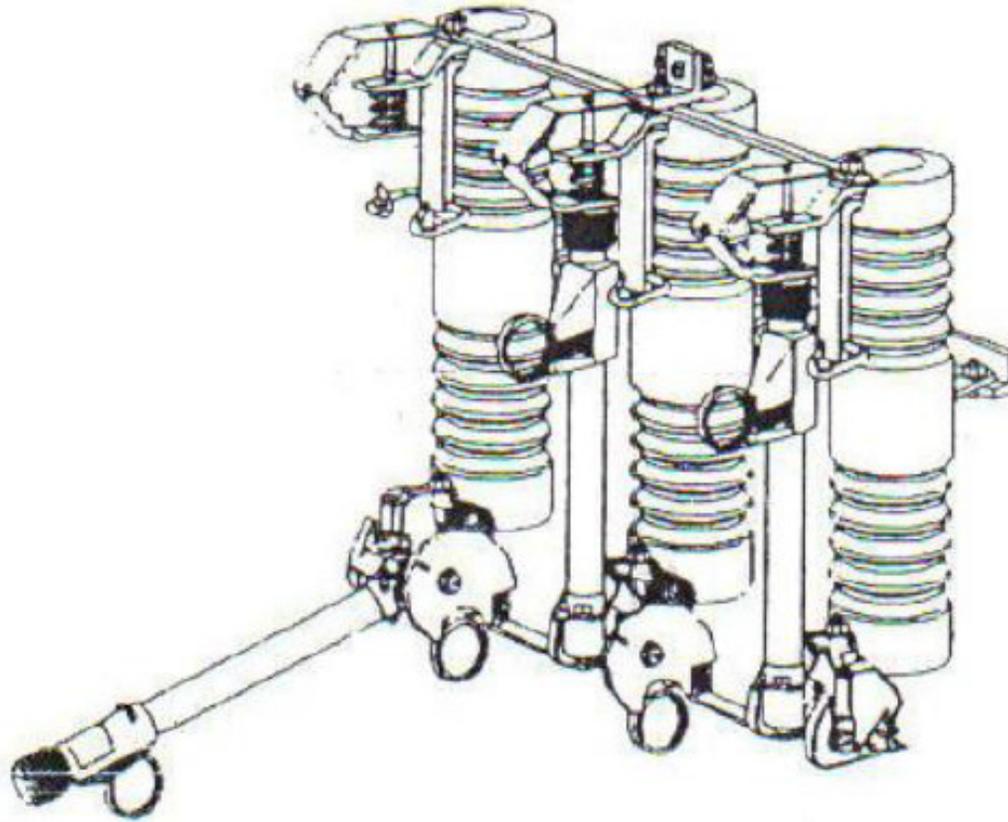


Figura 1.4 Fusible de tres disparos.

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Vacío

El fusible de vacío está encerrado en una cámara al vacío, cuenta con una cámara de arqueo, un escudo o pantalla y un aislamiento cerámico como lo muestra la figura.

Para corrientes bajas de falla estos fusibles necesitan algunos ciclos para lograr el quemado del elemento fusible. Para corrientes altas el elemento instantáneamente se vaporiza y forma un arco eléctrico mantenido por el plasma, la diferencia de presión comparada con el vacío acelera la vaporización del metal y la extinción del arco.



Figura 1.5 Fusible de vacío.

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Limitadores de corriente

Los fusibles limitadores de corriente son básicamente de no expulsión, limitan la energía disponible cuando ocurre un cortocircuito, esto permite que se reduzcan considerablemente los daños en el equipo protegido. Hay tres tipos disponibles:

1. De respaldo o intervalo parcial, el cual debe ser usado en conjunto con uno de expulsión o algún otro dispositivo de protección y solamente es capaz de interrumpir corrientes superiores a un nivel especificado típicamente a 500 A.
2. De propósito general, el cual está diseñado para interrumpir todas las corrientes de falla. Para corrientes de valor bajo, el tiempo de operación es retardado, para corrientes de falla opera en un tiempo muy rápido del orden de un cuarto de ciclo.

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Limitadores de corriente

3. De intervalo completo, el cual interrumpe cualquier corriente que en forma continua se presente arriba de la corriente nominal.

Su principio de operación se basa en que cuando circula una sobrecorriente capaz de fundir el elemento metálico, éste se empieza a fundir en módulos que provocan un valor grande de tensión de arco, el calor generado por el arco vaporiza el metal a una presión muy elevada, condición bajo la cual se presenta una resistencia eléctrica muy alta. Una vez que el vapor metálico se condensa ocurre una descarga en el canal de arco y si tiene una re ignición hasta que la corriente pasa por su valor de cero que es cuando se completa la interrupción del arco.



2. FUSIBLES

Tipo Operación: SF6

Los fusibles de hexafluoruro de azufre (SF₆) son empleados en las redes de distribución subterránea, dado que son para uso en interiores y de tipo limitador de corriente, actualmente se construyen para 15,5 kV, 27 kV y 38 kV de tensión de diseño y con capacidades de 200 A ó 600 A nominales, para 15,5 kV y 27 kV tienen un intervalo de 20 kA de capacidad interruptiva y para 38 kV tienen un intervalo de 13,5 kA de interrupción. En la figura se muestra un fusible en hexafluoruro de azufre (SF₆).

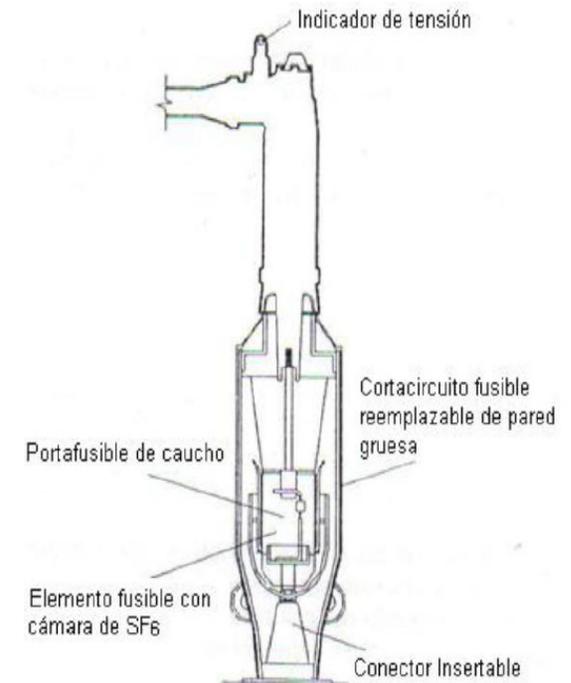


Figura 1.7 Fusibles en hexafluoruro de azufre (SF₆).

2. FUSIBLES

Tipo Operación: Potencia

Son diseñados para instalarse en subestaciones, líneas de distribución y subtransmisión, en donde los requerimientos de capacidad interruptiva son altos. Existen portafusibles que pueden reutilizarse después de fundirse el elemento fusible, en este caso únicamente se reemplaza el elemento de relleno que contiene el fusible y hay portafusibles que una vez operados tienen que ser reemplazados completamente.

Los fusibles de potencia por su construcción son del tipo expulsión y de ácido bórico. Lo de ácido bórico tienen mejores características de funcionamiento: capacidad corte corriente mayor, arco de menor energía, etc.



Figura 1.8 Fusible tipo SM-S para 20 kA S&C Electric Mexicana.

2. FUSIBLES

Por Velocidad de operación

- **Acción Rápida**: Los fusibles de acción rápida (también llamados de operación normal) no tienen intencionalmente demora en su acción. El tiempo de apertura típica de estos fusibles es de 500% el valor de operación normal de corriente en un periodo de tiempo entre 0,05 s y 2 s. Los fusibles de acción rápida son de aplicación en cargas no inductivas, tales como iluminación incandescente y alimentadores de uso general en cargas resistivas en circuitos principales con pequeñas cargas no inductivas.
- **Acción Retardada**: Los fusibles clases CC, G, H, J, RK5 y RK1, pueden ser fusibles de acción retardada (doble elemento), si son identificados en la etiqueta del fusible "time delay", "td" o "d". Los fusibles de acción retardada normalizados por UL (Underwriters Laboratories), cumplen con los requerimientos exigidos en la protección de sobrecargas.

2. FUSIBLES

Por Velocidad de operación

- **Acción Retardada:** Para valores altos de corriente, los fusibles de acción retardada ofrecen una excelente limitación de corriente, abriendo el circuito en un periodo de tiempo de menos de medio ciclo. Los fusibles con tiempo de retardo pueden ser seleccionados con valores mucho más cerca de la corriente de operación normal de los circuitos.
- **Extremadamente Rápidos:** El principal uso es en la protección de componentes electrónicos de estado sólido, tales como, semiconductores (diodos, tiristores, semipacks, etc.) su característica especial, es responder en forma rápida a problemas de sobrecarga, con baja energía de fusión (I^2t), corriente de pico y transigencias de tensión eléctrica, proveen protección de los componentes que no pueden aislar la línea, este tipo de protecciones son usados para valores de sobrecarga bajos y corrientes de cortocircuito.

2. FUSIBLES

Por capacidad interruptiva

La capacidad de interrupción de un fusible es la intensidad de corriente máxima (raíz media cuadrática) que puede soportar adecuadamente el fusible para proteger en forma segura los componentes del sistema eléctrico. Tal como lo exige la NEC en su artículo 240.6. Un fusible debe interrumpir todas las sobrecorrientes que se presentan en el sistema eléctrico .

Los fusibles están diseñados para operar confiadamente en los siguientes valores: 10 kA, 50 kA, 100 kA, 200 kA y 300 kA respectivamente. Los equipos proyectados para interrumpir la corriente en caso de fallas, deben tener una intensidad de interrupción suficiente para la tensión nominal del circuito y la intensidad que se produzca en los terminales de la línea del equipo.

2. FUSIBLES

Por capacidad interruptiva

La capacidad de interrupción de un fusible es la intensidad de corriente máxima (raíz media cuadrática) que puede soportar adecuadamente el fusible para proteger en forma segura los componentes del sistema eléctrico. Tal como lo exige la NEC en su artículo 240.6. Un fusible debe interrumpir todas las sobrecorrientes que se presentan en el sistema eléctrico .

Los fusibles están diseñados para operar confiadamente en los siguientes valores: 10 kA, 50 kA, 100 kA, 200 kA y 300 kA respectivamente. Los equipos proyectados para interrumpir la corriente en caso de fallas, deben tener una intensidad de interrupción suficiente para la tensión nominal del circuito y la intensidad que se produzca en los terminales de la línea del equipo.

2. FUSIBLES

Por capacidad interruptiva

Tabla 1.2 Capacidad interruptiva de los fusibles.

FUSIBLE	CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN [kA]
Clase H	10
Clase K	50, 100 o 200
Clase RK-1 and Clase RK-5	200
Clase J, Clase CC, Clase T, and Clase L	200
Clase G	100
Fusibles tipo tapón	10

2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

Las curvas utilizadas para el estudio de coordinación y las que presentan los fabricantes de fusibles son:

1. Curva tiempo-corriente.
2. Curva de corriente pico permisible.
3. Curva de energía de fusión I^2t .

2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

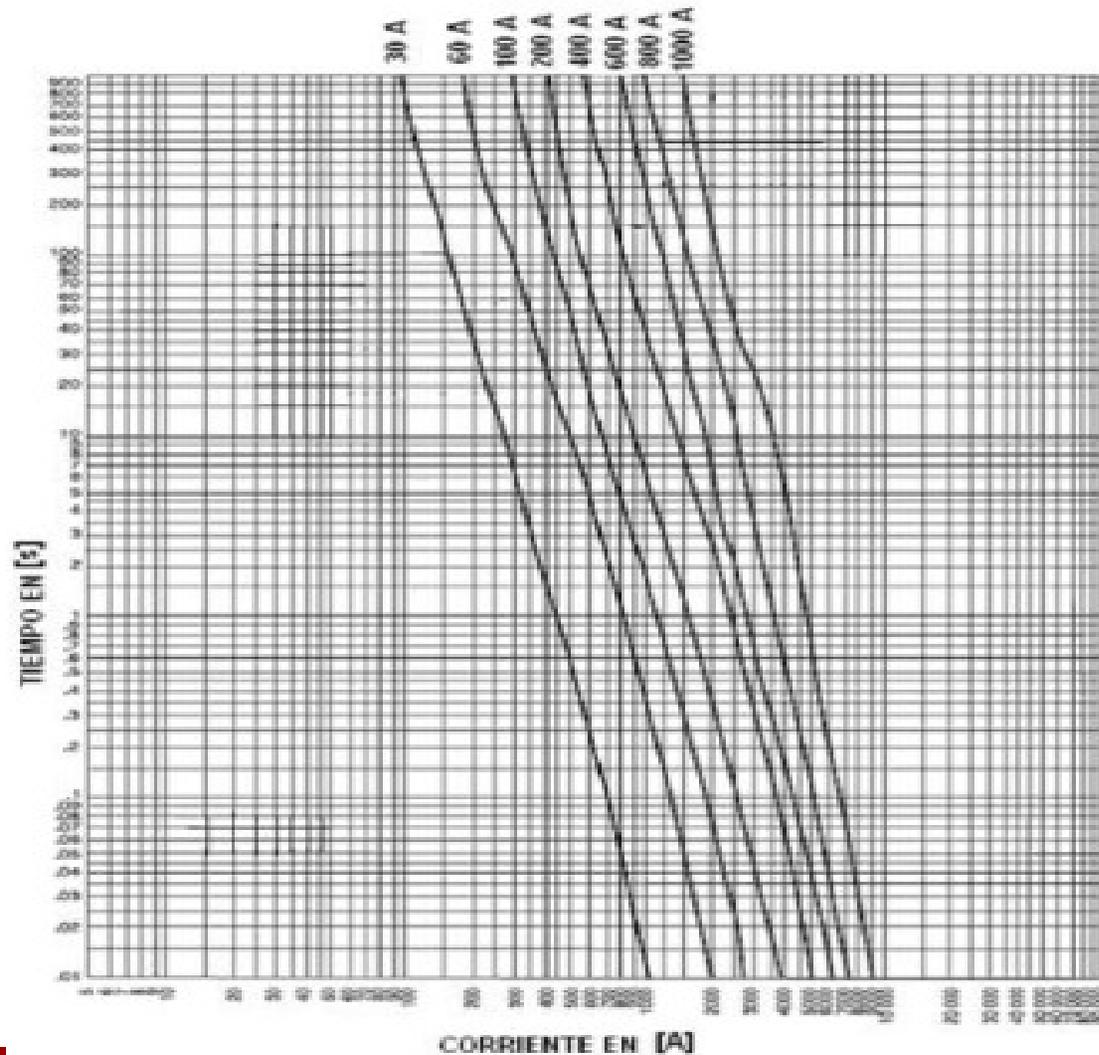
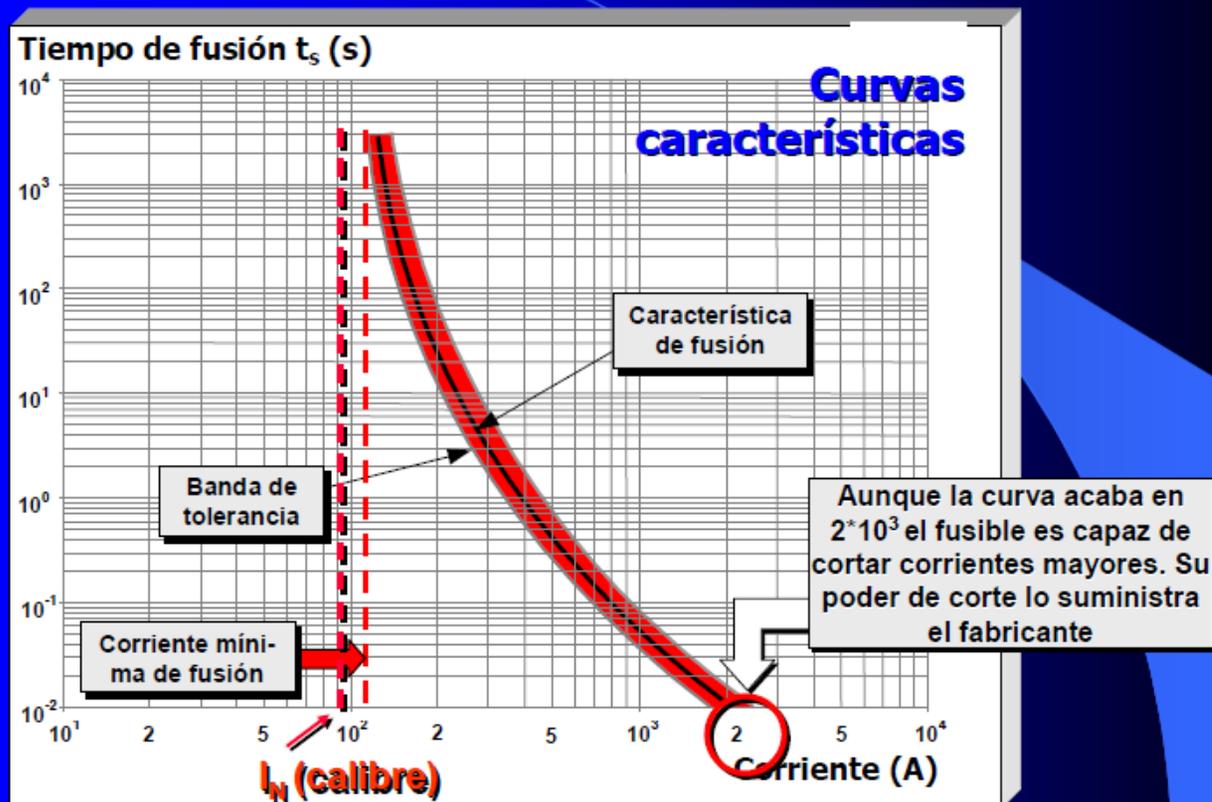


Figura 1.9 Curva promedio, tiempo-corriente.

2. FUSIBLES

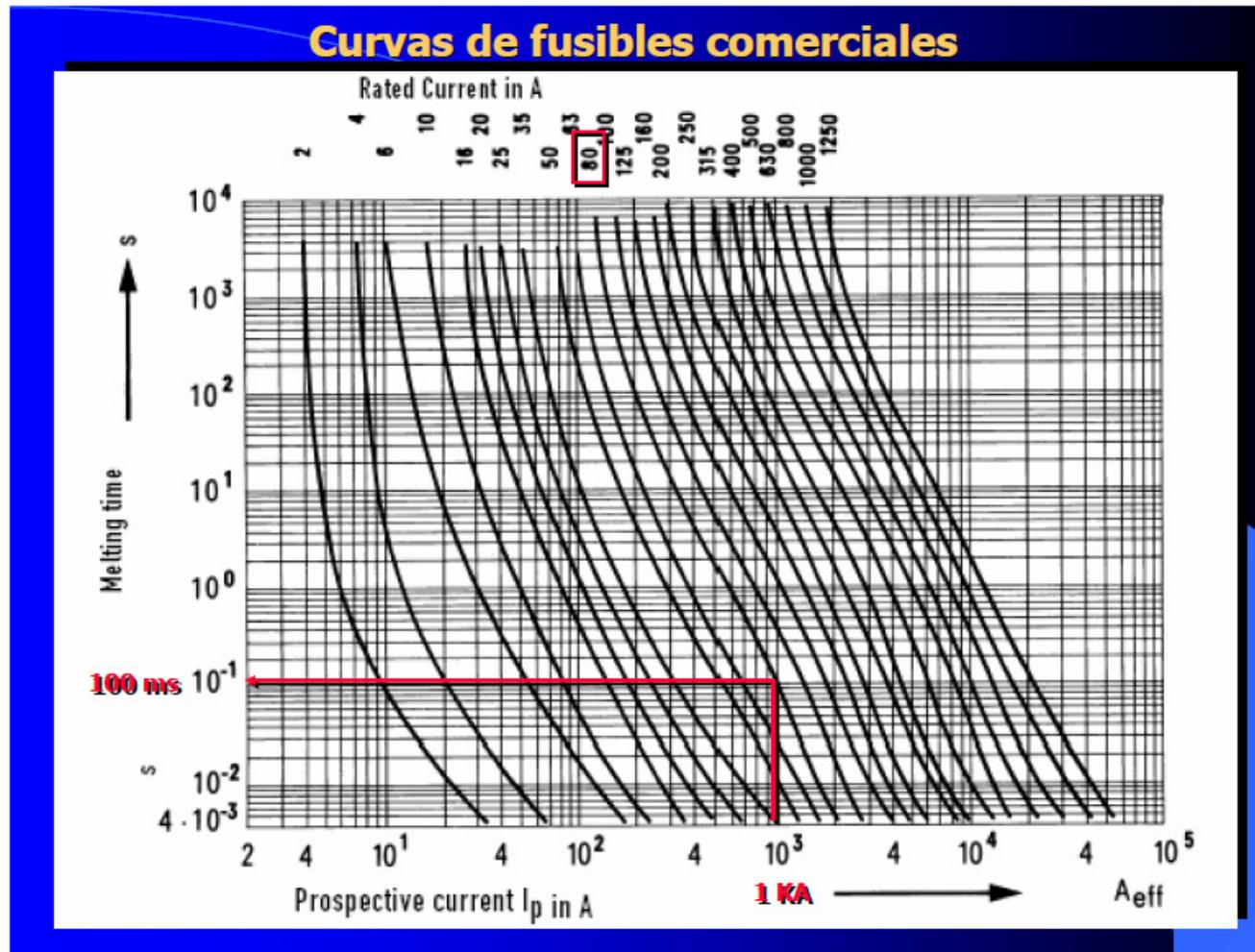
Curvas características de los fusibles

Curva característica (I-t) de un fusible



2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles



2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

Clasificación de los fusibles según su curva de fusión

CLASES DE CURVAS DE FUSIÓN		
1ª Letra	g	Cartucho fusible limitador de la corriente que es capaz de interrumpir todas las corrientes desde su intensidad asignada (I_n) hasta su poder de corte asignado. Cortan intensidades de sobrecarga y de cortocircuito
	a	Cartucho fusible limitador de la corriente que es capaz de interrumpir las corrientes comprendidas entre el valor mínimo indicado en sus características tiempo-corriente ($k_2 I_n$) y su poder de corte asignado. Cortan solo intensidades de cortocircuito
2ª Letra	G	Cartuchos fusibles para uso general
	M	Cartuchos fusibles para protección de motores
	Tr	Cartuchos fusibles para protección de transformadores
	B	Cartuchos fusibles para protección de líneas de gran longitud
	R	Cartuchos fusibles para la protección de semiconductores
	D	Cartuchos fusibles con tiempo de actuación retardado

2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

- *Curva de Corriente Pico Permissible*

Debido a la velocidad de respuesta de las corrientes de falla, los fusibles tienen la habilidad de recortar la corriente antes de que ésta alcance proporciones peligrosas. El grado de limitación de corriente de los fusibles generalmente se representa en forma de curvas de corriente pico permissible. Las curvas de corriente pico permissible o curvas del efecto de limitación de corriente son útiles desde el punto de vista de la determinación del grado de protección contra cortocircuito que proporciona el fusible al equipo. Estas curvas muestran el pico instantáneo de corriente permissible como una función de corriente simétrica rms disponible.

2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

- *Curva de Corriente Pico Permissible*

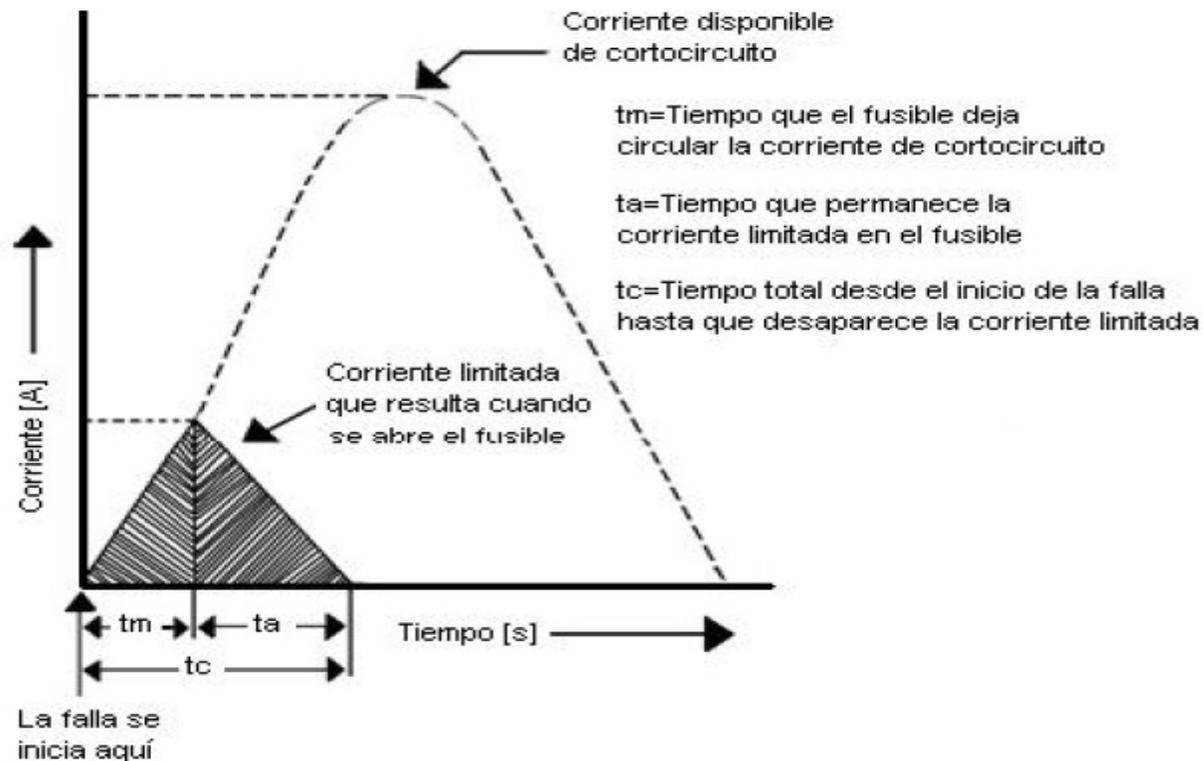


Figura 1.10 Efecto limitador de corriente de los fusibles.

2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

- *Curva de energía de fusión I^2t*

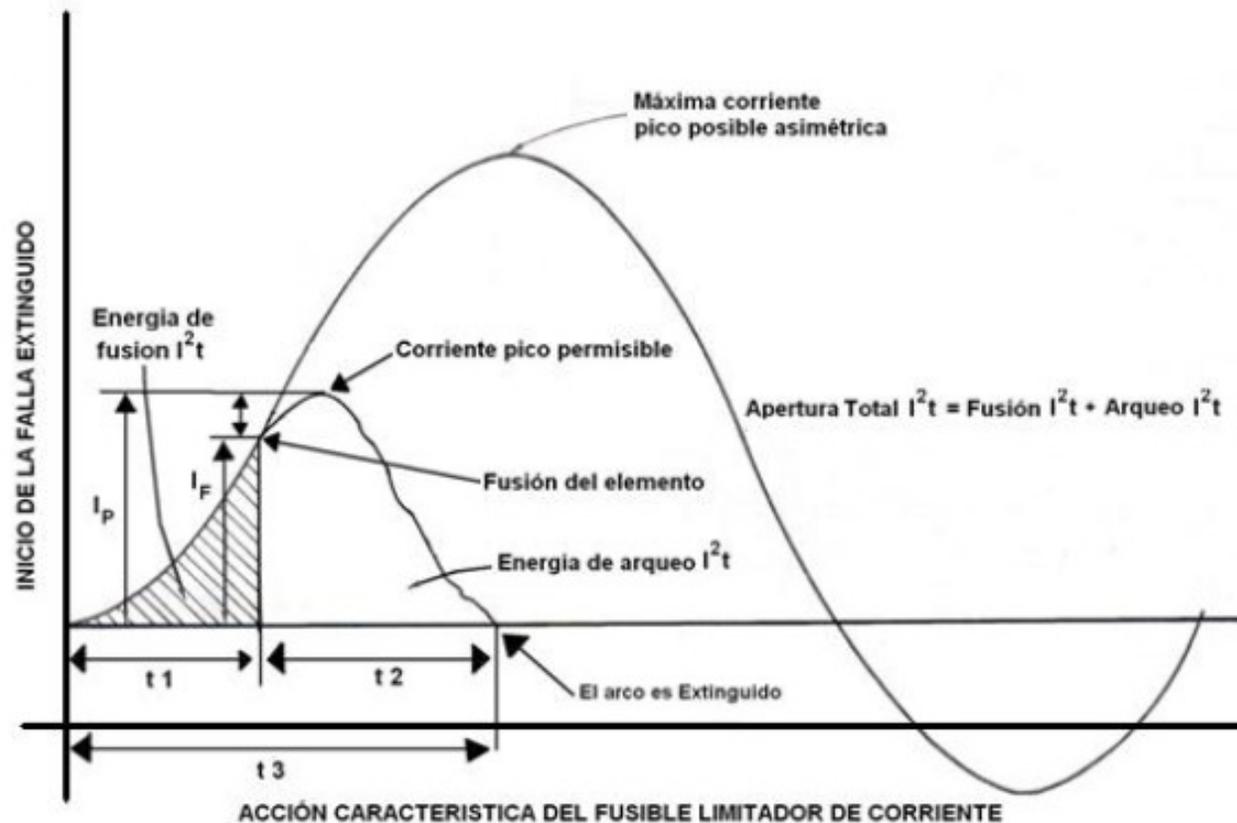
Durante la operación de un fusible cuando se produce una sobrecarga es necesaria una cierta cantidad de energía para fundir el elemento fusible y otra cantidad de energía para extinguir el arco eléctrico después de que el elemento comienza a fundirse.

Los datos de energía permisible I^2t para cada clase de fusibles se presentan en forma de tablas, donde se aprecia el tipo y la capacidad de fusible así como su energía permisible I^2t de los mismos

2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

- *Curva de energía de fusión I^2t*



2. FUSIBLES

Curvas características de los fusibles

- *Curva de energía de fusión I^2t*

Tabla 1.3 Energía permisible I^2t .

CLASE	CAPACIDAD [A]	I_p [A]	I^2t [A ² /s.]
J	30	7 500	7×10^3
	60	10 000	30×10^3
	100	14 000	80×10^3
	200	20 000	300×10^3
	400	30 000	$1\,100 \times 10^3$
	600	45 000	$2\,500 \times 10^3$
K1	30	10 000	10×10^3
	60	12 000	40×10^3
	100	16 000	100×10^3
	200	22 000	400×10^3
	400	35 000	$1\,200 \times 10^3$
	600	50 000	$3\,000 \times 10^3$
K5	30	11 000	50×10^3
	60	21 000	200×10^3
	100	25 000	500×10^3
	200	40 000	$1\,600 \times 10^3$
	400	60 000	$5\,000 \times 10^3$
	600	80 000	$10\,000 \times 10^3$

2. RELÉS DE PROTECCIÓN

El relé de protección es un dispositivo que detecta una falla o condición anormal de un equipo eléctrico y lo separa de la red eléctrica en forma automática, tomando en consideración que el relé se puede energizar por una señal de tensión, una señal de corriente o por ambas.

El relé de protección es un equipo de medición que compara una señal de entrada con una señal de ajuste de la misma naturaleza que la señal de entrada, teniendo en cuenta que su operación se manifiesta cuando la señal de entrada es mayor a la señal de ajuste, cuando esto ocurre se dice que el relé opera y se manifiesta físicamente abriendo y cerrando contactos propios o de relé auxiliares para desconectar automáticamente los interruptores asociados al equipo fallado.

2. RELÉS DE PROTECCIÓN

Los relevadores proporcionan una indicación de su operación mediante banderas o señales luminosas esto depende de los fabricantes. Los relevadores auxiliares se utilizan para disparar o bloquear el cierre de algunos interruptores y otras funciones de control y alarma.

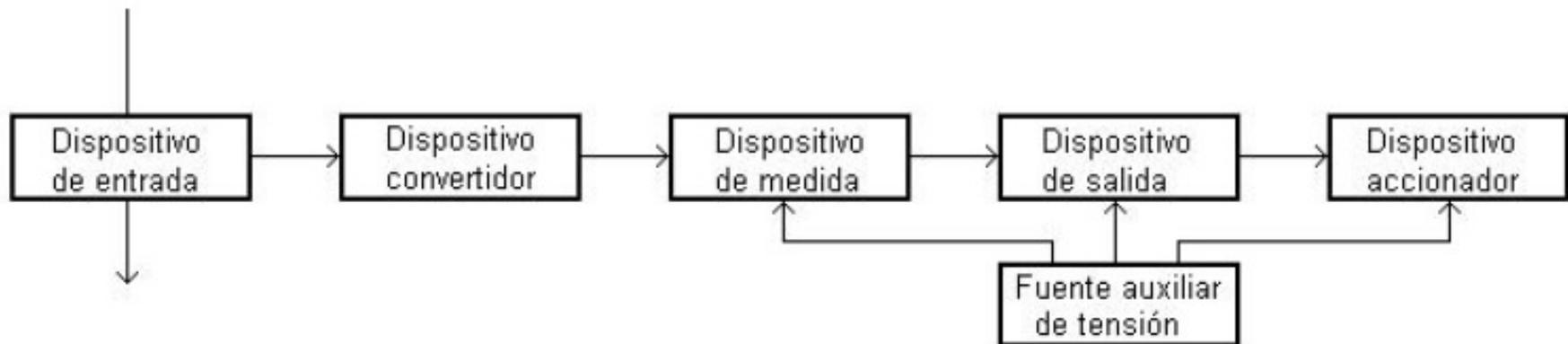
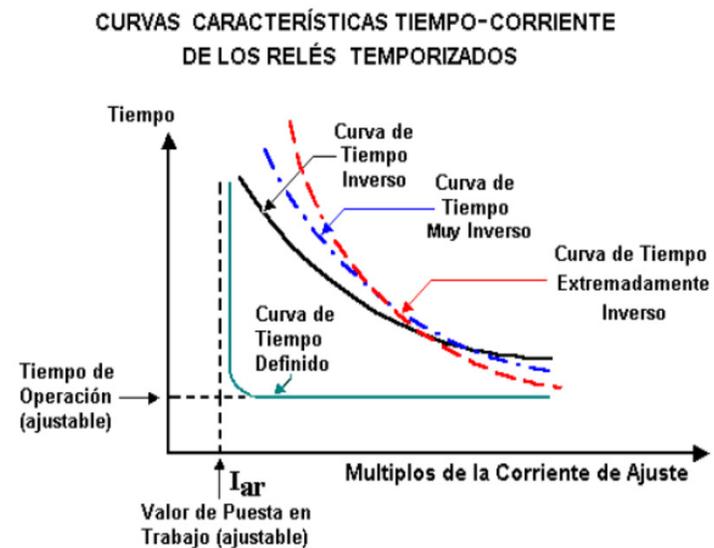


Figura 1.12 Esquema básico de un relevador de protección.

2. RELÉS DE PROTECCIÓN

RELÉS DE SOBRECORRIENTE

- Monitorea permanentemente la corriente que circula por el equipo.
- La corriente de arranque es ajustable. Cuando la corriente sobrepasa el ajuste determinado el relé cierra los contactos e inicia el disparo de los interruptores.



2. RELÉS DE PROTECCIÓN

RELÉS DE SOBRECORRIENTE

- *Clasificación:*

Por su tiempo de operación.

- Relés de sobrecorriente instantáneo (número ANSI 50).
- Relés de sobrecorriente con retardo de tiempo (número ANSI 51).

Por su construcción.

- Relevadores electromecánicos.
- Relevadores estáticos.
- Relevadores digitales ó microprocesados

2. RELÉS DE PROTECCIÓN

RELÉS DE SOBRECORRIENTE

- *Clasificación:*

Por sus características de tiempo corriente.

- Tiempo definido.
- Tiempo inverso.
- Tiempo muy inverso.
- Tiempo extremadamente inverso.

Por su nivel de corriente y forma de conexión.

- Relevadores de sobrecorriente de fase.
- Relevadores de sobrecorriente de neutro.
- Relevadores trifásicos.

3. INTERRUPTORES

Características

Un interruptor es usualmente empleado en subestaciones de distribución con aplicaciones de protección de sobrecorriente.

Un interruptor es un equipo de conmutación con capacidad de cerrar, mantener y abrir corrientes en condiciones normales de operación, y también, por un tiempo especificado, cerrar, mantener y abrir corrientes en condiciones anormales de operación tales como un cortocircuito.

El interruptor puede ser disparado o cerrado manualmente o por el uso de un relé externo o un control electrónico. Como tienen alta capacidad de interrupción y alta corriente nominal, estos elementos son relativamente más costosos que otros dispositivos de protección en sistemas de distribución

3. INTERRUPTORES

Características Nominales

NEMA SG-4 establece algunas características que tienen los interruptores, vista bajo el estándar ANSI:

- **Voltaje Máximo Nominal:**

Es el máximo voltaje para el cual el interruptor es diseñado y es el límite superior de operación.

- **Factor de rango de voltaje nominal (K):**

K es la relación de la máxima tensión nominal para el límite inferior de la gama de tensión de funcionamiento, en el cual se requiere que las capacidades de interrupción de corriente simétricos y asimétricos varían en proporción inversa a la tensión de funcionamiento.

3. INTERRUPTORES

Características Nominales

- **Prueba de resistencia a tensión de baja frecuencia:**

Es la prueba que se le hace a un interruptor nuevo, se prueba en seco y en condiciones especificadas, y debe ser capaz de soportar durante un minuto sin fallar.

- **Prueba de resistencia a tensión de impulso:**

Un nuevo interruptor debe ser capaz de soportar cada uno sin falla cuando se hace la prueba en las condiciones especificadas. La tensión de impulso de onda completa según la norma es el valor de cresta de un voltaje impulso 1.2×50 . La onda nominal recortada al impulso de tensión de prueba consistirá en un 129 por ciento de la puntuación de onda completa en un tiempo mínimo de dos microsegundos y 15 por ciento en un tiempo mínimo de tres microsegundos.

3. INTERRUPTORES

Características Nominales

- **Corriente nominal continua a 60 Hz:**

Es la máxima corriente a 60 Hz que un interruptor puede soportar continuamente sin exceder los valores permitidos de temperatura. Se tienen valores de 800, 1200, 2000 y 3000 amperios.

- **Tensión transitoria de restablecimiento, el tiempo nominal hasta el punto P:**

A su tensión nominal máxima, cada interruptor debe ser capaz de interrumpir fallas trifásicas en terminales sin conexión a tierra a corriente de cortocircuito nominal en cualquier circuito en el que la tensión de recuperación transitoria en circuitos sin conexión a tierra de tres fases no supere el transitorio tensión nominal de recuperación

3. INTERRUPTORES

Características Nominales

- **Tiempo de interrupción nominal:**

Es el intervalo máximo admisible entre la energización de la corriente de disparo a la tensión nominal de control y la interrupción de la corriente principal en todos los polos en una operación de apertura

- **Tiempo de disparo nominal admisible:**

Es el valor máximo de tiempo para el cual el interruptor requiere llevar a la corriente de cortocircuito nominal k veces después del cierre de esta corriente y antes de la interrupción.

3. INTERRUPTORES

Miniature Circuit Breakers (MCB's)

Los MCB son pequeños interruptores automáticos. La unidad básica es unipolar. Se cierra manualmente, abre eléctricamente o manualmente.

Son adecuados para su uso en:

- 230V de corriente alterna Monofásica / 400V de corriente alterna sistemas trifásicos y de motor de c.c.
- Alimentación auxiliar sistemas, con corriente de hasta 125A.

Contenida dentro de cada unidad es un elemento térmico, en el que una tira de bimetálico disparará el interruptor cuando pasa la corriente excesiva a través de él.

3. INTERRUPTORES

Miniature Circuit Breakers (MCB's)

Este elemento funciona con una característica predeterminada inversa de tiempo/corriente. A corrientes más altas, típicamente aquellos que exceden 3-10 veces corriente nominal, se genera el disparo por parte el accionamiento de un elemento por sobreintensidad magnética.

La característica de tiempo de funcionamiento de interruptores magnetotérmicos no son ajustable. La Norma Europea EN 60898-2 define el características de disparo instantáneo, mientras que el fabricante puede definir la característica térmica de tiempo inverso.

3. INTERRUPTORES

Miniature Circuit Breakers (MCB's)

Por lo tanto, una característica típica de disparo no existe. Unidades unipolares pueden estar acoplados mecánicamente en grupos para formar 2, 3 o 4 unidades polares, cuando sea necesario.

Los MCB se tienen uso industrial, comercial o aplicaciones domésticas, para la protección de equipos tales como cables, circuitos de iluminación y calefacción, y también para el control y la protección de los circuitos de baja potencia de motores. Ellos puede utilizarse en lugar de fusibles en circuitos individuales, y por lo general son 'copia de seguridad' por un dispositivo de fallo mayor capacidad de interrupción.

3. INTERRUPTORES

Miniature Circuit Breakers (MCB's)

Varias unidades de accesorios, tales como aisladores, temporizadores, y unidades de relé de mínima tensión o desconexión en derivación pueden estar combinado con un MCB para adaptarse al circuito particular para ser protegido y controlado.

3. INTERRUPTORES

Moulded Case Circuit Breakers (MCCB's)

Estos interruptores de circuito son muy similares a MCB pero tienen las siguientes diferencias importantes :

- a. los valores máximos de hasta 1000 V en corriente continua y 1200V en A.C. Valores nominales de 2.5kA de interrupción continua o 180kA r.m.s son posibles, dependiente de factor de potencia
- b. Debido a sus datos nominales más altos, MCCB son por lo general colocados en el sistema de distribución de energía más cerca a la fuente de energía que el MCB.

3. INTERRUPTORES

Moulded Case Circuit Breakers (MCCB's)

- c. Los interruptores son más grandes, proporcional al nivel de la instalación. Aunque está disponible como una sola unidad, se tienen unidades dobles o triples, que se pueden alojar en una sola caja. El interruptor del circuito neutro suele ser un dispositivo separado, acoplado a la multi- polo MCCB.
- d. los niveles de funcionamiento de los elementos de protección magnética y térmica pueden ser ajustables, en particular en el tamaño más grande de MCCB.
- e. Las especificaciones europeas están en la norma EN 60947-2

3. INTERRUPTORES

Air Circuit Breakers (ACB's)

Estos interruptores de aire se encuentran con frecuencia en sistemas industriales nominal de 3.3kV o por debajo.

Este tipo de interruptor opera sobre el principio de que el arco que se produce cuando se abren los contactos principales es dirigido hacia una cámara de corte. Aquí, la resistencia de arco se incrementa haciendo que la corriente se reduzca hasta el punto donde el voltaje de circuito no puede mantener el arco y la corriente se reduce a cero.

3. INTERRUPTORES

Air Circuit Breakers (ACB's)

Los tipos más antiguos que utilizan un cierre manual o mecanismo dependientes se consideran como un peligro para la seguridad. Esta surge en condiciones de cerrar el interruptor cuando una falla existe en el circuito.

Durante la operación cierre-disparo, existe el peligro de la salida del arco de la carcasa del interruptor, con el consiguiente riesgo de lesiones para el operador. Tales tipos pueden ser obligados a ser reemplazado con equivalentes modernos.

3. INTERRUPTORES

Air Circuit Breakers (ACB's)

Normalmente están equipados con protección de sobrecorriente, evitando así la necesidad de tenerlos por separado. Sin embargo, la característica de funcionamiento de la protección integral son a menudo diseñado para hacer que la coordinación con fusibles, MCB o MCCB más fácil y en un momento dado, no es tan fácil que pueda estar de acuerdo con las curvas características estándar dadas en la norma IEC 60255-3.

Por lo tanto, problemas en la coordinación con los relés de protección discretos todavía pueden surgir, pero relés numéricos modernos tienen más características flexibles para aliviar esas dificultades.

3. INTERRUPTORES

Air Circuit Breakers (ACB's)

La acción de los interruptores ACB también tienen la opción de aceptar una fuente externa para la señal de disparo, y esto puede ser usado en conjunción con una relé externo si se desea. La figura ilustra la características típicas de disparo disponibles.

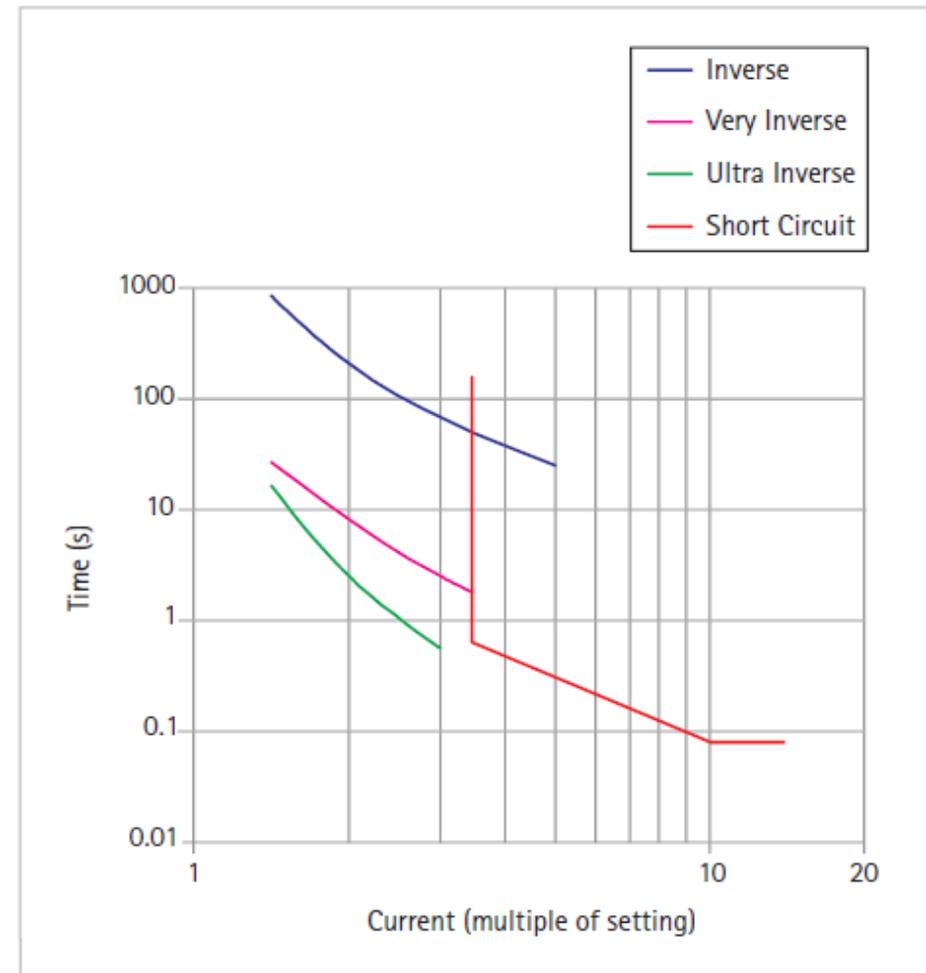


Figure 18.6: Typical tripping characteristics of an ACB

3. INTERRUPTORES

Oil Circuit Breakers (OCB's)

Los interruptores en aceite han sido muy populares por muchos años para los sistemas de suministro industrial en voltajes de 3.3kV y por encima.

En este tipo de disyuntor, los contactos principales están alojados en un tanque lleno de aceite, con la actuación de aceite como aislamiento y medio de extinción de arco. El arco producido durante la separación de contacto bajo condiciones de falla causa disociación del hidrocarburo aceite aislante en hidrógeno y carbono. El hidrógeno extingue el arco. El carbono resultante de la separación se mezcla con el aceite.

3. INTERRUPTORES

Oil Circuit Breakers (OCB's)

Como el carbono es conductor, el aceite debe ser cambiado después de un número prescrito de fallas, cuando el grado de contaminación llega a un nivel inaceptable.

Debido al riesgo de incendio involucrado con petróleo, cuando se instalan OCB se deben tener precauciones tales como la construcción de muros de fuego/explosión.

3. INTERRUPTORES

Vacuum Circuit Breakers (VCB's)

En los últimos años, este tipo de interruptor de circuito, junto con CB utilizando SF₆, ha sustituido OCB para nuevas instalaciones en sistemas industriales/comerciales en los voltajes de 3.3kV y por encima.

En comparación con los interruptores de circuito de aceite, los interruptores de vacío no tienen ningún riesgo de incendio y tienen una alta fiabilidad con larga períodos libres de mantenimiento. Una variación es el vacío contactor con fusibles HRC, HV utilizados en aplicaciones de arrancador de motores.

3. INTERRUPTORES

SF6 Circuit Breakers

En algunos países, los interruptores automáticos que utilizan gas SF6 como el medio de extinción de arco se prefieren en vez de VCB y aceite.

Los valores nominales de hasta 31,5 kA r.m.s. de corriente de falla a 36 kV y 40 kA a 24 kV son típicos. Los interruptores con SF6 también tienen ventajas de la fiabilidad y en los intervalos de mantenimiento en comparación con interruptores aislados en aire o aceite y están de tamaño similar al del VCB para el mismo nivel de corriente.

3. INTERRUPTORES

MAGNETOS – AUTOMÁTICOS - TÉRMICOS



Figura 1.18 Acción del interruptor con disparo térmico.



Figura 1.19 Acción del interruptor con disparo magnético.

4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

Para fallas transitorias en circuitos de distribución aérea que hacen operar fusibles e interruptores automáticos y que traen consigo demoras en la reposición del servicio (que pueden ser bastante prolongadas, especialmente en el caso de zonas apartadas ya que es necesario llegar al lugar donde se produjo el problema y reponer el fusible o accionar el interruptor) justifica disponer de un dispositivo de protección que desconecte rápidamente antes de que actúen los elementos mencionados y que a su vez, en forma automática reconecte el sistema, este dispositivo es el reconectador automático.

4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

El reconectador es un interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para reenergizar la línea. Está dotado de un [control](#) que le permite realizar varias reconexiones sucesivas, pudiendo además, variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones. De esta manera, si la falla es de carácter permanente el reconectador abre en forma definitiva después de cierto número programado de [operaciones](#), de modo que aísla la sección fallada de la parte principal del sistema.



4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

La tarea principal de un reanectador entonces es discriminar entre una falla temporal y una de carácter permanente, dándole a la primera tiempo para que se aclare sola a través de sucesivas reconexiones; o bien, sea despejada por el elemento de protección correspondiente instalado aguas abajo de la posición del reanectador, si esta falla es de carácter permanente



Figura 2.1.a. Dispositivos reanectadores (**Rct**) junto a sus equipos de control y/o programación.

4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

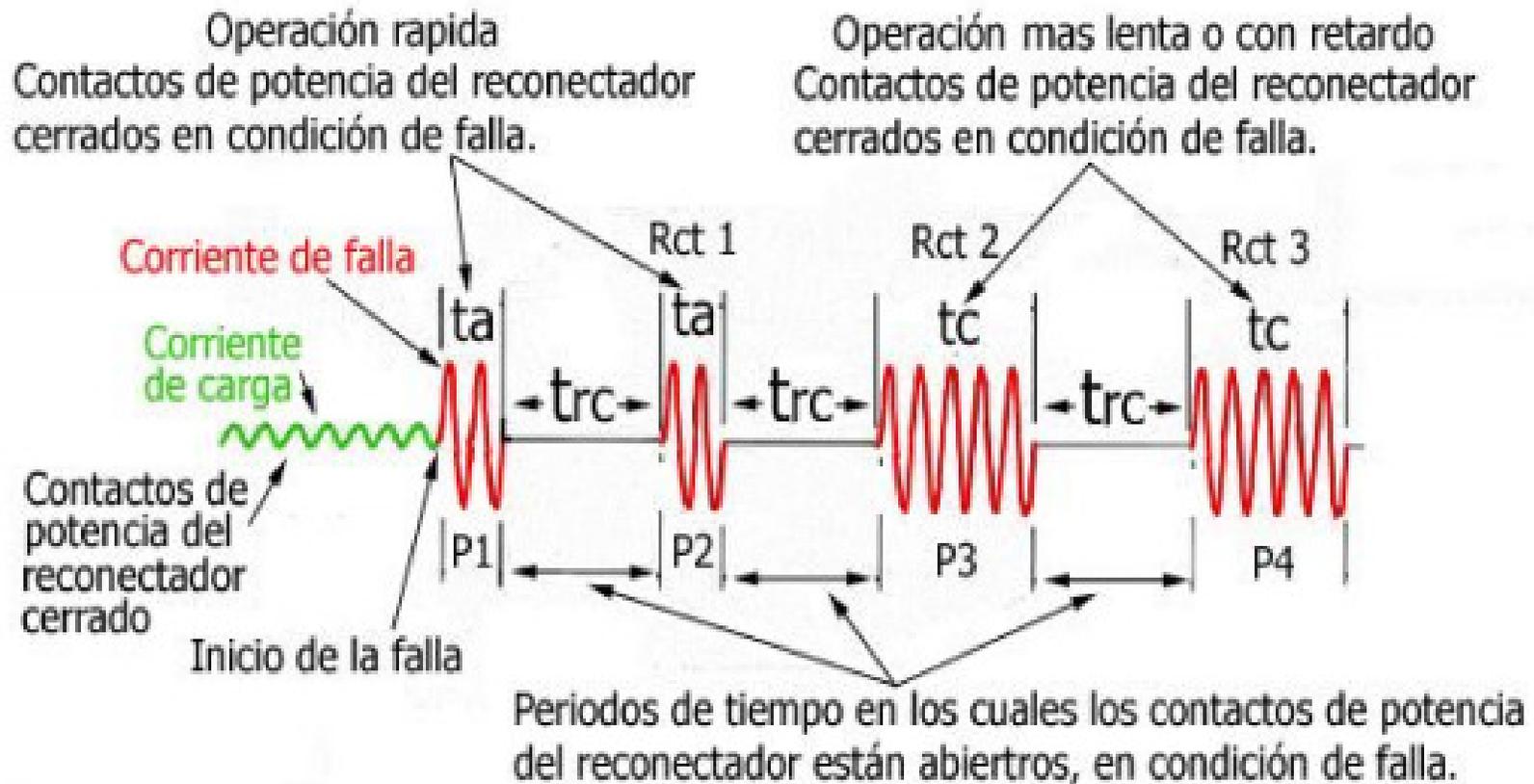
Los reconectadores pueden ser programados para un máximo de cuatro aperturas y tres reconexiones.

Los tiempos de apertura pueden determinarse de curvas características [tiempo](#)-corriente, las cuales proporciona el fabricante. Cada punto de las curvas características representa el tiempo de aclaración del reconectador para un determinado [valor](#) de corriente de falla.

Es importante destacar que estos dispositivos pueden constar de dos tipos de curvas, una de operación rápida y una segunda de operación retardada. Existen varios [modelos](#) de reconectadores sean trifásicos o monofásicos, sin embargo todos funcionan bajo el mismo principio

4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

Secuencia de Operación Reconectador



4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

Aplicación

Los reconectores pueden ser usados en cualquier punto de un sistema de distribución donde el rango del reconector es adecuado para los requerimientos del sistema. La ubicación lógica para reconectores se muestran en la Figura y corresponden a las indicadas por las respectivas letras:

- A. En subestaciones, como el dispositivo de protección del alimentador primario que permite aislar el alimentador en caso de falla permanente
- B. En líneas de distribución a una distancia de la subestación, para seccionalizar alimentadores largos y así prevenir salidas del alimentador entero cuando una falla permanente ocurre cerca del final del alimentador

4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

Aplicación

C. En ramales importantes desde el alimentador principal para proteger el alimentador principal de interrupciones y salidas debido a fallas en el ramal.

D. En pequeños ramales monofásicos.

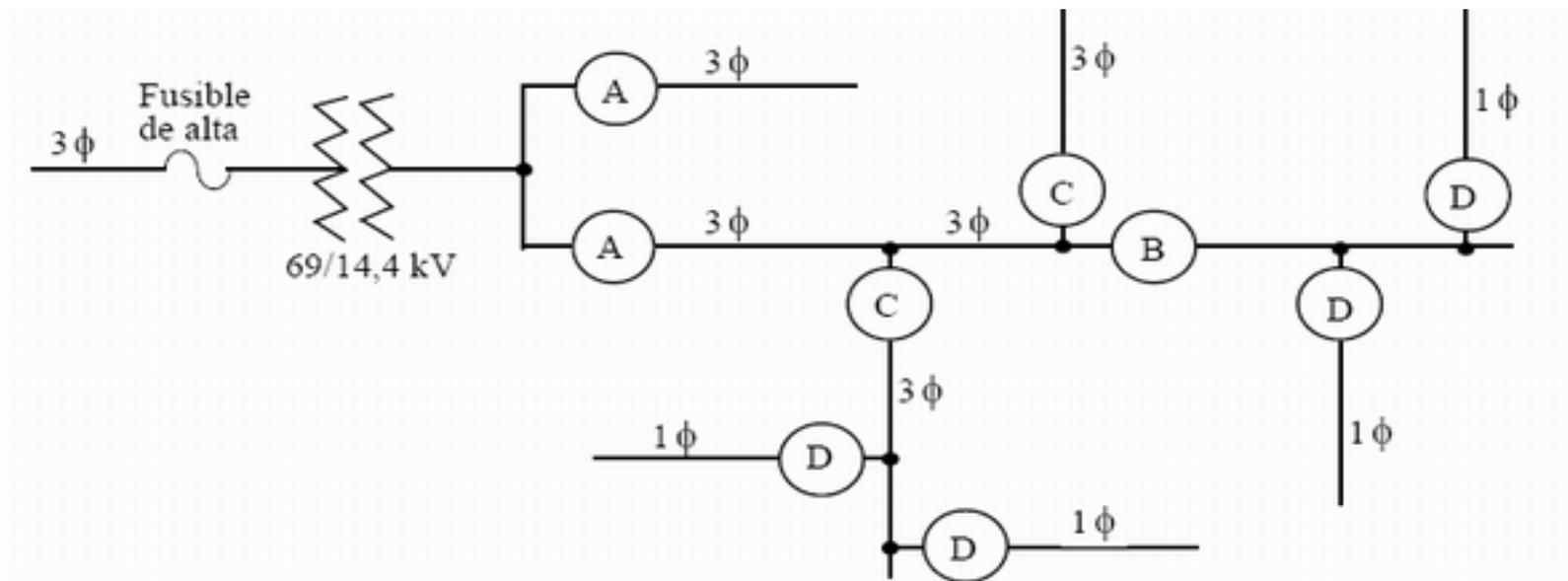


Diagrama unifilar de un sistema de distribución mostrando aplicaciones de los reconectores

4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

Aplicación

Para la correcta aplicación de los reconectadores, se deben considerar los siguientes factores:

1. La tensión nominal del sistema debe ser igual o menor a la tensión de diseño del reconectador.
2. La corriente máxima permanente de carga en el punto del sistema donde se ubicará, debe ser menor o igual a la corriente nominal de reconectador.
3. Debe tener una capacidad de ruptura mayor o igual, a la corriente máxima de falla en el punto de aplicación.

4. RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

Aplicación

4. La corriente mínima de operación debe escogerse de modo que detecte todas las fallas que ocurran dentro de la zona que se ha encomendado proteger (sensibilidad).

5. Las curvas tiempo-corriente y la secuencia de operación deben seleccionarse adecuadamente, de modo que sea posible coordinar su operación con otros elementos de protección instalados en el mismo sistema.

En la actualidad, se emplean los siguientes elementos en el aislamiento de los reconectadores de Media Tensión: aire, aceite, SF6 y dieléctrico sólido. El aire y el aceite pueden considerarse obsoletos en equipos para instalar en postes, debido a sus grandes dimensiones y peso. El SF6, así como el aceite, es considerado como un riesgo ambiental

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Definición

Un seccionalizador es un dispositivo de apertura de un circuito eléctrico que abre sus contactos automáticamente mientras el circuito está desenergizado por la operación de un interruptor o un restaurador.

Debido a que este equipo no está diseñado para interrumpir corrientes de falla, se utiliza siempre en serie con un dispositivo interrupción. Así mismo, como no interrumpe corrientes de falla no tiene características $t-I$, lo que constituye una de sus mayores ventajas y facilita su aplicación en los esquemas de protección

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Características

Un seccionalizador entre sus características incluye:

- Reinicio del contador
- Sensores de fallas a tierra
- Varias restricciones para prevenir operaciones o bloqueos innecesarios o indeseados. Por ejemplo, la distinción entre una gran carga de operación y una corriente de falla

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Factores para su aplicación

Los siguientes factores deben ser considerados cuando se aplican seccionalizadores:

- **Voltaje del sistema:**

Debe ser conocido y el seccionalizador debe tener una tensión nominal igual o mayor a la del voltaje del sistema.

- **Corriente máxima de carga:**

La corriente de trabajo permanente nominal debe ser igual o más grande que la máxima corriente de carga que pueda tener el circuito.

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Factores para su aplicación

- **Corriente máxima de falla permitida:**

La máxima corriente de falla debe ser conocida o calculada, y la capacidad del seccionalizador momentáneamente debe ser igual o más grande que la máxima corriente de corto permitida. El máximo tiempo de falla del equipo respaldo no debe exceder el poco tiempo nominal del seccionalizador.

- **Coordinación con otros elementos de protección:**

Este factor debe ser tenido en cuenta luego de cumplir los primeros tres factores. Los niveles de accionamiento, los comandos de bloqueo al equipo de respaldo y el tiempo de la memoria del seccionalizador son consideraciones primordiales que se tendrán en cuenta en los ejercicios de coordinación.

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Modo de operación

Si se registra un número de interrupciones predeterminado, en un lapso de tiempo, el seccionalizador abre después que ha operado el interruptor. Cuando ocurre una falla dentro de la zona de influencia de un seccionalizador, la corriente de falla es detectada tanto por el interruptor como por el seccionalizador, preparándose este último para contar el mínimo de recierres del interruptor.

Cuando este último opera se desenergiza la línea y, por tanto, la corriente en el seccionalizador es 0, registrando en su memoria una operación del interruptor

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Modo de operación

En resumen:

1. Si la falla es despejada mientras el dispositivo de recierre que está abierto, el contador del seccionalizador se reseteará a su posición normal después de que el circuito es recerrado, y queda preparado para iniciar nuevos conteos en caso de que ocurra otra falla.
2. Si la falla persiste cuando el circuito es recerrado, el contador de corrientes de falla en el seccionalizador, de nuevo se preparará para contar la próxima apertura del dispositivo de recierre.

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Modo de operación

- 3.** Si el dispositivo de recierre es ajustado para ir a la posición lockout en la cuarta operación de disparo el seccionalizador se ajustará para disparar durante el tiempo de apertura del circuito después de la tercera operación de disparo del dispositivo de recierre.
- 4.** Al contrario de los fusibles tipo expulsión, un seccionalizador proporciona coordinación (sin insertar una coordinación con curva t-I) con los dispositivos de respaldo asociados con las corrientes de falla muy altas y en consecuencia proporciona un punto de seccionamiento adicional en el circuito.

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Modo de operación

5. Los seccionalizadores no tienen una curva característica tiempo-corriente, por lo cual son usados entre 2 dispositivos de protección que tienen curvas de operación que están muy juntas y donde un paso adicional de coordinación no es práctico.
6. Son comúnmente empleados sobre ramales donde las corrientes de falla elevadas son evitadas coordinando con fusibles.
7. Ya que los seccionalizadores no interrumpen corrientes de falla, también son usados en lugares donde las corrientes de fallas son elevadas y los restauradores pequeños no podrían ser adecuados en términos de valores de su capacidad interruptiva. Por su capacidad de corriente de carga también sirve como un dispositivo seccionador económico.

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Tipos

- **Seccionalizadores hidráulicos.**

El control se emplea en seccionalizadores monofásicos y trifásicos pequeños. En la figura se muestra un corte del mecanismo de control de un seccionalizador monofásico o de una fase de un seccionalizador trifásico con control hidráulico. El mecanismo incluye una bobina solenoide, un émbolo de solenoide, pistón de corte, un resorte y dos válvulas de control

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Tipos

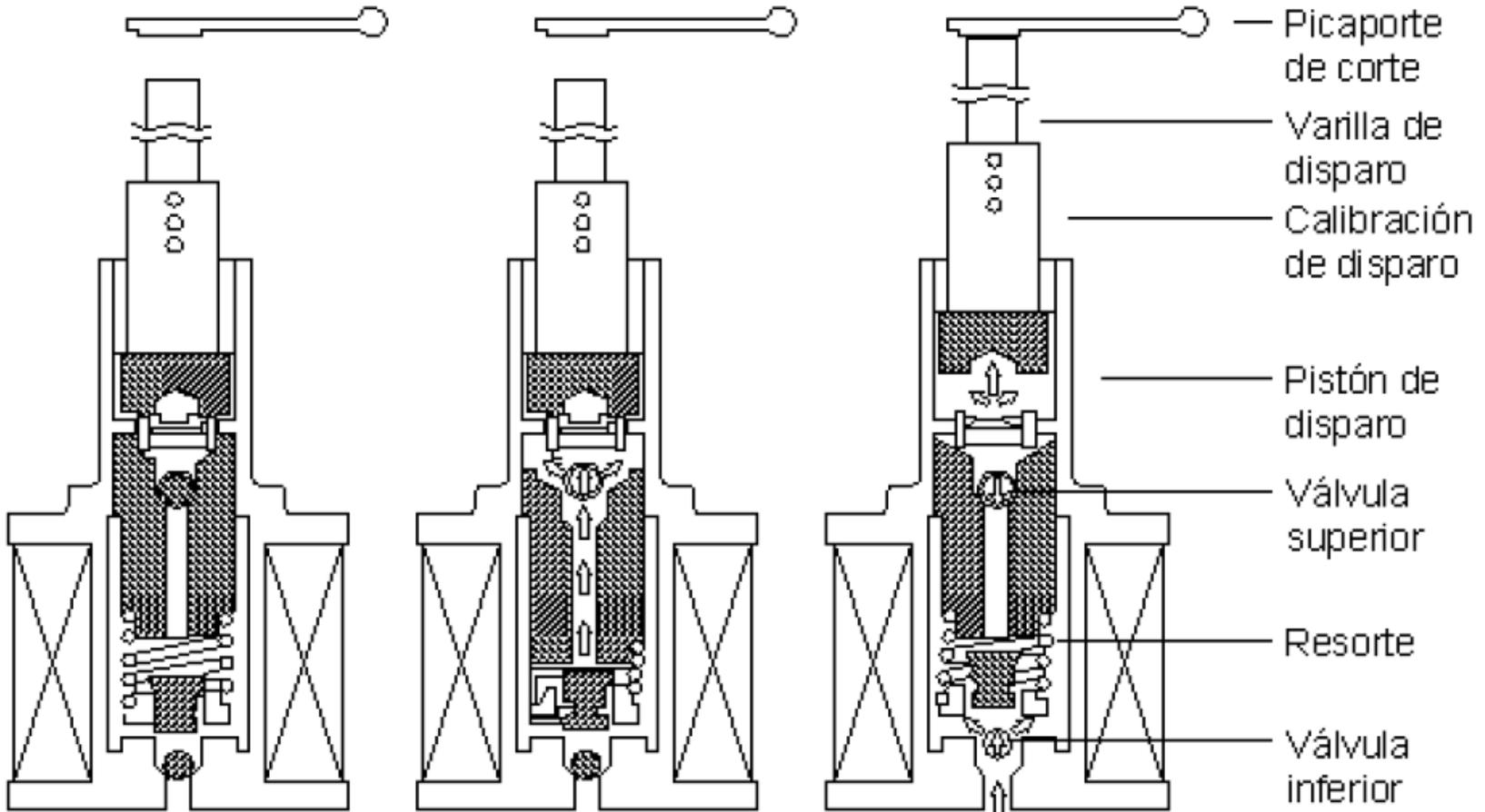


FIGURA 12.58. Seccionador de control hidráulico.

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Tipos

- **Seccionalizadores electrónicos.**

Este control es usado en equipos grandes; son más flexibles, fácilmente ajustados y más exactos que el control hidráulico. El control electrónico permite cambiar el nivel de la corriente mínima actuante, número de interrupciones del dispositivo de respaldo necesarios para que el seccionalizador abra sus contactos y el tiempo que retiene en memoria un conteo sin desenergizar el seccionalizador. Una amplia cantidad de accesorios son aprovechados para modificar su operación básica para resolver diferentes problemas de aplicación.

5. SECCIONALIZADORES AUTOMÁTICOS

Tipos

Los seccionadores hidráulicos y eléctricos tienen una teoría similar que operación. La figura ilustra como va dispuesto un seccionador en un circuito de distribución.

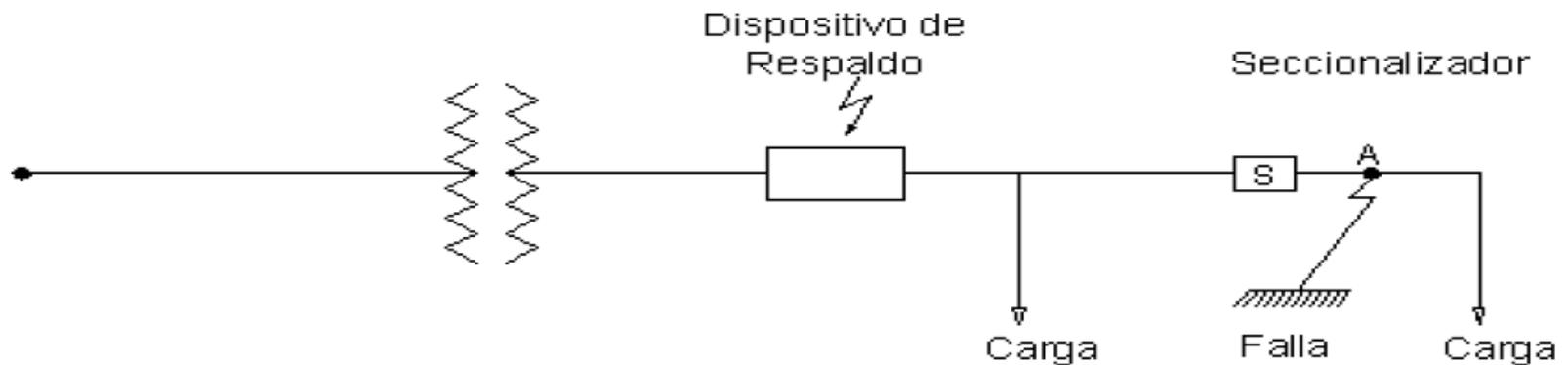


FIGURA 12.59. Instalación de un seccionador.

Cuando fluye una sobrecorriente por el seccionador causada por una falla en el punto A y está corriente está por encima de la corriente mínima actuante, se activa para comenzar a contar; el émbolo de la bobina serie es jalado en un seccionador hidráulico, o un relevador de función electrónica es energizado.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de tensión (configuración barras)

Dependiendo de la aplicación, la distribución de los circuitos de tensión será la siguiente:

Transformadores de tensión bahía de línea

- Tensiones secundarias núcleo 1:
 - Protección principal 1 (incluye el sincronismo)
 - SAS, medidores y contadores
 - Esquemas suplementarios, cuando se requiera
- Tensiones secundarias núcleo 2:
 - Protección principal 2 (incluye el sincronismo)
 - Registrador de fallas
- Tensiones secundarias núcleo 3 (donde aplique):
 - Contadores de fronteras comerciales o internacionales

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de tensión (configuración barras)

Transformadores de tensión bahía de transformador

- Tensiones secundarias núcleo 1
 - Protección principal (incluye el sincronismo)
- Tensiones secundarias núcleo 2
 - Protección de respaldo (incluye el sincronismo)
 - Registrador de fallas
- Tensiones secundarias núcleo 3
 - Medidores y contadores
 - SAS
 - Control automático de tensión

Transformadores de tensión de barra

- Tensiones secundarias núcleo 1
 - Sincronismo
- Tensiones secundarias núcleo 2
 - SAS
 - Registrador de fallas

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de corriente (configuración barras)

Distribución núcleos de corriente líneas

- Primer núcleo de protección
 - Protección principal 1
 - 50BF o Esquemas suplementarios, cuando se requiera
- Segundo núcleo de protección
 - Protección principal 2
 - Registrador de fallas
- Tercer núcleo de protección
 - Protección diferencial de barras
- Núcleo de medida
 - SAS, medidores y contadores.
- Cuarto núcleo de protección (donde aplique)
 - Zona de comprobación o chequeo de la protección diferencial de barras, donde se tenga un relé independiente para esta función.

Los demás núcleos se cortocircuitan en el propio TC.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de corriente (configuración barras)

Distribución núcleos de corriente Acople o Seccionamiento.

Para los nuevos esquemas de protecciones, en el seccionamiento y el acople se implementara un solo juego de transformadores de corriente a un lado del interruptor, y la protección diferencial de barras deberá poder identificar la barra fallada, la sección de la barra fallada, y las fallas en zona muerta (entre los transformadores de corriente y el correspondiente interruptor).

- Primer núcleo de protección
 - Protección diferencial Barra 1 o sección A
- Segundo núcleo de protección
 - Protección diferencial Barra 2 o sección B
- Tercer núcleo de protección
 - Protección sobrecorriente
- Núcleo de medida
 - SAS, medidores.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de tensión (configuración interruptores)

Dependiendo de la aplicación, la distribución de los circuitos de tensión será la siguiente:

Transformadores de tensión para derivación de línea

- Tensiones secundarias núcleo 1:
 - Protección principal 1 (incluye el sincronismo)
 - SAS, medidores y contadores
 - Esquemas suplementarios, cuando se requiera
- Tensiones secundarias núcleo 2:
 - Protección principal 2 (incluye el sincronismo)
 - Registrador de fallas
- Tensiones secundarias núcleo 3 (donde aplique):
 - Contadores de fronteras comerciales o internacionales

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de tensión (configuración interruptores)

Dependiendo de la aplicación, la distribución de los circuitos de tensión será la siguiente:

Transformadores de tensión para derivación de transformador

- Tensiones secundarias núcleo 1
 - Protección principal (incluye el sincronismo)
- Tensiones secundarias núcleo 2
 - Protección de respaldo (incluye el sincronismo)
 - Registrador de fallas
- Tensiones secundarias núcleo 3
 - Medidores y contadores
 - SAS
 - Control automático de tensión

Transformadores de tensión de barra

- Tensiones secundarias núcleo 1
 - Sincronismo
- Tensiones secundarias núcleo 2
 - SAS
 - Registrador de fallas

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de corriente (configuración interruptores)

Distribución núcleos de corriente líneas.

Para los cortes de barra (cortes A o C) de subestaciones en configuración de interruptor y medio, la distribución será la siguiente.

- Primer núcleo de protección
 - Protección principal 1
 - 50BF, si no está integrada en la 87B
 - Esquemas suplementarios, cuando se requiera
- Segundo núcleo de protección
 - Protección principal 2
 - Registrador de fallas
- Tercer núcleo de protección
 - Protección diferencial de barras
 - Núcleo de medida
 - SAS, medidores y contadores

Si son más de cuatro núcleos, los demás se cortocircuitan

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de corriente (configuración interruptores)

Distribución núcleos de corriente líneas.

Para los cortes medios (corte B) de subestaciones en configuración de interruptor y medio, en diámetros completos, la distribución será la siguiente.

- Primer núcleo de protección
 - Protección principal 1 derivación BC
 - Esquemas suplementarios derivación BC, cuando se requiera
 - Protección 50 BF (si el propietario del corte B es el mismo de la derivación BC)
- Segundo núcleo de protección
 - Protección principal 2 derivación BC
 - Registrador de fallas derivación BC
- Tercer núcleo de protección
 - Protección principal 2 derivación AB
 - Registrador de fallas derivación AB

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

Distribución circuitos de corriente (configuración interruptores)

Distribución núcleos de corriente líneas.

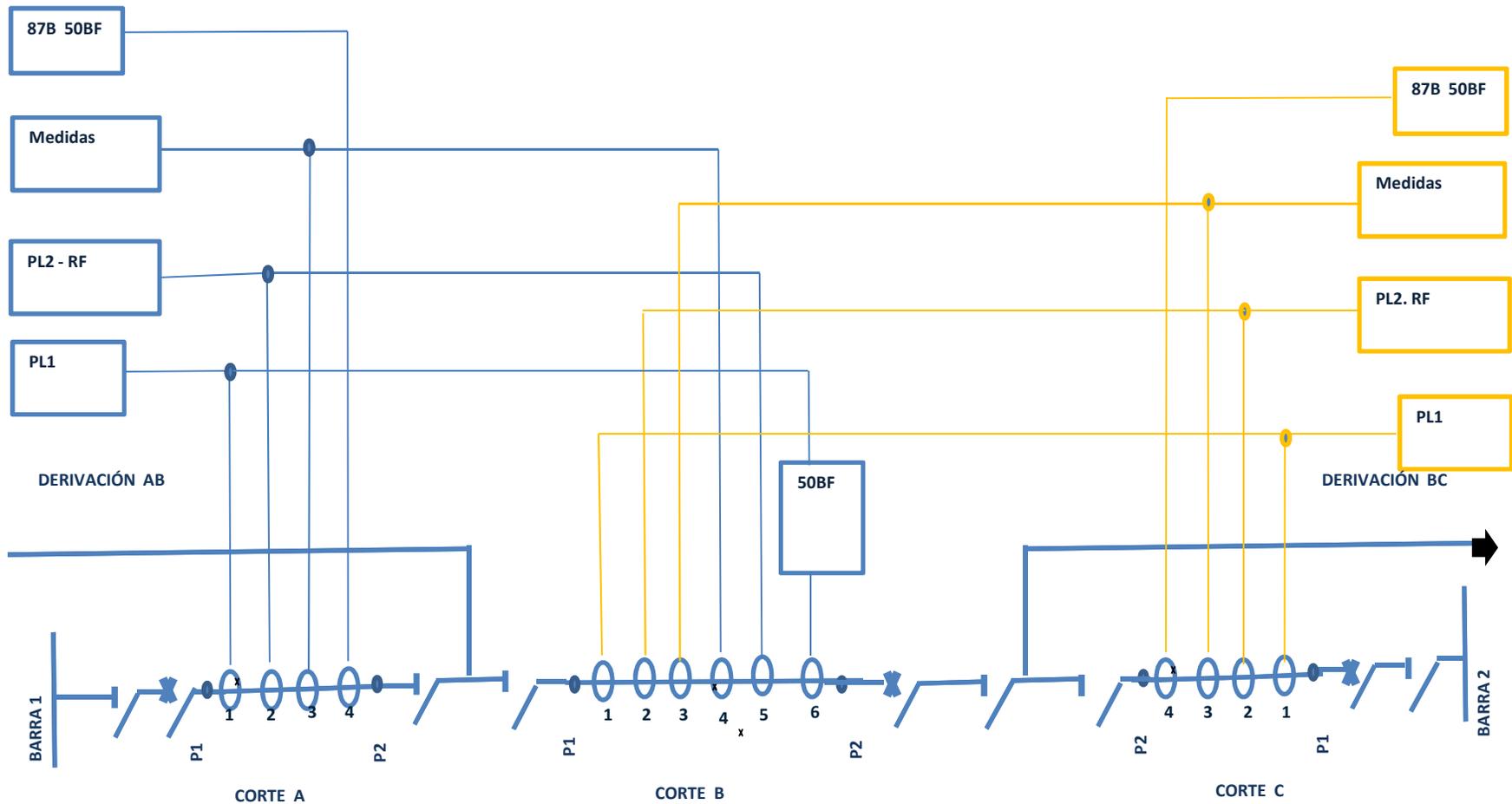
Para los cortes medios (corte B) de subestaciones en configuración de interruptor y medio, en diámetros completos, la distribución será la siguiente.

- Cuarto núcleo de protección
 - Protección principal 1 derivación AB
 - Esquemas suplementarios derivación AB, cuando se requiera
 - Protección 50 BF (si el propietario del corte B es el mismo de la derivación AB)
- Primer núcleo de medida
 - SAS, medidores y contadores derivación BC
- Segundo núcleo de medida
 - SAS, medidores y contadores derivación AB

Si son más de seis núcleos, los demás se cortocircuitan.

1. CIRCUITOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN

DISTRIBUCIÓN NORMALIZADA INTERRUPTOR Y MEDIO



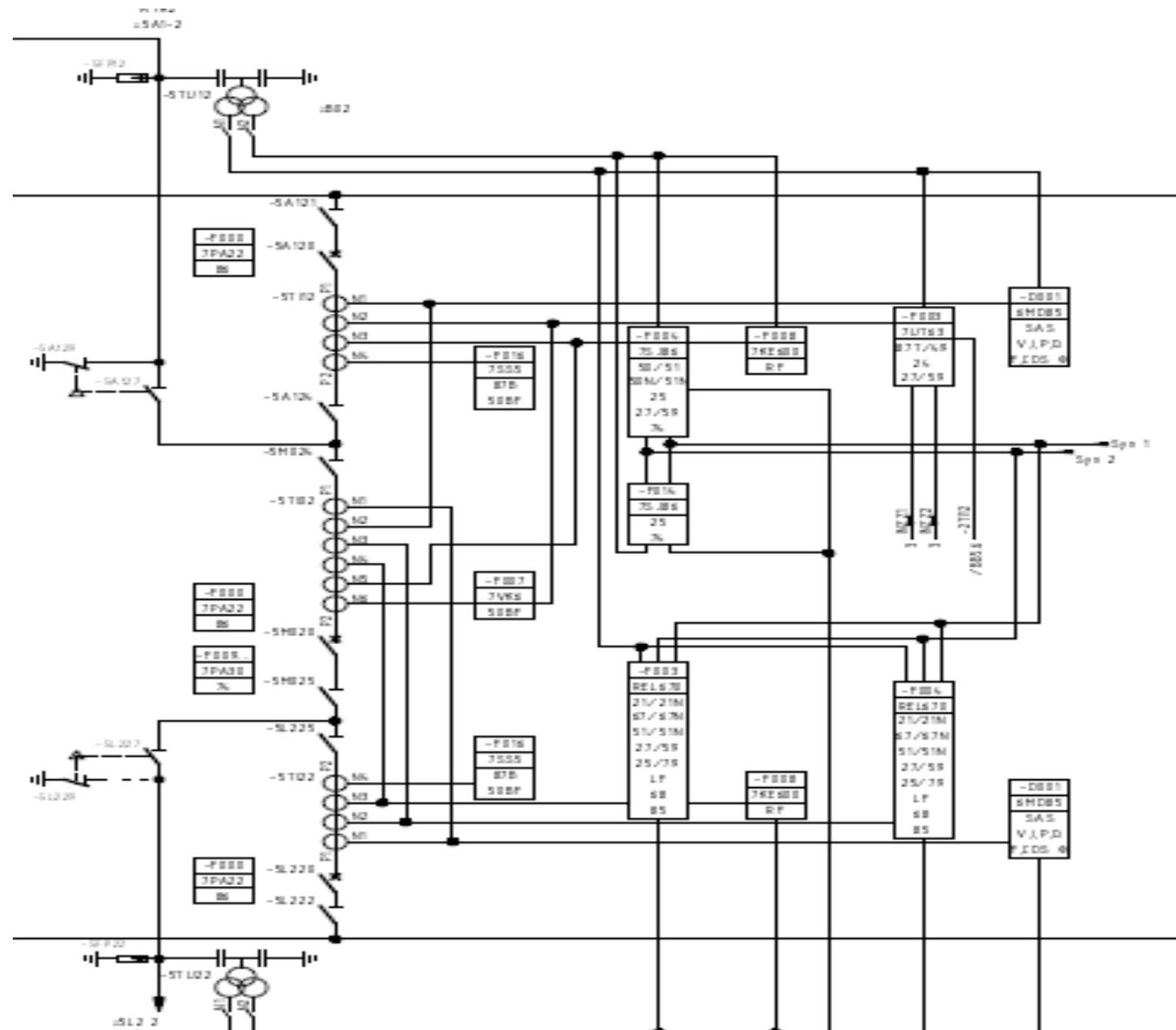
1. DIAGRAMA UNIFILAR CONTROL Y PROTECCIÓN

DIAGRAMA UNIFILAR

Se indica la distribución y/o conexión de los diferentes equipos de patio, protección y control en una subestación. Ver ejemplo.

1. DIAGRAMA UNIFILAR CONTROL Y PROTECCIÓN

DIAGRAMA UNIFILAR



Dispositivos de protección – Jorge Antonio Jaimes Báez