



8 201  
Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON  
INGENIERIA

SELECCION. APLICACION. PRUEBAS.  
MANTENIMIENTO Y ANALISIS DE FALLAS  
EN TRANSFORMADORES DE CORRIENTE  
PARA SISTEMAS ELECTRICOS DE  
POTENCIA

T E S I S

Que para obtener el titulo de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a  
Emilio Justo Colín Cruz

Director de Tesis  
ING. JAIME CARRILLO CORONA

FALLA DE ...

México, D.F.

1990



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# INDICE

	pag.
INTRODUCCION .....	1
GENERALIDADES .....	2
<b>CAPITULO 1 PRINCIPIOS DEL TRANSFORMADOR .....</b>	<b>3</b>
1.1 Fuerza Electromotriz Inducida .....	3
1.2 Amperes-Vuelta .....	4
1.3 Reactancia de Dispersión .....	6
1.4 Diagrama Vectorial del Transformador .....	7
1.5 Características del Transformador de Corriente .....	8
1.5.1 Condiciones Normales de Servicio .....	9
1.5.2 Condiciones Especiales de Servicio .....	9
1.5.3 Efecto de la Densidad del Aire en la Rigidez Dieléctrica de los Aislamientos Externos .....	10
1.5.4 Clase de Aislamiento y Nivel Básico de Impulso .....	10
1.5.5 Identificación de Terminales .....	12
1.5.6 Corrientes Nominales .....	13
1.5.7 Cargas Nominales .....	15
<b>CAPITULO 2 SELECCION DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE .....</b>	<b>16</b>
2.1 Clase de Precisión de T.C's para Medición .....	16
2.2 Especificaciones Relativas a T.C's para Protección .....	16
2.2.1 Clases de Precisión para Protección .....	16
2.2.2 Tensiones Inducidas en el devanado Secundario .....	17
2.3 Selección de T.C's para Medición .....	17
2.3.1 Instalación .....	17
2.3.2 Tensión Nominal de Aislamiento .....	17
2.3.3 Realización .....	18
2.3.4 Corrientes Nominales Normalizadas para T.C's .....	18
2.3.5 Corriente Nominal Primaria .....	19
2.3.6 Corriente Nominal Secundaria .....	19
2.3.7 Carga Secundaria .....	19
2.3.8 Potencia Nominal .....	20
2.3.9 Alimentación de Aparatos .....	20
2.3.10 Clases de Precisión .....	20
<b>CAPITULO 3 COMPORTAMIENTO DE LOS T.C's CON CORRIENTES DE CORTO-CIRCUITO .....</b>	<b>23</b>
3.1 Ecuación de la Corriente de Corto-Circuito .....	23
3.2 Evolución del Flujo en un T.C. no Saturado .....	25
3.3 Factor Requerido en un T.C Normal .....	26
3.4 Evolución del Flujo en un T.C Lineal .....	26

	PÁG.	
<b>CAPITULO 4</b>	<b>PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE CORRIENTE</b> .....	<b>31</b>
4.1	Pruebas Dieléctricas .....	32
4.1.1	Prueba de Tensión Aplicada .....	32
4.1.2	Prueba de Tensión Inducida .....	32
4.1.3	Prueba de Impulso .....	32
4.1.4	Prueba de Factor de Ionización .....	33
4.1.5	Prueba de Descargas Parciales .....	35
4.2	Pruebas de Resistencia al Corto-Circuito .....	40
4.2.1	Corriente Térmica Límite .....	40
4.2.2	Corriente Dinámica Límite .....	40
4.3	Verificación a la Tensión de Circuito Abierto en los T.C.'s .....	40
4.4	Pruebas de Temperatura .....	41
4.5	Pruebas de Precisión .....	41
4.5.1	Norme ANSI C 57-13 .....	42
4.5.2	Recomendaciones CEI-185 .....	42
4.5.3	Aparatos de Calibración .....	47
4.5.4	Descripción de Puentes de Calibración .....	46
4.5.5	Verificación del Índice de Saturación de los T.C.'s para Protección .....	46
<b>CAPITULO 5</b>	<b>MANTENIMIENTO</b> .....	<b>48</b>
5.1	Tipos de Mantenimiento .....	49
5.2	Mantenimiento de Transformadores .....	50
5.3	Trabajos de Mantenimiento en Campo .....	50
5.4	Pruebas de Campo .....	50
5.5	Historial y Reportes .....	52
<b>CAPITULO 6</b>	<b>ANÁLISIS DE FALLAS</b> .....	<b>53</b>
6.1	Criterio de Análisis de Fallas .....	53
6.2	Inspección Visual .....	54
6.3	Pruebas de Campo .....	55
6.4	Análisis de Falla .....	55
6.5	Estadística de Fallas en T.C.'s .....	56
6.6	Cuestionario de Fallas en T.C.'s .....	57
<b>CONCLUSIONES</b>	.....	<b>60</b>
<b>REFERENCIAS</b>	.....	<b>61</b>
<b>Apéndice "A"</b>	<b>Transformadores de Corriente en Baja, Media y Alta Tensión</b> .....	<b>62</b>
<b>Apéndice "B"</b>	<b>Definiciones de Vocablos Técnicos Empleados en T.C.'s</b> .....	<b>65</b>
<b>Apéndice "C"</b>	<b>Protocolo de Pruebas de Rutina para T.C.'s</b> .....	<b>70</b>

## INTRODUCCION

Debido a la expansión demográfica mundial y consecuentemente en nuestro país, la demanda de la energía eléctrica se incrementa en forma exponencial a través del tiempo.

Por lo cual, se utilizan con mayor frecuencia las altas tensiones, para transmitir grandes volúmenes de energía.

Para poder manejar estos volúmenes de energía, crecen también paralelamente todo tipo de instalaciones que contribuyen de manera directa o indirecta, a implementar la red que requiere nuestro país.

Formando parte de las instalaciones citadas se encuentran siempre involucrados los equipos de transformación, los cuales permiten obtener las tensiones más adecuadas para el uso que se destine.

Dentro de estos equipos tienen especial importancia, los transformadores de instrumento cuya función principal es reducir a valores normales no peligrosos las características de tensión o de intensidad del sistema eléctrico, con el fin de permitir el empleo de aparatos de medición y de protección normalizados.

Existen dos categorías de transformadores para medición:

- a) Transformadores de Potencial.
- b) Transformadores de Corriente, (T.C's.).

Transformador de potencial o de voltaje es un transformador diseñado para suministrar una tensión adecuada a instrumentos de medición y protección.

Un transformador de corriente, es un transformador diseñado para suministrar la corriente adecuada, en aparatos de medición, protección o ambos, en el cual la corriente secundaria en las condiciones normales de uso, es proporcional a la corriente primaria y defasado respecto a ella un ángulo cercano a cero.

La función principal de los T.C's., es transformar la corriente de un circuito primario a un valor normalizado que sea aplicable a los diversos instrumentos de medición y protección.

La utilización de los T.C's., presenta las siguientes ventajas:

- Aísla los instrumentos de medición y protección del circuito primario.
- Permite la normalización de las características de operación de los instrumentos.
- Da mayor seguridad al personal.

En este trabajo se centrará la atención en los T.C's., en lo que se refiere a selección, aplicación, pruebas, mantenimiento y análisis de fallas.

En el capítulo 1 se da un repaso de la teoría clásica de los principios del transformador, se consideran también las características de los T.C's., en condiciones normales y condiciones especiales de servicio.

El capítulo 2 describe las clases de precisión de los T.C's., para protección y para medición.

En el capítulo 3 se estudia el comportamiento de los T.C's., al corto circuito, el conocimiento de este aspecto es necesario para su correcta dimensión, y así garantizar su operación durante un tiempo determinado.

El capítulo 4 se refiere a pruebas en el laboratorio aplicadas a T.C's., con el fin de comprobar sus características y especificaciones con las cuales fue diseñado.

En el capítulo 5 se hacen recomendaciones para establecer un programa de mantenimiento, así como elaborar un historial y reportes.

En el capítulo 6 se recomienda un criterio para analizar las fallas.

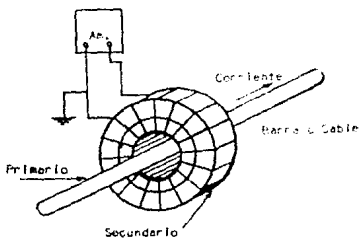
El objetivo del presente trabajo, es tener en una forma concreta la filosofía del transformador de corriente, considerando que puede ser utilizada como herramienta de trabajo o como elemento de consulta para quienes se interesen en profundizar más en el tema.

## GENERALIDADES

## TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Para evitar la conexión directa a los circuitos de alta tensión de los amperímetros de corriente alterne y los circuitos de corriente de otros instrumentos y contadores, como también en los electroimanes de los relevadores, se utilizan los transformadores de corriente. Además de proporcionar un aislamiento de la alta tensión se consigue una reducción de la intensidad de corriente de relación conocida. Con ello pueden emplearse amperímetros de tensión de aislamiento más bajo que la que necesitaría si los aparatos se conectarán directamente al primario.

El transformador de corriente, o en serie, tiene un primario que suele ser de pocas espiras, arrollado a un núcleo y conectado en serie con la línea de alta tensión. Cuando por el primario circula una corriente de gran intensidad, puede reducirse a un conductor recto, que pasa por el eje de un núcleo hueco.



Transformador de Corriente Tipo Dona

La impedancia del circuito acoplado al secundario actúa sobre la relación de transformación y sobre el ángulo de fase.

Cuando la carga crece, la relación aumenta de valor y la corriente del secundario se retrasa más, con lo que suele reducirse el valor de  $\beta$ .

El factor de corrección de la relación es el cociente de dividir la relación real entre la relación nominal.

El ángulo de fase no interviene cuando el T.C., se emplea únicamente para medir corrientes, pero introduce errores en las mediciones de potencia y energía, cuando los circuitos de

corriente de los wattímetros y vatthorímetros se conectan al secundario. El error puede ser pequeño cuando el factor de potencia tiene un valor próximo a la unidad, pero se hace más sensible para bajos valores de factor de potencia.

En la práctica, los secundario de casi todos los T.C.'s se conectan para 5 amperes, independientemente de la intensidad de corriente del primario.

El T.C. difiere del transformador de distribución o de potencia, en que la corriente primaria le determina únicamente la carga del sistema y no la carga propia del secundario.

Si el secundario se deja abierto, existirá una tensión elevada en sus terminales, debido a que la elevada relación entre el número de espiras del secundario y del primario hace que el T.C. actúe como elevador y también porque al no existir tampoco empujes-vuelta de compensación en el secundario, en lugar de generarse el flujo en el secundario por diferencia en sus empujes-vuelta y los del primario actúan solo. Con ello se produce un gran aumento del flujo, que da origen a pérdidas excesivas y calentamiento, así como una elevada tensión entre terminales del secundario.

Por lo tanto, el secundario de un T.C., no debe quedar nunca en circuito abierto.

Marcas de Polaridad.

Con el fin de conectar instrumentos de medición, control y protección, de modo que existan entre las fases de los circuitos de corriente la relación correcta, es necesario conocer en los transformadores de medición la relación entre polaridades instantáneas de los terminales del secundario y del primario. Se ha normalizado designar o marcar las terminales del secundario y del primario que tiene la misma polaridad instantánea. Las terminales del primario se marcan con  $H_1, H_2, \dots$  y las del secundario con  $X_1, X_2, \dots$ . Cuando una terminal del primario y otra del secundario son simultáneamente positivas, la corriente entrará por la terminal del primario y saldrá por el secundario.

## CAPITULO 1 PRINCIPIOS DEL TRANSFORMADOR.

El transformador se funda en la transmisión de la energía eléctrica por inducción de un devanado a otro, dispuesto en el mismo circuito magnético.

Las fuerzas electromotrices se inducen por la variación del flujo magnético. En el generador, el flujo es de intensidad esencialmente constante y la variación del que abrazan las espiras del inducido se consigue mediante el movimiento mecánico relativo del flujo y de las espiras. En el transformador, las espiras y el circuito magnético están en reposo uno con respecto a otro, y las fuerzas electromotrices (f.e.m.) se inducen por la variación de la magnitud del flujo con el tiempo.

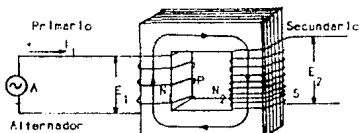


Figura 1

El núcleo está formado de chapas superpuestas de acero estampado.

En uno de los lados del núcleo se enrolla un devanado continuo P y en el opuesto otro devanado continuo S, que puede tener o no el mismo número de espiras que P.

Para reducir la dispersión magnética, el primario P y el secundario S se sitúan sobre un mismo brazo del núcleo. La fuente A suministra corriente al arrollamiento primario P, en el que, al estar montado sobre un núcleo de hierro, su fuerza magnetomotriz (f.m.m.) produce un flujo alternativo  $\Phi$  en el mismo. Las espiras del arrollamiento S abrazarán este flujo que, al ser alternativo, induce en S una f.e.m., de la misma frecuencia que el flujo. Debido a que este f.e.m. inducido, el arrollamiento secundario S es capaz de suministrar corriente y energía eléctrica. La energía por lo tanto, se transfiere del primario P al secundario S por medio del flujo magnético.

En el instante que representa la figura 1 el conductor superior es positivo, de modo que la dirección del flujo en el núcleo es la del sentido de giro de las agujas de un reloj.

El arrollamiento P, que recibe energía exterior, se llama primario. El arrollamiento S que suministra energía, se llama secundario. En un transformador, cualquiera de los arrollamientos puede hacer de primario, correspondiendo al otro hacer de secundario, lo que solo depende de cual de los dos es el que recibe la energía o el que la suministra.

## 1.1 Fuerza Electromotriz Inducida.

El flujo  $\Phi$  o flujo común o mutuo, al pasar por el circuito magnético constituido por el núcleo de hierro, no solo lo abrazan las espiras del secundario S, sino también las del primario P, y por lo tanto, debe inducir una f.e.m. en ambos arrollamientos S y P. Como el flujo es el mismo en cada uno de ellos debe inducir la misma f.e.m. por espira, la f.e.m. total inducida en cada uno de los arrollamientos debe ser proporcional al número de espiras que lo componen; es decir:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Siendo  $E_1$  y  $E_2$  las f.e.m. inducidas en el primario y en el secundario,  $N_1$  y  $N_2$  los números de espiras en cada uno de ellos, respectivamente. En los transformadores ordinarios, la tensión en las terminales solamente difiere de la f.e.m. inducida en un porcentaje muy pequeño, de modo que para muchos casos prácticos puede decirse que las tensiones en terminales del primario y del secundario son proporcionales a sus respectivos números de espiras.

La f.e.m. inducida en un transformador es proporcional a tres factores: La frecuencia  $f$ , el número de espiras  $N$  y el flujo instantáneo máximo  $\Phi_m$ . La ecuación de la f.e.m. inducida, suponiendo que el flujo varía según la ley senoidal, puede indicarse como sigue:

La figura 1.1 representa el flujo común  $\Phi$  que varía según una ley senoidal en función del tiempo. Entre los puntos a y b, la variación total de flujo es  $2\Phi_m$ . Esta variación de flujo se produce durante un semiperíodo o en el tiempo  $\frac{T}{2}$ , siendo T el período o tiempo necesario para que la onda complete un ciclo. El tiempo

$$\frac{T}{2} \text{ es igual a } \frac{1}{2f}$$

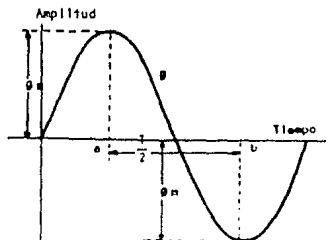


Figura 1.1

La f.e.m. media inducida es igual a la variación total del flujo dividida por el tiempo. Es decir:

$$e = \frac{N2\phi_m}{T} = \frac{N2\phi_m}{\frac{1}{2f}} = 4fN2\phi_m \dots (1)$$

Teniendo en cuenta que en la senoidea, la relación entre el valor eficaz y el valor medio es el factor de forma 1.11.

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.7071067 I_m$$

$$I_{media} = \frac{2}{\pi} I_m = 0.6366197 I_m$$

$$\frac{I_{ef}}{I_{media}} = \frac{0.7071067 I_m}{0.6366197 I_m} = 1.11 \quad (2)$$

La f.e.m. eficaz inducida es:

$$E = 4.44 fN2\phi_m \dots \dots \dots (3)$$

Donde el factor 4.44 es igual a 4 veces el factor de forma.

Si el flujo varía según una ley que no sea senoidea debe adoptarse un factor de forma Kf diferente de 1.11.

La ecuación (3) puede deducirse más rigurosamente de la forma siguiente.

$$\phi = \phi_m \sin \omega t$$

$$e = \frac{Nd\phi}{dt} = \frac{Nd(\phi_m \sin \omega t)}{dt}$$

$$e = N\omega\phi_m \cos \omega t$$

El valor máximo será:

$$E_m = N\omega\phi_m = 2\pi fN2\phi_m$$

Siendo el valor eficaz.

$$E = \frac{2\pi}{2} fN2\phi_m = 4.44fN2\phi_m$$

El flujo máximo es  $\phi_m = B_m A$ , siendo  $B_m$  la densidad de flujo máxima y  $A$  la sección del núcleo, por lo tanto:

$$E = 4.44 f N B_m A \dots \dots \dots (4)$$

Esta forma es más conveniente para diseñar, ya que los núcleos de los transformadores se proyectan partiendo de la densidad de flujo admisible.

Ta que el flujo  $\phi$  está dado en función de un seno y la f.e.m. inducida en función de un coseno,

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (5)$$

Las f.e.m. senoideas tienen un retardo de fase de  $90^\circ$  con relación al flujo que las induce.

1.2 Amperes-vuelta.

La figura 1.2 representa un transformador con sus arrollamientos primario y secundario. La dirección del flujo, de las tensiones, y de las corrientes están indicadas en la figura para el instante en que el conductor superior del primario es positivo y la intensidad de corriente aumenta. Supongase primero que el secundario no tiene carga alguna, por lo que en el primario circula una corriente muy pequeña  $I_0$ .

Esta corriente en vacío  $I_0$ , llamada de excitación, genera la f.e.m. que produce el flujo mutuo  $\phi$  y compensa también las pérdidas del núcleo o pérdidas en vacío. Lo puede descomponerse en dos:  $I_m$  en fase con el flujo  $\phi$ , que genera la f.e.m. que produce  $\phi$ ; y la otra en cuadratura con  $I_m$ , que compensa las pérdidas. Puesto que las pérdidas son pequeñas y el primario es muy inductivo, lo tiene un retardo de casi  $90^\circ$  con respecto a la tensión  $V_1$  en las terminales. También se tiene que, para todas las cargas ordinarias, la f.e.m.



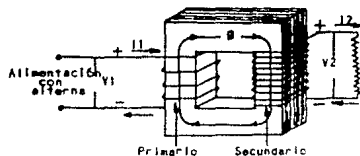


Figura 1.2

El Inducida en el primario por el flujo  $\Phi$  es casi igual en magnitud a la tensión en terminales del primario  $V_1$ , y difiere de ella sólo ligeramente, debido a la pequeña impedancia del primario. Luego, como  $V_1$  es constante, la f.e.m. Inducida  $E_1$  debe ser casi nula.

De la ecuación (3) se deduce que, puesto que  $E_1$  es casi constante, el flujo  $\Phi$  también es aproximadamente constante para todas las cargas normales y, por lo tanto, la f.e.m. que lo produce, lo mismo que las pérdidas en el hierro, deben ser prácticamente constantes. Así, la corriente excitatriz lo será aproximadamente constante para todas las cargas normales del transformador.

La f.e.m. Inducida en el primario,  $E_1$ , es una f.e.m. que se opone a la corriente que entra en el primario y es análogo a la f.e.m. de un motor. En vacío es igual a la f.e.m. de auto-inducción "e" que también se opone a la corriente.

Si se aplica una carga al secundario (Fig. 1.2) se tendrá una corriente  $I_2$  en  $N_2$ , cuya magnitud y desfase respecto a la tensión en las terminales de dicho secundario quedará determinada por las características de carga, sin embargo, en cada instante la dirección de la corriente en el secundario debe ser tal que se oponga a las variaciones del flujo, de acuerdo con la ley de Lenz, que establece que una corriente inducida tiene siempre una dirección que se opone a la causa que la produce. en la figura 1.2 se supone que la dirección del flujo es la de las manecillas del reloj y que aumenta.

Si la corriente en el secundario  $I_2$  genera el flujo  $\Phi$ , según la regla del sacacorchos penetraría por la terminal superior. Como  $I_2$  se opone al flujo  $\Phi$ , debe realmente salir por dicha terminal. La corriente en el secundario  $I_2$  tiende entonces, a reducir el valor del flujo común en el núcleo del transformador.

Si el flujo se reduce, la f.e.m. del primario se reduce también lo que permite que circule más corriente por él, suministrando la energía requerida por el aumento de potencia debido a la carga aplicada al secundario y haciendo que el flujo adquiere de nuevo un valor cercano al inicial. Este es la sucesión de relaciones que se producen después de aplicar la carga al secundario, que permiten al primario absorber de la línea de alimentación la energía requerida por el incremento de potencia exigida por el secundario.

La variación de f.e.m. en el al pasar de operación en vacío a operación a plena carga es aproximadamente de 1 ó 2%. Como la f.e.m. es proporcional al flujo común  $\Phi$ , el valor de  $\Phi$  varía sólo ligeramente dentro de los límites de trabajo del transformador y por lo tanto de los amperes-vuelta netos que actúan en el núcleo permanecen esencialmente invariables. El aumento de amperes-vuelta debido a la carga del secundario debe equilibrarse con los amperes-vuelta debidas al aumento de intensidad de corriente en el primario. Como el flujo se mantiene prácticamente constante, la corriente excitatriz debe mantenerse esencialmente constante.

La corriente excitatriz es de pequeña intensidad y generalmente su desfaseamiento es considerable con respecto a la corriente total del primario, como se ve en la figura 1.4.

Suele despreciarse lo en comparación con la intensidad de la corriente total del primario. Si se desprecia, los amperes vuelta del primario y del secundario son iguales y opuestos.

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

Por lo tanto:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Es decir las intensidades de corriente en el primario y en el secundario son inversamente proporcionales a sus respectivos números de espiras.

La relación anterior puede deducirse también de la ley de conservación de la energía. se supone que el factor de potencia es unitario se tiene que:

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

### 1.3 Reactancia de Dispersión.

En cuanto se ha expuesto se supone que todo el flujo que abraza el primario lo abraza también en el secundario. En la práctica no es posible que esta condición se realice. Todo el flujo producido por el primario no lo abraza el secundario, sino que una parte del mismo completa su circuito magnético a través del dieléctrico, en lugar de hacerlo por el núcleo como el flujo  $\phi_c$  que se representa en la figura 1.3 o sea que entre los planos "a" y "b" se produce una f.e.m. debida a los amperes-vuelta del primario, estando el plano "a" a mayor potencial magnético que el "b" en el instante considerado.

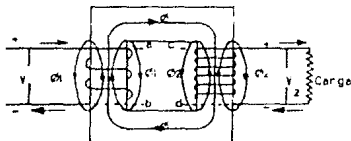


Figura 1.3

Flujo común y dispersión de los flujos en el primario y en el secundario de un transformador.

Este f.e.m. es proporcional a la intensidad de la corriente primaria y tiende a que parte del flujo que va de "a" a "b" pase por el dieléctrico siguiendo un circuito magnético sobre el que actúan solamente los amperes-vuelta del primario.

Este flujo  $\phi_d$  se denomina flujo de dispersión del primario y es proporcional únicamente al total de amperes-vuelta del primario, por que las espiras del secundario no abrazan el circuito magnético de  $\phi_d$ , que por lo tanto, induce una f.e.m. en el primario pero no en el secundario. El flujo  $\phi_d$  está en fase con la corriente total del primario,  $I_1$ . La f.e.m.  $e_1$  inducida por  $\phi_d$  debe estar en retraso de  $90^\circ$  con respecto a este flujo y a la corriente  $I_1$ . La f.e.m. es igual y opuesta a ella y, por lo tanto, estará adelantada  $90^\circ$  con respecto a la intensidad  $I_1$ . Como esta f.e.m. inducida por el flujo de dispersión del primario es proporcional a la intensidad de la corriente y está en fase de  $90^\circ$  con respecto a ella, no es otra co-

sa que una caída de tensión por reactancia, que se representa por  $-j_1 X_1$ . La componente de la tensión de línea que contrarresta esta f.e.m. es  $+j_1 X_1$ . Existe pues, una caída de tensión por reactancia en el primario de un transformador, de la misma manera que existe en el inducido de un alternador. El efecto del flujo dispersado en el primario es pues, la inducción de una f.e.m. que se opone a la corriente que va al transformador.

La f.e.m. del secundario (figura 1.3), actuando por sí sola es tal que la espira superior del enrollamiento está a un potencial magnético más elevado que la espira inferior del mismo. Es decir que el plano c está a un potencial magnético más alto que el plano d; y por lo tanto, existe un flujo  $\phi_2$  que tiende que pasar de c a d a través del dieléctrico, como se indica en la (figura 1.3) y que se denomina flujo de dispersión del secundario. Como el circuito que sigue no lo abraza el primario, el flujo de dispersión del secundario es proporcional únicamente a los amperes-vuelta del secundario. El flujo  $\phi_2$  induce una f.e.m. en el secundario con retraso de  $90^\circ$  respecto a la intensidad de corriente  $I_2$  en dicho enrollamiento (ver  $e_2$  en la figura 1.4). Esto es también una caída de tensión por reactancia y la componente que contrarresta está en avance  $90^\circ$  respecto a la corriente en el secundario. Esta última tensión se representa por  $j_2 X_2$  (figura 1.4). La reactancia del secundario se opone a la corriente que sale hacia fuera del secundario, como la reactancia del inducido. Las dos reactancias debidas a las dispersiones de flujo en el primario y en el secundario del transformador tienen el mismo efecto sobre su regulación, del mismo modo que la reactancia del inducido de un alternador la tiene sobre la regulación de éste.

En la parte del que rodea el secundario, el flujo común  $\phi_c$  y el flujo disperso  $\phi_d$  está en oposición, como  $\phi_1$  generan el conjunto de los amperes-vuelta del primario y del secundario y de  $\phi_2$  se debe solamente a los amperes-vuelta del secundario,  $\phi_1$  y  $\phi_2$  no están casi nunca en oposición directa, sino que su diferencia de fase suele ser un ángulo menor de  $180^\circ$  (figura 1.4). No existe en realidad dos flujos separados en el núcleo, en un instante dado, sino simplemente el flujo resultante de cambiar  $\phi_1$  y  $\phi_2$ . El flujo de dispersión  $\phi_d$  del primario y el  $\phi_2$  del secundario tienen la misma dirección general en el espacio comprendido entre las bobinas del primario y del secundario.

El circuito de los flujos de dispersión de los transformadores actuales no es tan sencillo como el que se representa en la figura 1.3. Debido a la reducción de los espacios que quedan entre los arrollamientos primario y secundario, los caminos de dispersión del flujo son mucho más restringidos. Además, los flujos dispersos totales  $\phi_1$  y  $\phi_2$  no abrazan todas las espiras de sus devanados respectivos, sino una parte de ellos únicamente. El flujo equivalente el de  $\phi_1$  y  $\phi_2$  puede determinarse a través de mediciones.

#### 1.4 Diagrama vectorial del Transformador.

La figura 1.4 representa las relaciones que existen entre las intensidades de corriente, tensiones y flujo, en un transformador, cuando su secundario suministra una corriente  $I_2$  a una tensión  $V_2$  en los terminales y con un factor de potencia  $\cos \theta_2$ . Se considera que la relación de transformación es la unidad, con el fin de que las longitudes de todos los vectores del diagrama sean del mismo orden de magnitud. Para aplicar el diagrama a cualquier relación de transformación basta multiplicar los vectores por dicha relación.

El vector  $E_2$  que representa la f.e.m. inducida en el secundario, trazado como eje horizontal, se elige como vector de referencia. El vector  $I_2$  de intensidad de la corriente en el secundario, está retrazado un ángulo  $\theta_2$  respecto a  $V_2$ , ángulo que corresponde al factor de potencia de la carga del secundario  $I_2 R_2$ , en fase con  $I_2$ , se suma vectorialmente a  $V_2$ . El flujo de dispersión  $\phi_2$  del secundario está en fase con  $I_2$  e induce la f.e.m.  $E_2$  en retraso de  $90^\circ$  respecto al flujo  $\phi_2$ . Esta f.e.m. se opone a la corriente del circuito exterior y ha de contrarrestarse por una componente de la f.e.m. inducida en el secundario,  $I_2 X_2$ , en avance de  $90^\circ$  respecto a  $I_2$ . La f.e.m. inducida en el secundario,  $E_2$  se determina sumando vectorialmente a  $V_2$  la caída por reactancia  $I_2 X_2$  debido a  $\phi_2$ , en cuadratura y en avance con relación a  $I_2$ . Como las f.e.m. inducidas en el primario y en el secundario las genera el mismo flujo común  $\phi$  y como ambos arrollamientos tienen el mismo número de espiras porque la relación de transformación es la unidad, las f.e.m. inducidas indicadas serán iguales en magnitud y estarán en fase de  $90^\circ$  respecto al flujo. En la figura 1.4, el flujo común  $\phi$  tiene un adelanto de fase de  $90^\circ$  respecto a las f.e.m. inducidas  $E_1$  y  $E_2$ .

La tensión de la línea de alimentación debe ser igual y opuesta a la f.e.m. inducida en el primario, antes que la corriente pueda circular por el primario, como también ocurre con los motores de corriente continua, en lo que la tensión de la línea debe ser igual y opuesta a la f.e.m. para que la corriente pueda circular por el inducido. La f.e.m. o tensión de línea debe ser igual a  $-E_1$ , con el valor idéntico y en oposición al  $E_1$ . La f.e.m.  $F_1$  es la fuerza contraelectromotriz del primario.

Si el flujo común  $\phi$  no varía de una manera apreciable, el primario debe tener el número de amperes-vuelta suficiente para equilibrar los amperes-vuelta del secundario. Estos amperes-vuelta del primario y del secundario son iguales y opuestos. Si hay  $N_2 I_2$  amperes-vuelta en el secundario debe haber por lo menos un número igual de amperes-vuelta en el primario para equilibrarlos. Estos amperes-vuelta del primario  $N_1 I_1$ , (figura 1.4) están retrasados  $180^\circ$  con respecto a los  $N_2 I_2$ . Es costumbre no presentar los amperes-vuelta en el diagrama, sino solamente las intensidades de corriente. Los amperes-vuelta se pueden obtener multiplicando cada uno de las intensidades por el correspondiente número de espiras representados por  $N_1$  y  $N_2$ .

A los amperes-vuelta  $N_1 I_1$  del primario deben agregarse los  $N_1 I_m$  necesarias para producir el flujo común  $\phi$ , siendo  $I_m$  la componente de imanación de la corriente excitación  $I_0$ . debe tenerse en cuenta la componente energética de  $I_0$  que compensa las pérdidas en el núcleo. En la figura 1.4 se representa  $I_m$  con el flujo común  $\phi$  y la componente energética  $I_0$  de  $I_0$ , que compensa las pérdidas en el núcleo y está en fase con  $-E_1$ .

Debido a las variaciones que experimenta la permeabilidad del hierro del núcleo del transformador durante un periodo, la corriente de imanación  $I_m$  no es senoidal. Sin embargo,  $I_m$  es tan pequeña comparada con la corriente de carga, que se comete un error despreciable si se representa por un vector su onda senoidal equivalente o componente fundamental.

La intensidad total de la corriente primaria  $I_1$ , es la suma vectorial de  $I_0$  y de  $I_1$ .

El flujo de dispersión  $\phi_1$  del primario está en fase con  $I_1$ , e induce la f.e.m.  $E_1 = -I_1 X_1$ .

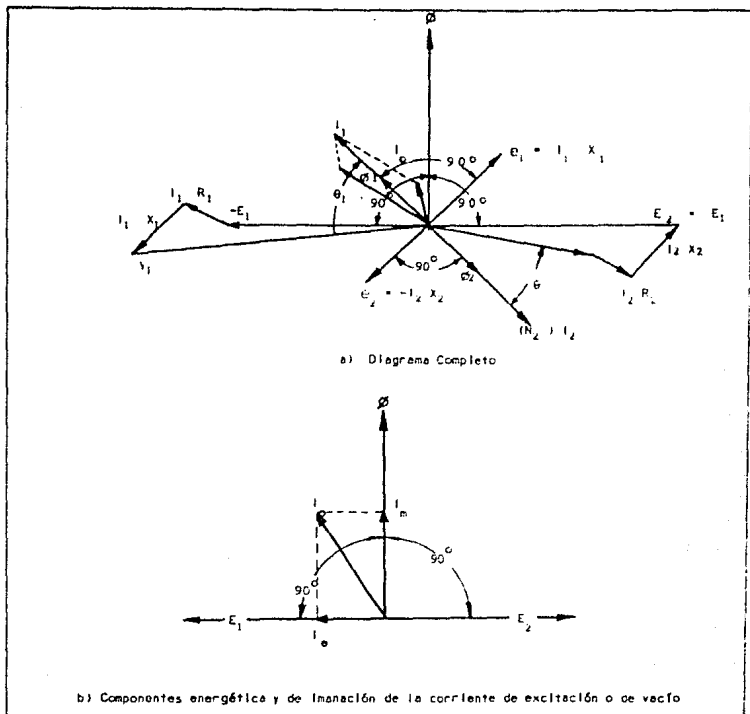


Figura 1.4

La tensión  $V_1$  en los terminales del primario se determina sumando vectorialmente  $-E_1$ ,  $I_1 R_1$  e  $I_1 X_1$ . El ángulo  $\theta_1$ , que forman  $V_1$  e  $I_1$  es el ángulo del factor de potencia del transformador.

En la mayoría de los diagramas vectoriales de los transformadores se exageran la corriente de imanación y la caída de tensión. Por ejemplo  $I_0$  vale del 1 al 3% de  $I_1$ ;  $I_2 R_2$  es del orden del 1% de  $V_2$ , etc. Si estas cantidades se dibujaran en sus verdaderas proporciones, resultarían demasiado pequeñas para poderlas re-

presentar. Por tanto, las variaciones que experimentan  $-E_1$  y  $E_2$  al variar la carga, suelen ser pequeñas.

### 1.5 Características del T.C.

El transformador diseñado para suministrar la corriente adecuada a los aparatos de medición protección o ambos, en el cuál la corriente, en las condiciones normales de operación es proporcional e la corriente primaria defasada respecto a ella un ángulo cercano a cero grados.

Clasificación	Aplicación	-Transformadores de corriente, para medición.
		-Transformadores de corriente, para protección
	Instalación	-Servicio Interior.
		-Servicio Intemperie.
	Tipo de Aislamiento	-Seco
		-Líquido
-Gaseoso		

c.4 Neutro, Conectado a Tierra por medio de una impedancia.

Clase de Aislamiento	Límite del Incremento de temperatura en promedio $^{\circ}\text{C}$	Límite del Incremento de temperatura del punto más caliente $^{\circ}\text{C}$
Devanados sumergidos en aceite clase de aislamiento 105	55	65
Clase 105 tipo seco	55	65
Clase 130 tipo seco	80	110

### 1.5.1 Condiciones Normales de Servicio

a) Temperatura ambiente. Se consideran dos clases de temperatura ambiente:

a.1 30°C promedio para un periodo de 24 horas con un máximo de 40°C.

a.2 55°C como promedio para el interior de tableros.

La temperatura mínima para el transformador tipo Intemperie es de -25°C y para transformadores tipo Interior es de -5°C.

Si la temperatura ambiente del lugar de utilización del transformador sobrepasa los valores indicados, el incremento de temperatura dado en la tabla 1.5.a debe deducirse proporcionalmente al exceso de temperatura ambiente.

b) Altitud. Igual o inferior a 1000 metros sobre el nivel del mar.

c) Neutro del Sistema. El neutro puede ser:

c.1 Neutro, Alzado

c.2 Neutro, Resonante

c.3 Neutro, Efectivamente Conectado a Tierra

Tabla 1.5.a

Límite del incremento de temperatura en los devanados, según su clase de aislamiento, referido a una altura de 1000 m sobre el nivel del mar y a una temperatura del ambiente máxima de 40°C.

NOTA: El límite del incremento de temperatura en promedio se considera medido por el método de resistencia.

### 1.5.2 Condiciones Especiales de Servicio

Existen algunas condiciones especiales de servicio que deben tomarse en cuenta para el diseño y la aplicación de los transformadores:

a) Temperatura ambiente mayores a las especificadas.

b) Humos o vapores dañinos, polvo excesivo o abrasivo, mezclas explosivas de polvos o gases, vapor, partículas de sales, humedad excesiva o goteo.

c) Vibraciones excesivas, choques o golpeteo.

d) Condiciones inadecuadas de transporte o almacenamiento.

## e) Limitaciones de espacio y ventilación.

f) Condiciones no usuales de ciclo de operación, frecuencia, mantenimiento, forma de onda, tensión, requisitos de aislamiento etc.

El incremento de temperatura de un transformador de corriente, por cuyo primario pasa una corriente nominal térmica continua a frecuencia nominal y teniendo en su secundario una carga en voltamperes igual a la máxima carga nominal de transformador, no debe exceder el valor dado en la tabla 1.5.a.

## NOTAS:

- 1) Si el transformador tiene gas inerte sobre el aceite o bien, está sellado herméticamente, la elevación de temperatura del aceite en la parte superior de la cuba no debe exceder de 50°C de la temperatura ambiente. Si no se adopta ninguna de las disposiciones mencionadas, la elevación de temperatura del aceite en la parte superior de la cuba, no debe exceder en 50°C la temperatura ambiente.
- 2) La elevación de temperatura en partes metálicas en contacto con devanados o próximas a ellas, no deben exceder los valores permitidos para las clases de aislamiento de los devanados.
- 3) Se deben multiplicar los valores de la tabla 1.5.a, por los factores dados en la tabla 1.5.b para conocer los límites del incremento, para los transformadores que operen en alturas superiores a 1000 m sobre el nivel del mar.
- 4) Para transformadores destinados a ser instalados en fabriceros cerrados, se debe reducir en 25°C la misma elevación permitida en la tabla 1.5.a.
- 5) Las clases de aislamiento se refieren a los materiales especificados en la norma NOM-J-153 Clasificación de materiales aislantes. Para materiales aislantes no mencionados en dicha norma, los fabricantes deben indicar la clase de aislamiento aplicable.

1.5.3 Efecto de la densidad del aire en la rigidez dieléctrica de los aislamientos externos.

Altitud	Factor de corrección	
	Transformadores en aceite	Transformadores en seco
m		
1,100	0.996	0.995
1,200	0.992	0.990
1,300	0.988	0.985
1,400	0.984	0.980
1,500	0.980	0.975
1,600	0.976	0.970
1,700	0.972	0.965
1,800	0.968	0.960
1,900	0.964	0.955
2,000	0.960	0.950
2,100	0.956	0.945
2,200	0.952	0.940
2,300	0.948	0.935
2,400	0.944	0.930
2,500	0.940	0.925
2,600	0.936	0.920
2,700	0.932	0.915
2,800	0.928	0.910
2,900	0.924	0.905
3,000	0.920	0.900

Tabla 1.5.b

Factores de corrección para las elevaciones de temperatura en altitudes superiores a 1000 m sobre el nivel del mar.

La densidad relativa del aire es función directa de la altitud de operación sobre el nivel del mar; por lo tanto la rigidez dieléctrica del aire está en función de la altitud, es decir, decrece al aumentar la altitud.

Al utilizar equipos eléctricos de alta tensión, en altitudes mayores de 1000 m.s.n.m., para obtener la rigidez dieléctrica a la altitud de operación se debe hacer uso de la tabla 1.5.c.

## 1.5.4 Clase de Aislamiento y Nivel Básico de Impulso.

La clase de aislamiento, el nivel básico de impulso y las pruebas dieléctricas que corresponden a las distintas tensiones nominales están dadas en la tabla 1.5.d.

Altitud		Factor de corrección
m	ft	
1,000	3,300	1.00
1,200	4,000	0.98
1,500	5,000	0.95
1,800	6,000	0.92
2,100	7,000	0.89
2,400	8,000	0.86
2,700	9,000	0.83
3,000	10,000	0.80
3,600	12,000	0.75
4,200	14,000	0.70
4,500	15,000	0.67

Tabla 1.5.c

Factores de corrección de la rigidez dieléctrica para altitudes mayores de 1000 m.s.n.m.

Tabla 1.5.d

Clase de Aislamiento	Tensión Aplicada 60 Hz, 1 min.	NBI		Onda Corta	
		Onda Plena	Arqueo	Cresta	Tiempo Min. de Arqueo
kV	kV	kV	kV	kV	s
0.6	4	10	12	—	—
1.2	10	30	36	36	1.0
2.75	15	45	54	54	1.25
5.5	19	60	69	69	1.5
9.52	26	75	88	88	1.6
15.5L	34	95	110	110	1.8
15.5H	34	110	130	130	2.0
25.8	50	150	175	175	3.0
38	70	200	230	230	3.0
72.5	140	350	400	400	3.0
100	185 (150)	450 (380)	520 (436)	520 (436)	3.0
123	230 (185)	550 (450)	630 (520)	630 (520)	3.0
170	325 (275)	750 (650)	865 (750)	865 (750)	3.0
245	460 (360)	1050 (900)	1210 (1035)	1210 (1035)	3.0
420	630	11425	1640	1640	3.0

### Clases de aislamiento y pruebas dieléctricas para transformadores de corriente.

#### NOTAS:

- 1) La clase de aislamiento debe estar asociado al nivel de tensión de impulso dado en la tabla 1.5.d.
- 2) Los transformadores deben soportar la prueba de tensión aplicada, a frecuencia nominal en los devanados primarios, durante un minuto, con las tensiones dadas en la segunda columna de la tabla 1.5.d.
- 3) El aislamiento de los devanados secundarios deben soportar durante un minuto a frecuencia nominal, la aplicación de una tensión de 2.5 kV.
- 4) Los transformadores y los transformadores auxiliares para conectarse en los circuitos de baja tensión de los transformadores para instrumento, deben probarse como se indica en el inciso anterior.
- 5) Los transformadores de corriente deben ser capaces de soportar las tensiones de impulso enunciadas en la tabla 1.5.d, columnas 3 y 4 con un tiempo mínimo de arco especificado en la columna 5.
- 6) Los transformadores para usarse en el neutro de sistemas en Y, con una de sus terminales primarias conectada sólidamente a tierra deben tener las tensiones nominales de aislamiento enlistadas a continuación según la tensión nominal de aislamiento del sistema.

Tabla 1.5.e

Tensión Nominal de aislamiento del Sistema	Tensión Nominal de aislamiento mínima del transformador conectado sobre el neutro.
kV	kV
0.6 a 8.7	misma del sistema
15 a 34.5	8.7
mayor de 46	15

7) Para pruebas dieléctricas del transformador, una vez que éste haya salido de fábrica, éstas deben hacerse a un 75% de las tensiones tabuladas.

En aparatos reparados, la prueba debe hacerse al 75% de las tensiones tabuladas y las verificaciones posteriores al 65%.

Se consideren aparatos reparados, sólo aquellos cuyos devanados no hayan sido substituidos totalmente.

8) Los transformadores de corriente de los tipos boquilla, ventana o dona, a los cuales no se les provee de fábrica de aislamiento completo entre primario-secundario, solo se les debe hacer las pruebas dieléctricas correspondientes al secundario, como se indica en el inciso 3).

9) Los devanados secundarios de un transformador de corriente deben resistir entre sí la

tensión dieléctrica de prueba de 2500 V.

En caso de tener el transformador dos o más devanados secundarios y/o derivaciones de éstos, debe indicarse cuáles son los característicos que corresponden a cada uno de ellos.

Un mismo devanado puede cumplir con distintas clases de precisión para protección.

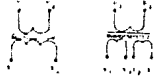
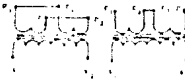
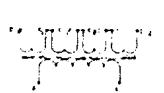
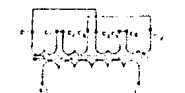
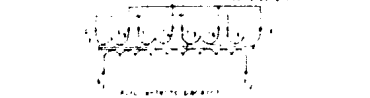

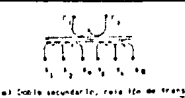
A un mismo devanado secundario se le puede asignar clase de precisión para precisión y/o protección.

1.5.5 Identificación de Terminales.

Las marcas terminales deben identificarse

1) Las terminales primarias se deben marcar con la letra p y las secundarias con s ; las terminales cuya letra esté afectada por un índice impar, deben ser la misma polaridad

Figura 1.5

Terminales primarias Terminales secundarias	 <p>a) Devanado de transformador simple.</p>	 <p>b) Devanado de transformador simple con derivaciones.</p>	<p>Reglas para marcar los Terminales.</p> <p>Las marcas para terminales de transformadores monofásicos, se deben sujetar a las reglas contempladas en esta figura.</p>
Terminales primarias Terminales secundarias	 <p>c) Devanado de transformador simple con derivaciones.</p>	 <p>d) Devanado de transformador simple con derivaciones.</p>	
Terminales primarias Terminales secundarias	 <p>e) Devanado de transformador simple con derivaciones.</p>		
Terminales primarias Terminales secundarias	 <p>f) Devanado de transformador simple con derivaciones del secundario.</p>	 <p>g) Doble secundario, para fin de transformación doble en caso secundario por derivaciones.</p>	



dad instantánea con relación a las terminales pares correspondientes.

- 2) Las secciones de cada devanado, si las hay
- 3) Las derivaciones intermedias, si las hay.
- 4) Las polaridades relativas de los devanados y sus secciones.

#### 1.5.6 Corrientes Nominales.

##### 1.5.6.1 Corrientes Nominales Primarias ( $I_p$ )

- a) Los valores de corrientes nominales primarias son:

Amperes		
5	150	1500
10	200	1600
15	250	2000
20	300	2500
25	400	3000
30	500	4000
40	600	5000
50	800	6000
75	1000	8000
100	1200	12000

- b) Las combinaciones normales de corrientes nominales primarias, para transformadores de doble relación son:

Amperes	
5x10	200x400
10x20	300x600
15x30	400x800
25x50	500x1000
50x100	600x1200
75x150	1000x2000
100x200	2000x4000
150x300	

- c) Las combinaciones normales de corrientes nominales primarias, para transformadores tipo boquilla son:

Amperes
600/500/450/400/300/250/200/150/100/50
1200/1000/900/800/600/500/400/300/200/100
2000/1600/1500/1200/1100/800/500/400/300
3000/2000/1500
4000/3000/2000
5000/4000/3000

Corriente Nominal	Derivaciones Secundarias
Amperes	
600:5	
50:5	$X_2-X_3$
100:5	$X_1-X_3$
150:5	$X_1-X_2$
200:5	$X_1-X_3$
250:5	$X_4-X_5$
300:5	$X_3-X_4$
400:5	$X_2-X_4$
450:5	$X_1-X_4$
500:5	$X_1-X_5$
600:5	$X_2-X_5$
	$X_1-X_5$
1200:5	
100:5	$X_2-X_3$
200:5	$X_1-X_3$
300:5	$X_1-X_2$
400:5	$X_1-X_3$
500:5	$X_4-X_5$
600:5	$X_3-X_4$
800:5	$X_2-X_4$
900:5	$X_1-X_4$
1000:5	$X_1-X_5$
1200:5	$X_2-X_5$
	$X_1-X_5$
2000:5	
300:5	$X_3-X_4$
400:5	$X_1-X_4$
500:5	$X_1-X_2$
800:5	$X_4-X_5$
1100:5	$X_2-X_3$
1200:5	$X_1-X_4$
1500:5	$X_1-X_5$
1600:5	$X_1-X_4$
2000:5	$X_2-X_5$
	$X_1-X_5$
3000:5	
1500:5	$X_2-X_3$
2000:5	$X_1-X_4$
3000:5	$X_1-X_4$
4000:5	
2000:5	$X_1-X_2$
3000:5	$X_1-X_3$
4000:5	$X_1-X_4$
5000:5	
3000:5	$X_1-X_2$
4000:5	$X_1-X_3$
5000:5	$X_1-X_4$

Tabla 1.5.1

Tabla 1.5.f Marcas y arreglos de las terminales en los transformadores de corriente tipo boquilla de relación múltiple.

#### 1.5.6.2 Corriente Nominal Secundaria ( $I_2$ )

La corriente nominal secundaria es de 5 amperes, pero puede ser empleada una corriente nominal de 1 amperio, siempre que así se especifica.

#### 1.5.6.3 Corriente Térmica Continua ( $I_{TCA}$ )

La corriente nominal térmica continua, debe ser 1.2 veces la corriente nominal primaria, excepto en los transformadores de rango ampliado de corriente.

de la corriente nominal, deberán cumplirse también para corriente primaria iguales o la corriente nominal térmica continua.

c) Se consideran como valores nominales de Rango Ampliado: 1.25, 1.5 y 2.

#### 1.5.6.5 Corriente Nominal de Corto Circuito

Los transformadores de corriente con primario devanado o con barra fija, deberán satisfacer lo siguiente:

En lo que se refiere a transformadores de corriente, los cuales el primario no es una parte perteneciente al transformador, como en los tipos boquilla, ventana o dona, deben cumplir también las especificaciones relativas a los

Designación	Carga Nominal a 60 Hz	Carga Equivalente a 50 Hz	Factor de Potencia		Características de las Cargas Nominales							
					Resistencia Ohms		Inductancia mH		Impedancia Ohms			
									5A		1A	
					60 Hz	50 Hz	5A	1A	5A	1A	60 Hz	50 Hz
B - 0.1	2.5	2.43	0.9	0.93	0.09	2.25	0.116	2.9	0.1	0.097	2.5	2.43
B - 0.2	5.0	4.86	0.9	0.93	0.18	4.50	0.232	5.8	0.2	0.194	5.0	4.86
B - 0.5	12.5	12.14	0.9	0.93	0.45	11.25	0.580	14.5	0.5	0.486	12.5	12.14
B - 1	25.0	22.0	0.5	0.57	0.5	12.5	2.3	57.5	1.0	0.879	25	22.00
B - 2	50.0	44.0	0.5	0.57	1.0	25.0	4.6	115.0	2.0	1.757	50	44.00
B - 4	100.0	88.0	0.5	0.57	2.0	50.0	9.2	230.0	4.0	3.519	100	88.00
B - 8	200.0	176.0	0.5	0.57	4.2	100.0	18.4	460.0	8.0	7.030	200	176.00

Tabla 1.5.g

Tabla 1.5.g Cargas Nominales para transformadores con corriente Nominal Secundaria de 5 y 1 amperes a frecuencia de 50 y 60 Hz.

corrientes nominales de corto-circuito, expresadas en términos de la corriente primaria, aunque se refieran sólo al devanado secundario.

#### 1.5.6.4 Rango Ampliado de Corriente (FRA)

Un transformador de corriente, será considerado como rango ampliado de corriente si satisface las condiciones siguientes:

- La corriente nominal térmica continua es superior a 1.2 veces la corriente nominal.
- Los límites del factor de corrección de la relación y del error de fase para el 100%

NOTA:

Para este tipo de transformadores, se debe tener cuidado en seleccionar un conductor primario adecuado para soportar un valor de corriente, correspondiente a la capacidad de corto-circuito del transformador.

#### 1.5.6.6 Corriente Nominal Térmica de Corto-circuito ( $I_2$ )

Es el valor eficaz de la corriente primaria que durante un segundo, el transformador puede soportar con su secundario en cortocircuito sin que la temperatura en sus devanados exceda de 250°C para clase de aislamiento 105, y de 350°C, para la clase de aislamiento 130.

#### 1.5.6.7 Corriente Nominal Dinámica de Cortocircuito ( $I_G$ )

Es el valor eficaz de la componente de corriente alterna de una onda de corriente primaria completamente asimétrica que el transformador de corriente es capaz de soportar con el secundario en cortocircuito, sin sufrir daños

mecánicos.

#### 1.5.7 Cargas Nominales.

En la tabla 1.5.g se dan los valores para las cargas nominales a frecuencias de 60 Hz.

Para corrientes secundarias distintas de las tabuladas, las características de las cargas deben variarse en proporción directa al cuadrado de la relación de la corriente tabulada entre la corriente nominal en cuestión, a fin de conservar los voltamperos nominales y el factor de potencia.

## CAPITULO 2 SELECCION DE T.C.'s.

## 2.1 Clases de Precisión de Transformadores de Corriente para Medición.

Las clases de precisión nominales son:

0.3

0.6

1.2

La clase de precisión se designa por el máximo error admisible, en por ciento, que el transformador puede introducir en la medición, operando con su corriente nominal primaria con carga y frecuencia nominal, siempre y cuando el 10% de la corriente nominal primaria los errores no sean mayores del doble de los límites fijados para el 100%.

Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con una o varias cargas nominales de precisión, por ejemplo 0.6%, (ver tabla 2.1)

Clasificación de la Precisión para Protección		Tensión Secundaria	Carga Normalizada
C	T	Volts	
C 10	T 10	10	B 0.1
C 20	T 20	20	B 0.2
C 50	T 50	50	B 0.5
C 100	T 100	100	B 1.0
C 200	T 200	200	B 2.0
C 400	T 400	400	B 4.0
C 800	T 800	800	B 8.0

Tabla 2.1

## Clases de Precisión para Protección.

## NOTAS:

- 1) Las tensiones nominales secundarias, están basadas en una corriente nominal de 5 amperes y en las cargas normalizadas en la Tabla 2.1.
- 2) La clasificación "C", cubre transformadores de corriente tipo toroidal o dona con el -

devanado secundario uniformemente distribuido y cualquier otro transformador en que el flujo de dispersión en el núcleo tiene un efecto despreciable sobre el error de relación, dentro de los límites de corriente y carga establecidos.

- 3) La clasificación "T", cubre los transformadores en los que el flujo disperso tiene un efecto despreciable en el error de relación.
- 4) La clasificación de la precisión para protección en transformadores tipo boquilla con relación múltiple por derivaciones en el secundario, se aplica solamente cuando se usa el devanado completo.

## EJEMPLOS:

La clase de precisión para protección C 200, significa lo siguiente:

- a) La letra "C" indica que el error de relación puede ser calculado a partir de las curvas de saturación, y que no debe exceder del 10%.
- b) El número 200 indica que en las terminales secundarias del transformador aparecen 200 volts cuando entrega una corriente de 100 amperes (20 veces la corriente nominal secundaria de 5 amperes) a la carga normalizada B 2.0 (2%), de acuerdo con  $V = Z I$ .

## 2.2 Especificaciones Relativas a T.C.'s para Protección.

## 2.2.1 Clase de Precisión para Protección

La clase de precisión para protección debe ser designada por dos símbolos, una letra y un número, los cuales describen la capacidad del transformador.

En la tabla 2.1 se indican las tensiones secundarias y cargas correspondientes a cada clase de precisión para protección.

"C", significa que el error de relación puede ser calculado a partir de las curvas de saturación.

"T", significa que el error de relación deberá ser determinado por medio de pruebas.

El número indica la tensión que aparece en

las terminales secundarias del transformador, cuando éste entrega a una carga normalizada, una corriente igual a 20 veces la corriente nominal secundaria.

El error de relación no debe exceder del 10% para cualquier corriente comprendida entre 1 y 20 veces la corriente nominal secundaria o para cualquier carga menor.

### 2.2.2 Tensiones inducidas en el Devanado Secundario.

#### 2.2.2.1 Operación con el secundario abierto.

Los transformadores de corriente, deben ser capaces de funcionar en condiciones de emergencia durante un minuto con el secundario en circuito abierto no exceda un valor de 3500 V de cresta.

#### 2.2.2.2 Clases de tensiones secundarias de circuito abierto.

Los transformadores de corriente deben clasificarse en la forma siguiente, con el fin de orientar al usuario en las medidas de protección a usar:

Clase 1 Transformadores de corriente cuya tensión de circuito abierto tenga un valor de cresta que sobrepase 3500 V a la máxima corriente nominal continua, manteniendo la forma senoidal de la corriente en el devanado primario

Clase 2 Transformadores de corriente cuya tensión de circuito abierto tenga un valor de cresta menor de 3500 V en las condiciones antes mencionadas.

#### 2.2.2.3 Valores de tensiones secundarias de circuito abierto.

Los transformadores de corriente deben ser capaces de soportar la aplicación de una tensión inducida, de acuerdo a lo siguiente:

#### a) Transformadores de corriente para medición:

Deben ser probados con una tensión inducida de 200 V, a menos que ésta tensión no pueda ser inducida ni aún a 400 Hz. Sin que exceda la corriente de excitación su valor nominal. Este caso, la tensión de prueba que se obtenga con la corriente de excitación igual a la corriente secundaria nominal, utilizando la frecuencia de 400 Hz.

Los transformadores de corriente con nivel de aislamiento de 0.6 kV y con relación de transformación de 600:5 amperes o menos, no requieren de esta prueba.

#### b) Transformadores de corriente para protección

Deben ser probados con una tensión inducida igual al doble de su tensión secundaria especificada en la tabla 2.1, excepto aquellos con tensión secundaria de 10, 20 y 50, que se prueban a 200 V.

Si el transformador tiene más de un devanado, primario y/o derivaciones, se deben utilizar los símbolos de la tabla 2.2.

### 2.3 Selección de Transformadores de Corriente para Medición.

Los T.C.'s tienen por finalidad, llevar la intensidad de corriente que se desea medir a un valor cómodo para manipular y registrar, conectados en serie con las líneas de alimentación, están sujetos a las mismas sobre tensiones y sobre intensidades que ellas. Estas situaciones, que son provocadas generalmente por un corto-circuito, no son solamente función de la potencia tomada por el circuito de alimentación sino que depende de la potencia del sistema y de la independencia de los circuitos afectados, hace falta entonces; tener en cuenta la capacidad de circuito del sistema y el lugar donde se conectará el transformador de corriente.

#### 2.3.1 Instalación.

Los aparatos pueden ser construidos para ser usados en instalaciones interiores ó exteriores, la elección de un modelo puede estar influida por elementos particulares, como pueden ser: posición, altura, mantenimiento previsto etc.

#### 2.3.2 Tensión nominal de aislamiento.

La tensión nominal de aislamiento de un transformador de corriente, debe ser cuando menos igual a la tensión más elevada del sistema en que se utilice.

La elección de la tensión nominal de aislamiento depende igualmente de las condiciones especiales de la instalación elegida. En climas selinosos, tropicales, con neblina ó en instalaciones a altitudes superiores de 1,000 metros, se deberá proveer un nivel de aislamiento

## 2.3.3 Realización.

Los transformadores de corriente pueden estar contruidos con uno o varios circuitos magnéticos, según las necesidades particulares de su utilización.

Los transformadores de corriente son provistos con un solo circuito magnético, cuando alimentan un solo aparato, teniendo una función bien definida, por ejemplo: medición o Protección ó cuando las exigencias de la explotación permitan conectar, sobre el mismo circuito magnético, aparatos teniendo funciones diferentes, pero las influencias mutuas de ellos no tengan consecuencias, por ejemplo: un amperímetro indicador y un relevador de sobrecorriente.

Cuando son provistos con núcleos separados cada circuito magnético alimentan los aparatos que tengan una función definida, por ejemplo: un transformador que tenga tres circuitos magnéticos separados, puede alimentar:

- El primero, la medición de precisión (tactura ción)
- El segundo, una protección diferencial
- El tercero, mediciones industriales y relevadores de sobrecorriente

Un aparato construido con dos o tres circuitos magnéticos separados se comporta, teóricamente, como si se tratase de 2 ó 3 aparatos completamente diferentes, ya que sólo el bobinado primario es común, los circuitos magnéticos y los bobinados secundarios están completamente independientes y separados.

Los transformadores de corriente destinados a ser instalados en subestaciones de alta tensión (intermedia) y subestaciones interiores con gran capacidad en el sistema de alimentación, son comunmente contruidos con varios núcleos separados.

## 2.3.4 Corrientes nominales normalizadas para transformadores de corriente.

La corriente nominal de los bobinados primarios y secundarios de un transformador de corriente son los valores para los cuales los bobinados están diseñados.

Las normas ANSI, han normalizado los

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
:	Relación entre corriente primaria y secundaria. Ej.: Transformador de corriente con devanado simple primario y devanado simple secundario. Relación de corrientes 100:5 A.
x	Corrientes nominales de un transformador con un devanado en 2 o más secciones para conexión múltiple. Ej.: Transformador de corriente con devanado primario en dos secciones para conexión serie-paralelo. Rel. de corr. 100 x 200 : 5 A.
//	Separa dos devanados secundarios con núcleos independientes. Ej.: Transformador de corriente con un devanado de medición y otro de protección. Rel. de corr. 50 : 5 // 5 A.
∑	Corrientes nominales de distintos devanados primarios. a) Transformadores de corriente con dos devanados primarios. Rel. de corr. 100 & 600 : 5 A. b) Transformadores totalizadores con dos o más devanados primarios usados simultáneamente en distintos circuitos. Ej.: Transformador totalizador de corriente con tres devanados primarios. Rel. de corr. 5 & 5 & 5 : 5 A. c) Transformador para circuitos monofásicos de 3 hilos, con dos devanados primarios separados. Ej.: Transformador de corriente para circuitos monofásicos de 3 hilos. Rel. de corr. 100 & 100 : 5 A.
/	Distintas relaciones de transformación obtenidas por tomas en el devanado secundario. Ej.: Transformador de corriente con tomas en el secundario para obtener relaciones adicionales. Rel. de corr. 300 / 400 / 600 : 5 A.

Tabla 2.2

Símbolos utilizados en transformadores de corriente.

valores de las corrientes primarias y secundarias de los aparatos.

### 2.3.5 Corriente nominal primaria.

Se seleccionará generalmente el valor normalizado superior a la corriente nominal de instalación.

En ciertos tipos se realiza una doble o una triple relación primaria, ya sea por medio

### 2.3.7 Carga secundaria.

La carga secundaria para un T.C., es el valor en ohms de la impedancia constituido por los instrumentos del secundario, comprendiendo sus conexiones.

La carga secundaria nominal es la impedancia del circuito secundario, correspondiente a la potencia de precisión, bajo la corriente nominal, por ejemplo: potencia de precisión 50

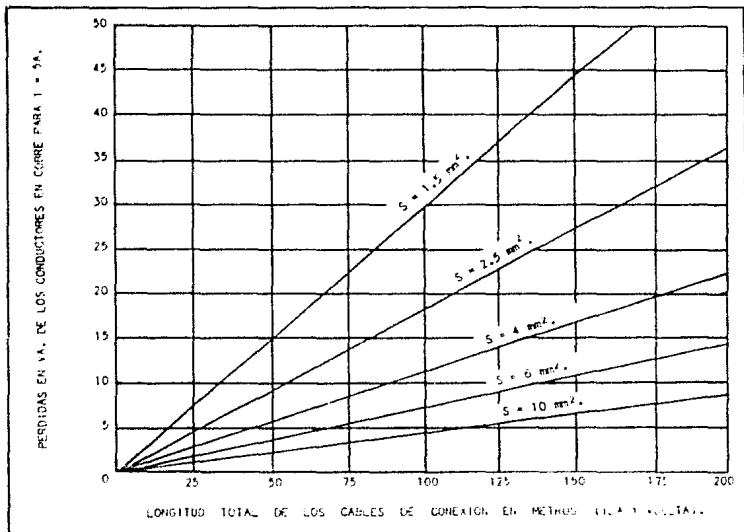


Figura 2.3

de conexiones serie-paralelo del bobinado primario, o por medio de tomas en los bobinados secundarios.

### 2.3.6 Corriente nominal secundaria.

El valor normalizado es generalmente 5 amp. en ciertos casos, cuando el alambrado del secundario puede representar una carga importante, se puede seleccionar el valor de 1 amp.

VA para  $I_2 = 5$  A.

$$Z_2 = \frac{50}{I_2^2} = 2 \text{ ohms.}$$

En la figura 2.3 se presenta una gráfica del consumo en VA de los alambres utilizados generalmente para conexiones.

### 2.3.8 Potencia nominal.

La potencia nominal de los T.C.'s., es la potencia aparente secundaria bajo corriente nominal determinada, considerando las prescripciones relativas a los límites de errores.

Está indicado generalmente, en la placa de característica y se expresa en voltios, aunque también se expresa en ohms.

Para escoger la potencia nominal de un transformador de corriente, hay necesidad de hacer la suma de las potencias de todos los aparatos que serán conectados en serie con su devanado secundario y tener en cuenta la pérdida por efecto Joule en los cables de alimentación. Será necesario entonces, tomar el valor nominal inmediato superior a la cifra obtenida en la tabla 2.3a.

Designación de la carga	Características		Características para 60 Hz y corriente secundaria de 5 amp.		
	Resistencia en ohms	Inductancia en millihenrys	Impedancia en ohms	Voltajes.	Factor de potencia.
B0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
B0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
B0.5	0.45	0.560	0.5	12.5	0.9
B1.0	0.5	2.3	1.0	25	0.5
B2.0	1.0	4.6	2.0	50	0.5
B4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
B8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Tabla 2.3a.

Cargas normales para transformadores de corriente según normas ANSI C.57.13

### 2.3.9 Alimentación de aparatos.

Según las condiciones particulares de cada instalación, diferentes aparatos deberán estar alimentados por los T.C.'s.

Como se ha mencionado, los T.C.'s pueden ser construidos con uno, dos o tres circuitos magnéticos separados, adaptados a las diferentes exigencias de los aparatos que alimentarán.

Al momento de seleccionar un T.C., se deben definir los elementos que tendrán como función la medición y aquellos que tendrán como función la protección.

Aparatos	Modelo	Consumo en VA para la intensidad nominal.
Wattímetros		0.9 a 1.5
Wattímetros de tablero	A Inducción	1.5 a 2
	Electrodinámico	4 a 5
Wattímetros registradores	A Inducción	1.5 a 2
	Electrodinámico	6 a 8
Wattímetros portátiles	Electrodinámico	1 a 4
Wattímetros de laboratorio		1.5 a 2
Medidores de potencia		6 a 16
Feserímetros	De corriente máxima con atraso independiente	3 a 11
	Relevadores especiales de corriente máxima con atraso independiente	15 a 25
	De máxima instantánea	1 a 11
	Direccional	1.5 a 10
Relevadores	Diferencial compensado	1.6 a 10
	Diferencial	3 a 11
	A mínima impedancia	0.5 a 2
Reguladores	De distancia	6 a 25
	Según modelo	10 a 150

Tabla 2.3b

Consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de corriente

En la tabla 2.3b se dan los consumos en VA de los principales aparatos conectados a T.C.'s.

### 2.3.10 Clases de precisión.

Las clases de precisión nominales son 0.3, 0.6 y 1.2.

Las normas ANSI definen la clase de precisión como el error máximo admisible, en % que



el transformador puede introducir en la medición de potencia.

Cada clase de precisión especificada debe asociarse con una o varias cargas nominales de precisión, por ejemplo 0.3 - 50 VA.

En la tabla 1.3c se presentan las diferentes clases de precisión de los instrumentos normalmente conectados y las potencias comunes de los bobinados.

Clase	Utilización
0.1	Calibración y medidas de laboratorio.
0.2-0.3	Medidas de laboratorio. Alimentación de wattímetros para alimentadores de gran potencia.
0.5-0.6	Alimentación de wattímetros para facturación, en circuitos de distribución. Wattímetros Industriales.
1-2	Amperímetros indicadores. Amperímetros registradores. Fasómetros indicadores. Fasómetros registradores. Wattímetros indicadores. Wattímetros Industriales. Wattímetros registradores. Protecciones diferenciales, relevadores de impedancia y de distancia.
3-5	Protecciones en general. (relevadores de sobrecorriente).

Tabla 1.3c

Clases de precisión recomendadas, según el uso a que se destina el T.C.

#### NOTA:

Se aconseja alimentar las protecciones diferenciales con transformadores de corriente separados, ya que las mismas imponen las condiciones más severas. El mismo principio se puede aplicar a protecciones a distancia.

#### 2.4 Precisión Para Protección.

Las Normas ANSI 57.13 hacen la siguiente clasificación de la precisión para protección.

Clase C  
Clase T

La clase C, cubre a todos los transformadores que tienen devanados uniformemente distribuidos, y por lo tanto, el flujo de dispersión en el núcleo no tiene ningún efecto apreciable en el error de relación. La relación de transformación en ellos, puede ser calculada por métodos analíticos.

La clase T, cubre a todos los transformadores que tienen devanados no distribuidos de manera uniforme, y por lo tanto, el flujo de dispersión en el núcleo, tiene un efecto apreciable en el error de relación. La relación de transformación en los mismos, debe ser determinada por prueba.

Ambas clasificaciones deben ser complementadas por la tensión nominal secundaria que el transformador puede suministrar a una carga normal (50.1 a 99.0' a 20 veces la corriente nominal secundaria, sin exceder en 10% el error de relación. Este error, además debe estar limitado a 10% a cualquier corriente entre 1 y 20 veces la corriente nominal, y a cualquier carga inferior a la nominal.

Así, por ejemplo, un transformador clase C 100, debe tener un error de relación menor a 10% a cualquier corriente entre 1 y 20 veces la corriente nominal secundaria, si su carga no es mayor a 100 volts.

$$1.0 \text{ ohm} \times 20 \text{ veces} \times 5 \text{ amperes} = 100 \text{ volts.}$$

#### 2.5 Capacidad de Soporte de los T.C.'s. al Corto Circuito.

Ya que los T.C.'s., van conectados en serie con las líneas de alimentación, éstos están sujetos a las mismas sobretensiones, sobrecorrientes que las líneas.

Las sobrecorrientes, provocadas generalmente por cortocircuitos, no son solamente función de la potencia tomada por un alimentador, sino que dependen de la potencia de la central o del sistema y de la impedancia de los circuitos que se encuentran entre las fuentes de energía y el lugar de la falla.

El incremento considerable de las potencias de las centrales eléctricas, ha dado como resultado efectos de cortocircuito de una importancia capital, que es absolutamente indispensable tenerla en cuenta para selección de los aparatos, con objeto de evitar graves interrupciones y accidentes en caso de falla.

La capacidad de los T.C.'s., a soportar los

cortocircuitos, está determinada por las corrientes límite, térmica y dinámica, definidas por ANSI como:

a) La corriente térmica límite es el valor eficaz de la corriente primaria más grande que el T.C., pueda soportar por efecto Joule, durante un segundo sin sufrir deterioros y teniendo el circuito secundario en cortocircuito. Esta corriente térmica límite se expresa en kilioamperes eficaces, o en N veces la corriente primaria nominal.

La elevación de temperatura admisible en el transformador es de 150 °C, para la clase de aislamiento A y dicha elevación se obtiene en un segundo con una densidad de corriente de 143 amp/mm<sup>2</sup>.

b) La corriente dinámica límite es el valor de cresta de la primera amplitud de corriente que un transformador puede soportar por efectos mecánicos, sin sufrir deterioros, teniendo su circuito secundario en cortocircuito. Su amplitud se expresa en kilioamperes (cresta).

Como se recordará, los bobinados primarios y secundarios de los T.C.'s, están sujetos a las leyes de Ampere:

- 1a. Dos corrientes paralelas y de la misma dirección se atraen.
- 2a. Dos corrientes paralelas y de dirección contraria se repelen.
- 3a. Dos corrientes angulares tienden a colocarse paralelamente y en la misma dirección.

En la práctica, el cálculo se efectúa de acuerdo a las ecuaciones siguientes:

$$I_{\text{térmica}} = \frac{MVAcc}{\sqrt{3} \text{ KV}} \quad [KA]_{\text{ef.}}$$

$$I_{\text{dinámica}} = 1.8 \sqrt{2} I_{\text{térmica}} \quad [KA]_{\text{pico}}$$

Se debe tener en cuenta que no siempre es posible fabricar T.C.'s., con características de cortocircuito muy elevados, debido a limitaciones de espacio en las S.E.'s, sobre todo, cuando las potencias y clases de precisión son importantes.

En efecto, para construir estos T.C.'s, es necesario tener grandes secciones de cobre en los bobinados, con lo que se reduce el número de espiras primarias admisibles.

Como la potencia de precisión varía sensiblemente con el cuadrado de un número de amperes-vuelta primarios, para un circuito magnético dado, la precisión de los transformadores hechos para resistir grandes valores de corrientes de cortocircuito, disminuye considerablemente.

Por lo anterior, se establece que es necesario limitar la potencia de precisión al mínimo para los transformadores con características de cortocircuito muy elevadas.

NOTA: En el apéndice A se muestran algunos T.C.'s para operar en Baja, Media y Alta tensión

**CAPITULO 3 COMPORTAMIENTO DE LOS T.C's., CON CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.**

Se analizará la variación temporal del flujo y en particular su valor máximo en los transformadores de corriente, ya que su conocimiento lo hace indispensable para poder dimensionar correctamente su circuito magnético para evitar la saturación de estos aparatos bajo la acción de corrientes de corto circuito asimétricas.

Se compara en este aspecto el comportamiento de los transformadores de corriente con circuito magnético normal y con circuito magnético con entrehierros.

**3.1 Ecuación de la Corriente de Corto Circuito**

Cuando se produce un corto circuito franco en un punto determinado del sistema de alta tensión, la corriente de corto circuito se determina reemplazando el sistema por una fuente de fuerza electromotriz senoidal de valor E con impedancia interna  $Z_1 = R_1 + jX_1$

La magnitud y forma de la corriente de corto circuito está dada entonces por la expresión:

$$i = \frac{E_{rms}\sqrt{2}}{Z_1} [\sin(\omega t + \psi) - \sin\psi \exp(-t/T_1)]$$

En la Figura 3 se muestra un circuito RL con una fuente ideal de voltaje, (con impedancia interna = 0).

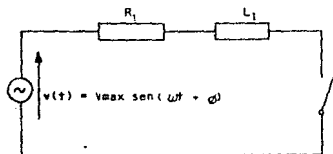


Figura 3.1.a

Aplicando la segunda ley de Kirchoff se obtiene la siguiente expresión:

$$R_1 i + L_1 \frac{di}{dt} = V_{max} \sin(\omega t + \phi) \dots\dots\dots(1)$$

La ecuación (1) es una ecuación diferencial lineal de primer grado de la forma:

$$(D + \frac{R_1}{L_1})i = \frac{V_{max}}{L_1} \sin(\omega t + \phi)$$

Y su función complementaria es:

$$i_c = C \exp(-R_1/L_1)t \dots\dots\dots(2)$$

Cuya solución particular es:

$$i_p = C \exp(R_1/L_1)t \int \exp(-R_1/L_1)t \frac{V_{max}}{L_1} \sin(\omega t + \phi) dt$$

$$= \frac{V_{max}}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}} \sin(\omega t + \phi - \arctan \frac{\omega L_1}{R_1}) \dots(3)$$

La solución completa es (2) + (3).

$$i = i_c + i_p$$

$$= C \exp(-R_1/L_1)t + \frac{V_{max}}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}} \sin(\omega t + \phi - \arctan \frac{\omega L_1}{R_1}) \dots\dots(4)$$

La bobina impide cualquier cambio de la corriente y como antes de cerrar el circuito la intensidad es cero.

$$i_0 = 0 \text{ por lo tanto } t = 0$$

$$i_0 = 0 = C (1) + \frac{V_{max}}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}} \sin(\phi - \arctan \frac{\omega L_1}{R_1})$$

$$C = - \frac{V_{max}}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}} \sin(\phi - \arctan \frac{\omega L_1}{R_1}) \dots\dots(5)$$

Substituyendo (5) en (4).

$$i = \exp(-R_1/L_1)t \left[ - \frac{V_{max}}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}} \sin(\phi - \arctan \frac{\omega L_1}{R_1}) \right] + \frac{V_{max}}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}} \sin(\omega t + \phi - \arctan \frac{\omega L_1}{R_1}) \dots\dots\dots(6)$$

Si consideramos que:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}$$

$$\psi = \phi - \text{arc tg } \frac{\omega L_1}{R_1}$$

$$E_{rms}\sqrt{2} = V_{max}$$

$$T_1 = \frac{L_1}{R_1} = \frac{X_1}{\omega R_1}$$

Aplicando estas consideraciones en (6) se tiene:

$$i = \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \left[ \frac{-E_{rms}\sqrt{2}}{Z_1} \sin \psi \right] + \frac{E_{rms}\sqrt{2}}{Z_1} \sin(\omega t + \psi)$$

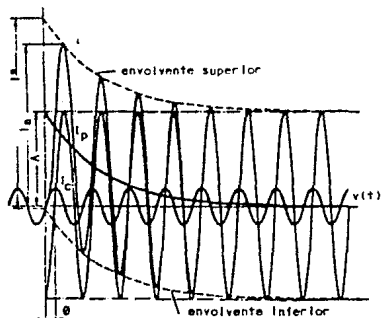
$$i = \frac{E_{rms}\sqrt{2}}{Z_1} \left[ \sin(\omega t + \psi) - \sin \psi \exp(-t/T_1) \right]$$

Siendo:

- $E_{rms}$  = valor de el voltaje efectivo.  
 $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$  impedancia del sistema.  
 $\omega = 2\pi f$  Frecuencia angular.  
 $t$  = tiempo.  
 $\phi$  = Angulo de el voltaje  $E_{rms}$  en el instante del corto circuito.  
 $\text{arc tg } \frac{\omega L_1}{R_1}$  = Angulo de la impedancia del sistema.

- $T_1 = \frac{L_1}{R_1} = \frac{X_1}{\omega R_1}$  Constante de tiempo del sistema o constante de tiempo primaria, la cual depende de las características propias del sistema y del lugar exacto donde se produce la falla.

Figura 3.1b



Donde:

- $I^*$  = Corriente alterna inicial de corto-circuito ( $\frac{E_{rms}}{Z_1}$ )  
 $I_0$  = Máxima corriente alterna asimétrica de corto circuito.  
 $A$  = Valor inicial de la componente de corriente directa.

- $I_p$  = Componente transitoria de corriente directa  
 $I_c$  = Corriente alterna de cortocircuito.

En la práctica, la constante de tiempo varía de 50 milisegundos hasta valores de 100 ó 150 milisegundos, el primero si se trata de un corto circuito al final de una línea larga y los segundos se pueden tener en casos de corto circuitos francos cerca de las barras de plantas generadoras de gran potencia.

El valor de  $\psi$  depende del instante en que se inicia el corto circuito, teniendo dos casos límites:

- a) cuando  $\psi = 0$  se tiene el caso cuando la falla se inicia al instante en donde la onda de tensión está cerca de su máximo y la corriente valdrá:

$$i = \frac{E_{rms}}{Z_1} (\sin \omega t)$$

La componente transitoria es nula y la corriente toma inmediatamente el valor de estado permanente.

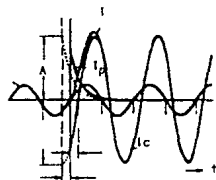


Figura 3.1c

- b) cuando  $\psi = 90^\circ$  se tiene el caso cuando la falla se inicia cerca de el instante en donde la onda de tensión pasa por cero.

$$i = \frac{E_{ras}}{Z_1} \left[ \cos(\omega t) - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right]$$

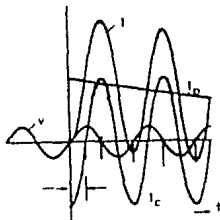


Figura 3.1d

### 3.2 Evolución del Flujo en un T.C. Normal.

Se supone por facilidad de razonamiento que:

- El aparato tiene una relación de transformación igual a 1.
- La resistencia interna del bobinado secundario, así como de los cables de conexión a la carga están comprendidos dentro del valor  $R_b$ .
- La corriente magnetizante es despreciable, puesto que se trata de un circuito magnético calculado para que no se sature.

Bajo estas condiciones, la componente transitoria de la corriente es reproducida fielmente en el secundario, por lo que:

$$i_2 = i \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$$

Y la fuerza electromotriz inducida vale:

$$e_2 = R_b i_2 = R_b i \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) = \frac{d\phi}{dt}$$

de donde:

$$d\phi = e_2 dt = R_b \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) dt$$

Integrando:

$$\phi t - \phi_0 = \int_0^t e_2 dt = R_b \int_0^t \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) dt$$

$$\phi t - \phi_0 = R_b T_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) \right]$$

El flujo aumentara asintoticamente hasta llegar al valor:

$$R_b T_1$$

Se puede observar que la variación de flujo necesario es directamente proporcional a  $T_1$ .

Calculando ahora el valor máximo de flujo que corresponde a una corriente senoidal del mismo valor, se determina que el mismo es de la forma de onda senoidal y tiene un valor de cresta de:

$$\omega \phi_{alt} = R_b i$$

o

$$\phi_{alt} = \frac{R_b i}{\omega}$$

Y la relación de los valores de flujo máximo para la componente transitoria al flujo máximo para la componente senoidal vale:

$$\frac{\phi_e}{\phi_{alt}} = \frac{R_b i T_1}{\frac{R_b i}{\omega}} = \omega T_1$$

Para un valor  $T_1 = 0.1$  seg. por ejemplo, el valor de cresta del flujo necesario para pasar la componente  $i_2$  es  $T_1 = 0.1 \times 377$  ó sea 37.7 veces el valor de cresta del flujo necesario para pasar la componente senoidal.

A este flujo, falta agregar el valor de cresta del flujo senoidal cuyo valor es igual a  $i$  cuando se tiene una carga secundaria resistiva pura, ó  $i \cos \beta$  si la carga secundaria tiene un factor de potencia de  $\cos \beta$ .

De tal manera que si se desea evitar la saturación, el área del circuito magnético necesario para ello, bajo la influencia de una corriente senoidal sola, deberá de multiplicarse por:

$$M = \frac{1}{\cos \beta} + \omega T_1$$

Como se ve en el ejemplo anterior, este coeficiente alcanza valores considerables. Por lo cual, es indispensable que cuando la protección utilizada exija una reproducción precisa de la componente de corriente directa, el valor de la resistencia del circuito secundario debe ser reducido al mínimo.

En el ejemplo seleccionado, un transformador que debe aceptar sin saturación una corriente de  $20 I_n$  debe ser dimensionado como un transformador que no se satura con una corriente pura de  $20 \times 36.7 = 774 I_n$  teniendo la misma carga secundaria resistiva  $R_b$ .

Esto conduce rápidamente a una imposibilidad práctica de circuitos magnéticos enormes.

Afortunadamente, la reproducción fiel de la componente transitoria no es necesaria en muchos relevadores.

Se da el caso que, en ciertos tipos de relevadores, se trate de eliminar esta componente transitoria poniendo en paralelo con el elemento sensible una reactancia de valor bajo para derivar por ella dicha componente.

Lo que es indispensable en la mayoría de los sistemas de protección, es que la precisión de la componente senoidal sea mantenida (dentro de límites razonables), con objeto de evitar operaciones falsas de los relevadores de distancia.

### 3.3 Factor Requerido es un T.C., Normal.

Se ha calculado el factor M requerido para estar seguro de que el núcleo no se satura en ningún momento después de que ocurre la falla. Sin embargo esto no significa que empleando este coeficiente se solucionen todos los problemas.

Con una corriente de corto circuito completamente desplazada y que alcanza su valor máximo previsto, el valor de flujo en el núcleo, en el momento que se libera la falla, está próximo su valor de saturación (el flujo senoidal sólo representa un porcentaje pequeño de la variación de flujo debido a la existencia de la corriente transitoria).

Después de la eliminación de la falla al abrir el interruptor, este valor de flujo decrece muy lentamente con el tiempo (la corriente de flujo secundaria de un transformador normal calculado para producir la corriente transitoria es del orden de varios segundos).

Si se desea practicar un recierre rápido, y la falla persiste, la medición de la nueva corriente de falla será bastante inexacta si la polaridad al instante del recierre exige del núcleo una variación de flujo del mismo signo que la variación de flujo de la primera falla.

Para mantener la precisión cuando una segunda falla ocurre es necesario, por lo tanto doblar el área del circuito magnético previamente detallado, esto es, hay que usar un factor 2M.

Si se tiene en cuenta la existencia de flujo remanente, y se efectúa otro recierre aún después de cierto tiempo, permaneciendo la falla en el sistema, es evidente que aún con el coeficiente 2M el circuito magnético se satura, si se tienen 3 fallas de la misma polaridad.

El factor teórico necesario es de 1.6M en el caso de tres fallas consecutivas con intervalos de algunos segundos y de 2.8M en el caso de dos fallas en sucesión rápida y una falla después de cierto tiempo.

El inconveniente debido al flujo remanente puede ser suprimido por el empleo de un entrehierro de pequeño espesor (algunas décimas de milímetro), el cual tiene por efecto reducir la inducción remanente a menos del 5% de la inducción de saturación.

Lo anterior, sin embargo, no elimina la necesidad de utilizar el factor 2M si se desea tener recierre rápido.

### 3.4 Evolución del Flujo y Precisión de un T.C. Lineal.

Se denomina T.C., lineal a un aparato en el que su circuito magnético tiene un entrehierro importante, que le da una característica lineal.

Se verá la evolución del flujo y la precisión de un T.C., bajo una corriente completamente

desplazada y alimentando una carga secundaria resistiva  $R_b$ .

La impedancia magnetizante de este aparato es entonces reducida voluntariamente por la introducción de una reluctancia importante en el trayecto del flujo y de los amperes vueltas para magnetizar el hierro (núcleo no saturado) se vuelven despreciables en comparación con los amperes vuelta requeridos para el entrahierro.

Consecuentemente, la impedancia magnetizante se puede representar por una inductancia constante  $L_0$ . (figura 3.4.a).

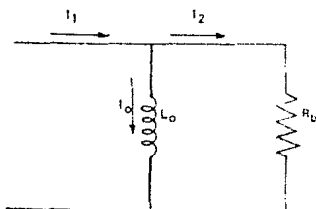


Figura 3.4.a

La cantidad  $T_0 = \frac{L_0}{R_b}$  se denomina "Constante de Tiempo Secundaria" y evidentemente es válida para un valor dado de  $R_b$ .

#### - Consideraciones Físicas.

En este caso, es evidente que no se puede despreciar ya la corriente magnetizante  $i_0$

Se sabe que esta corriente es proporcional al flujo, tiende a aumentar con el tiempo, por lo cual  $i_2$  disminuirá más y más de  $i_1$ .

Esta diferencia entre  $i_1$  y  $i_2$  continuará hasta que  $i_2$  valga cero al instante  $t_m$  entonces  $i_2$  cambia de signo en el mismo instante que la tensión inducida  $e_2$ .

Por consiguiente, el flujo será máximo en el instante  $t_m$  decreciendo a continuación figura 3.4.b.

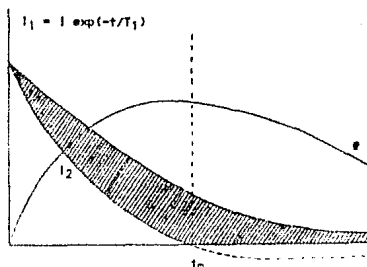


Figura 3.4.b

El flujo máximo es proporcional (para  $R_b$  fija) al área comprendida bajo  $i_2$  de  $t = 0$  a  $t = t_m$  y ésta área es más pequeña que aquella comprendida bajo  $i_1$  de  $t = 0$  a  $t = \infty$ , la diferencia está representada por la superficie achurada.

Lo anterior nos lleva a dos conclusiones:

- 1 El flujo necesario es más reducido que en el caso de un transformador normal.
  - 2 El flujo pasa por su máximo en un tiempo definido y su evolución posterior puede ser controlada.
- Corriente Secundaria.

Para una corriente primaria:

$$i_1 = I_1 \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)$$

La corriente secundaria está dada por la expresión:

$$i_2 = I_1 \left[ \frac{T_0}{T_0 - T_1} \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) - \frac{T_1}{T_0 - T_1} \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right) \right]$$

Por lo que se ve que la corriente se reproduce en el secundario bajo la forma de dos componentes exponenciales, la primera con una

constante de tiempo  $T_1$  y la segunda con una constante de tiempo  $T_0$ .

El flujo será máximo cuando  $i = 0$  ó cuando

$$\exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) = \frac{T_1}{T_0} \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right)$$

Al mismo instante la corriente magnetizante es máxima y esto acontece al instante:

$$t_m = T_1 \ln \left[ \frac{T_0}{T_1} \right] \frac{T_0}{T_0 - T_1}$$

De donde:

$$i_0 \text{ max} = I \left[ \frac{T_1}{T_0} \right] \frac{T_0}{T_0 - T_1}$$

Y el valor máximo de flujo es:

$$\phi_m = L_0 i_0 \text{ max} = L_0 I \left[ \frac{T_1}{T_0} \right] \frac{T_0}{T_0 - T_1}$$

La relación de este flujo máximo necesario para que el transformador de corriente no se sature con una corriente

$$I_1 = I_2 \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right)$$

al flujo necesario para la componente senoidal está dada por:

$$\frac{\phi_e}{\phi_{alt}} = \frac{L_0 I \left[ \frac{T_1}{T_0} \right] \frac{T_0}{T_0 - T_1}}{R_b I} = T_0 \left[ \frac{T_1}{T_0} \right] \frac{T_0}{T_0 - T_1}$$

Se puede notar que si  $T_0$  es grande comparado con  $T_1$

$$\frac{\phi_e}{\phi_{alt}} = \omega T_0 \frac{T_1}{T_0} = \omega T_1$$

Que es la relación de flujos encontrada para el caso de un transformador de corriente normal.

Tomando  $\lambda = \frac{T_1}{T_0}$  como variable auxiliar es fácil trazar la curva.

$$K = \omega X \left[ \frac{\lambda}{1 - \lambda} \right]$$

Tomando el factor requerido para evitar la saturación la forma:

$$M = K T_1 + \frac{1}{\cos \beta}$$

Donde K siempre será menor a  $\omega$ .

Por ejemplo si  $T_1 = T_0 = 0.1$  seg. y para  $\omega = 377$  se tiene  $K = 140$ , por lo que si se tiene carga resistiva el factor es  $M = 14 \cdot 1 = 15$  comparado con  $M = 37.7 \cdot 1 = 38.7$  para un transformador normal sin entrehierro, la sección se reduce 38.7%.

Esta importante reducción se logra a base de:

- 1 Tener en el secundario, una reproducción muy mala de la componente transitoria. En efecto después de 0.1 seg.  $i_2$  es nulo, en cambio  $i_1$  vale:

$$\frac{i}{\exp} = \frac{I}{2.7182}$$

Que represente un error de 37% de la amplitud inicial del tiempo transitorio.

- 2 Tener en el secundario una reproducción de la componente senoidal correcta. En efecto  $T_0 = 0.1$  seg. implica que  $L_0 = 31.4$  que representa un error (en ángulo de fase para carga resistiva pura) de 3.18% ó 110 min.

Hay que hacer notar que es precisamente a medida que la componente transitoria sea mal reproducida en el secundario, el factor M se debe reducir.

Los transformadores con una constante de tiempo secundario pequeña, presentan además dos ventajas importantes:

- a) Los problemas asociados a la inducción remanente son eliminados.



b) No es necesario duplicar la sección del núcleo para efectuar el recierre rápido puesto que después de que el interruptor libra la falla, el flujo disminuye exponencialmente con la constante de tiempo  $T_0$ .

Por ejemplo, para  $T_0 = 0.1$  seg., el flujo es:

37% de su valor inicial después de 0.1 seg.

13.5% de su valor inicial después de 0.7 seg.

5% de su valor inicial después de 0.3 seg.

### 3.5 Precisión en un T.C., Lineal.

Se ha visto que el error de fase que afecta a la componente senoidal está directamente ligado al valor seleccionado de  $T_0$  en el caso de una carga resistiva.

Por lo anterior, se puede utilizar esta relación para determinar el valor mínimo admisible de  $T_0$  si se fija un error límite de fase.

$$\delta \text{ centiradians} = \frac{100 \times R_b}{X} = \frac{100 R_b}{L_0} = \frac{100}{T_0}$$

Si la carga total no es una resistencia pura y tiene un valor  $Z_b = R_b + jX_b$  la componente alterna de  $i$  está en fase con el flujo  $\psi$  y valdrá:

$$i \psi = \frac{i Z_b}{X_0}$$

Esto corresponde a un error de fase.

$$\frac{i \psi}{i} \cos \beta = \frac{R_b}{X_0} = \frac{100 R_b}{X_0} \text{ centiradians}$$

Este error de fase está acompañado de un error de relación con valor:

$$\xi_s = \frac{100 X_b}{X_0}$$

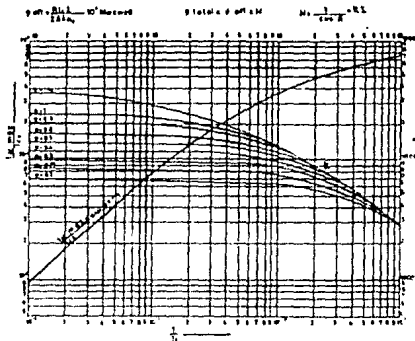
Por lo cual el error de relación es proporcional a  $X_b$  y el error de fase a  $R_b$ .

El error vectorial depende de  $Z_b$  y vale (en por ciento).

$$\xi_s = \frac{100 Z_b}{X_0}$$

Estos errores son prácticamente independientes de la corriente, puesto que el sistema

se ha convertido en lineal gracias al entrehierro y no hay saturación.



### 3.6 Garantía de Correcta Operación Durante un Tiempo Determinado.

La introducción de protecciones ultra-rápidas que toman la decisión a partir de medidas hechas durante los primeros ciclos que siguen al inicio de la falla, permiten reducir la severidad de las exigencias anteriormente enunciadas.

Es por lo tanto, necesario que el transformador permanezca preciso durante un tiempo determinado  $T_1$ ; su saturación posterior ya no tiene importancia.

a) Transformadores sin entrehierro.

Bajo estas condiciones el flujo necesario para permitir el paso de la corriente transitoria de  $t = 0$  hasta  $t = T_1$  es:

$$R_0 \left[ 2 T_1 \left( 1 - \exp\left(-\frac{T_1}{T_1}\right) \right) \right]$$

Por lo cual:

$$M = T_{10} \left[ 1 - \exp(-T_3/T_1) + \frac{1}{\cos \beta} \right]$$

Por ejemplo:

Si  $T_1 = 100$  milisegundos y  $T_3 = 60$  miliseg.

$\frac{T_3}{T_1} = 0.6$  y si tenemos carga resistiva

$$M = 37.7 \left[ 1 - \exp(-0.6) + 1 \right]$$

$$M = 37.7 (0.45) + 1 = 17.9 \text{ en lugar de } 38.7$$

#### b) Transformadores con Entrehierro.

En estos transformadores donde ya se ha ganado una reducción de sección permite por la adecuada reproducción de la componente transitoria, la ganancia será menos importante, pero no despreciable.

Se puede por un proceso similar al empleado para determinar K en función de:

$$X = \frac{T_1}{T_0}$$

Introducir un factor

$$a = \frac{T_3}{T_1}$$

conocido originalmente y trazar una serie de curvas  $K = f(X)$  para diferentes valores de  $a$ .

Se puede ver, en la figura 3.5.e por ejemplo, que la curva  $a = 0.6$  da un valor de 150 cuando:

$$\frac{T_1}{T_0}$$

tiende a 0, de donde para  $T = 0.1$  segundos.

$$M = 15.0 + 1 = 16$$

Que corresponde aproximadamente al valor calculado en el caso particular para el transformador sin entrehierro.

Conclusiones:

Los problemas que presentan los transformadores de corriente cuando circula por ellos una corriente de corto circuito completamente desplazada pueden considerarse como resueltos, tanto del nivel de conocimiento del fenómeno, como de los métodos para dimensionar los circuitos magnéticos y los problemas tecnológicos asociados a la fabricación de circuitos magnéticos con entrehierro de valor considerable.

Desgraciadamente, desde el punto de vista económico, todos los casos conducen a circuitos magnéticos costosos y de gran tamaño.

Es importante entonces especificar requerimientos de comportamiento del transformador en relación con la componente de corriente directa sólo que el sistema de protección lo haga absolutamente indispensable.

Con este tipo de equipo, es también indispensable reducir los requerimientos de la carga nominal al mínimo posible, usando cables sobredimensionados y relevadores de bajo consumo.

## CAPITULO 4 PRUEBAS A T.C.'s.

Las normas en los diferentes países, relativas a T.C.'s., por un lado especifican las características que deben reunir los T.C.'s. para garantizar su buen funcionamiento, tanto en condiciones normales como anormales de operación y por otro lado, conceden un lugar importante a las características de precisión.

Desafortunadamente existe una gran diversidad entre las distintas normas, sobre todo en lo relativo a las especificaciones de precisión.

El CEI (Comité Electrotécnico Internacional) coordina los diferentes comités nacionales de normalización, con el objeto de publicar recomendaciones que sean aprobadas por los diferentes países miembros. En 1966 publicó la recomendación 185 referente a los T.C.'s.

Aunque en los Estados Unidos dieron su aprobación para las recomendaciones CEI, se rigen por su norma ANSI C57 - 1978, que difiere mucho de la CEI en lo que a precisión se refiere.

En México se han desarrollado las normas:

NOM J-109 Transformadores de Corriente

NOM J- 263 Métodos de Prueba para T.C.'s.

Las tensiones nominales de aislamiento en México, salvo algunas excepciones, están de acuerdo con las normas americanas.

Por este motivo se establece únicamente las clases nominales de aislamiento y sus correspondientes pruebas dieléctricas según normas ANSI. La clase y potencia de precisión por el contrario, si puede estar conforme con otros reglamentos, y así podemos tener por ejemplo, un transformador con clase de aislamiento según ANSI y precisión, según CEI.

Antes de salir de fábrica los T.C.'s, se someten a una serie de pruebas destinadas a verificar si garantizan una seguridad de funcionamiento suficiente para resistir las diversas exigencias eléctricas, mecánicas o térmicas a las que pueden ser sometidos en servicio.

Otras pruebas se enfocan especialmente a verificar la aptitud para cumplir su función, o sea, proporcionar en su secundario una imagen fiel de la corriente primaria.

En la tabla 4 se da un resumen de las diferentes pruebas. Entre estas pruebas, algunas son de rutina que se efectúan sistemáticamente en cada transformador, otras son de prototipo, que se efectúan en aparatos de modelo, y finalmente algunas son especiales por no estar incluidas en las normas, o bien complementarias para verificar alguna característica en particular.

Pruebas		Tipo de Prueba
Pruebas dieléctricas (para verificar la calidad del aislamiento)	Tensión aplicada entre devanados de A.T. y B.T. a tierra.	R
	Tensión aplicada entre devanado de B.T. y tierra.	R
	Tensión aplicada entre devanados de B.T.	R
	Tensión inducida	R
	Prueba de impulso	P
	Descargas parciales	E
Pruebas de cortocircuito	Factor de disparación (tg $\delta$ )	E
	Verificación de la corriente térmica	P
Pruebas de circuito abierto	Verificación de la corriente dinámica	P
	En los T.C.'s	
Prueba de calentamiento	Elevación de temperatura con carga real o simulada	P
Pruebas de precisión	En condiciones normales (verificación del error de relación y de fase)	R
	Para los T.C.'s. para protección en condiciones anormales (verificación del índice de saturación)	R
Complementarias	Polaridad	R
	Resistencia	E (P)
	Corriente de excitación	E (P)
	Pérdidas en vacío y en C.C.	E (P)
	Impedancia en C.C.	E (P)

Tabla 4

#### 4.1 Pruebas Dieléctricas.

Las normas exigen que los transformadores de medición sean sometidos a tres pruebas diferentes, con el objeto de verificar su aptitud para soportar los disturbios eléctricos mencionados:

- Pruebas de tensión aplicada a frecuencia Industrial, verificación del aislamiento de los enbobinados entre sí y con relación a tierra.
- Tensión Inducida, verificación del aislamiento entre espiras y entre capas de los enbobinados.
- Pruebas de impulso, verificación del aislamiento contra descargas atmosféricas o sobre tensiones transitorias.

Para garantizar plenamente el aislamiento es conveniente efectuar además de las pruebas exigidas por la norma, la prueba de descargas parciales que aún no ha sido incluida en la norma para T.C.'s.

Es indispensable hacer la distinción entre tensión de servicio o tensión nominal de un sistema y tensión nominal de aislamiento.

La tensión de servicio es la tensión entre fases por la cual el sistema se denomina, mientras que la tensión nominal de aislamiento es aquella que sirve de base a la determinación de las tensiones de prueba y define así el nivel de aislamiento de los T.C.'s.

La tensión nominal de aislamiento no coincide forzosamente con la tensión de servicio. Las condiciones particulares de utilización (tormentas frecuentes, atmosfera contaminada, altitud), pueden conducir a escoger una tensión nominal de aislamiento mas elevada como precaución para aumentar la seguridad.

##### 4.1.1 Prueba de tensión aplicada.

Los valores de tensiones de prueba (según normas IEC) aplicadas en los enbobinados primarios se dan en la Tabla 1.5.d (del CAPITULO 1 PRINCIPIOS DEL TRANSFORMADOR), los enbobinados secundarios se prueban entre sí, y a tierra con una tensión de 2.5 KV durante 1 minuto.

##### 4.1.2 Prueba de tensión Inducida.

Los secundarios de los T.C.'s., con excepción de los transformadores de la clase 0.6 KV, con relaciones 600/5 o menos, también deben soportar una prueba de tensión inducida. Los T.C.'s., para medición deben soportar 200 V o menos que se sobrepase la corriente nominal del índice de saturación, pero la tensión no podrá ser menor de 282 V de cresta.

La duración de esta prueba será tal que el número de ciclos aplicados no sea mayor a 7200, así para frecuencia de 170, 180, 240, o 400 c.p.s., se tendrá una duración de 60, 40, 30 o 18 seg. respectivamente.

##### 4.1.2 Pruebas de Impulso.

Todos los aparatos deben ser capaces de soportar esta prueba; sin embargo, dada la dificultad que representa el efectuarla, suele considerarse como prueba de prototipo. Es importante para que la prueba tenga sentido, que sea posible detectar defectos que puedan aparecer en el aislamiento interno, a consecuencia de la aplicación de la onda de tensión. Estos defectos, aunque sean de importancia mínima o localizados, pueden ser la causa de defectos más graves que aparezcan posteriormente. Para este fin, deben registrarse los oscilogramas de todas las ondas aplicadas cuyo valor de cresta exceda del 40% del de la onda plena.

Para estas pruebas la norma ANSI C84.11 inciso 6.5.3 define las condiciones en que deben ejecutarse; un resumen de estas condiciones es el siguiente.

La prueba consiste en la aplicación de una tensión con polaridad negativa o positiva, con el valor de cresta dado en la Tabla 1.1.c y cuya forma de onda se define como  $1.2 \times 50$  microsegundos, lo cual indica que tarda 1.2 microsegundos en alcanzar el valor máximo y 50 microsegundos en descender a la mitad de este valor.

Se recomienda la polaridad negativa para transformadores en aceite y positiva para los tipo seco. Sin embargo, puede usarse polaridad positiva en las pruebas de transformador en aceite, cuando las porcelanas no soportan la tensión de prueba con polaridad negativa.

La prueba de impulso completa consiste en la aplicación de una onda completa a tensión reducida (con valor de cresta entre el 50 y 70%

del de prueba, prefiriéndose los valores más bajos), dos ondas cortadas (con valor de cresta según la Tabla 1.5.d y un retardo mínimo para la descarga o corte, según dicha tabla) y una onda plena. El tiempo transcurrido entre la aplicación de la última onda cortada y la onda plena final no deberá exceder de cinco minutos para impedir se recupere la resistencia del aislamiento en caso de haber fallado durante el impulso anterior.

En esta prueba no debe ocurrir ningún escape de corriente por la porcelana o por otra parte de la instalación; si las condiciones de humedad y/o densidad del aire son adversas, puede retorzarse provisionalmente el aislamiento de la porcelana, aumentando su distancia de contorno.

Estas pruebas se efectúan adoptando la siguiente modalidad.

El embobinado primario se pone en cortocircuito; el o los embobinados secundarios son igualmente cortocircuitados y conectados a la masa del aparato. La tensión de choque se aplica entre el primario y la masa del aparato y ésta, a su vez, es puesta a tierra. El registro oscilográfico de la forma de onda de la tensión aplicada al transformador es suficiente para evidenciar la existencia de defectos.

Para detectar los defectos que podrían aparecer en estas condiciones, no es suficiente con el registro de la forma de la tensión aplicada; es necesario registrar simultáneamente la forma de la corriente que recorre el transformador probado.

Son indicios de falla: Ruido dentro del transformador, presencia de humedad o burbujas, corriente excesiva, no observar escape de corriente por la porcelana o por el electrodo cuando el oscilograma indica una onda cortada. Las diferencias entre las formas de onda (reducida, cortada y plena) pueden también deberse a fallas en el transformador, debiendo investigar si esta es la causa o si son debidas a condiciones en el circuito externo.

#### 4.1.4 Pruebas de factor de disipación.

Al aplicar una tensión alterna entre el devanado de alta tensión y el de baja tensión conectado a tierra circulará una corriente  $I$ , que puede considerarse formada por dos compo-

nentes. Figura 4.1.4.

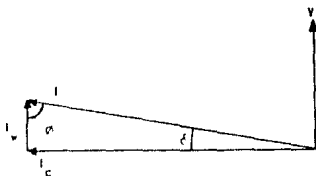


Figura 4.1.4

Diagrama Vectorial del Factor de Disipación ( $\text{tg } \delta$ )

Una corriente  $I_c$  debida a la capacitancia del aislamiento.

Una corriente resistiva  $I_r$  debido a la inductancia transversal la cual fundamentalmente de debe a cualquiera de los siguientes factores: corrientes superficiales, histéresis del dieléctrico o sea la resistencia que opone el dieléctrico a ser polarizado y descargas parciales.

Por definición el factor de disipación es la ( $\text{tg } \delta$ ).

$$\text{tg } \delta = \frac{I_r}{I_c}$$

$\phi$  es el ángulo complementario de  $\delta$  y por lo tanto:

$$\cos \phi = \frac{I_c}{I} \quad (\text{factor de potencia})$$

Para valores pequeños de  $\delta$ , la  $\text{tg } \delta = \cos \phi$  (f.p.)

El método clásico de medición es por medio del puente de Schering Figura 4.1.4a, aunque también se puede obtener midiendo las pérdidas en milliwatts y la potencia aparente en millVA.

Cuando se efectúan pruebas de factor de disipación sobre un aparato completo es indispensable trazar un esquema equivalente con todas las capacitancias que puedan intervenir en la medición; para lo anterior es necesario considerar la disposición física de los embobinados

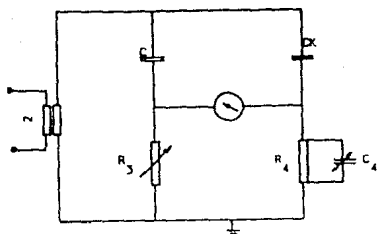


Figura 4.1.4a

Fuente de Schering.

y además, tener en cuenta los factores externos tales como la inducción de líneas o aparatos cerca del aparato bajo prueba, las capacitancias a tierra, el material entre terminales, el estado superficial del aislador, falsos contactos de las terminales de prueba, etc., y cuyos efectos pueden ser mayores al del propio dieléctrico.

Para juzgar la calidad de un dieléctrico no se debe considerar sólo un valor de  $\text{tg } \delta$ , determinado a una cierta tensión, sino debe estudiarse su variación en función de la tensión, del tiempo. Un aumento brusco en el valor del factor de disipación generalmente se atribuye a la aparición de descargas parciales pero puede deberse también a pérdidas iónicas o dipolares.

La Figura 4.1.4b represente un aislamiento en buenas condiciones. La Figura 4.1.4c representa el caso de un transformador en aceite con burbujas de aire o con pequeños poros entre capas del devanado. A una determinada tensión se producen descargas; al seguir aumentando la tensión las burbujas o poros se ponen completamente en cortocircuito trayendo como consecuencia una disminución de la  $\text{tg } \delta$ .

En este tipo de transformadores el campo eléctrico generalmente se encuentra repartido entre dos electrodos perfectamente bien definidos.

En los T.C.'s., herméticos los embobinados secundarios están alojados dentro de una coquilla de aluminio, la cual está conectada interiormente a la base del aparato.

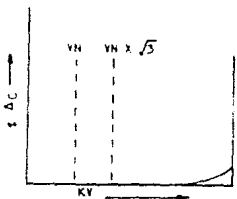
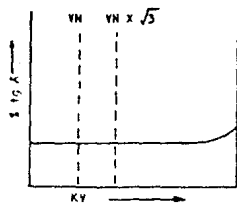


Figura 4.1.4b

Curvas características de un buen aislamiento

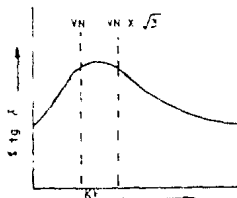


Figura 4.1.4c

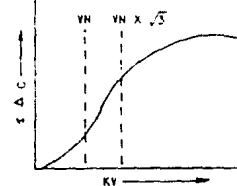


Figura 4.1.4c

Curvas características de un aislamiento con cavidades o mal estado.

El aislamiento formado por papel impregnado en aceite se encuentra localizado entre la coquilla y una pantalla equipotencial que está conectada a un extremo del embobinado primario Figura 4.1.4d.

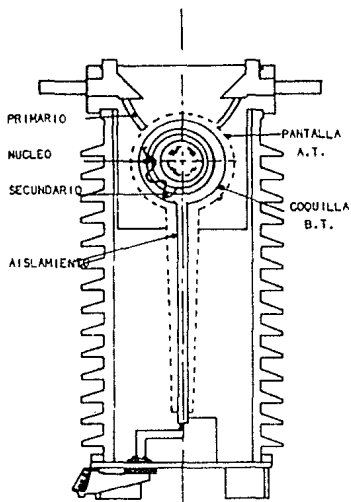


Figura 4.1.4d

Transformador de corriente hermético.

El factor de disipación de  $C_{pc}$  puede ser determinado energizando el embobinado primario en cortocircuito y conectado al puente de Schering la base del aparato, la cual debe estar aislada de tierra. Se recomienda poner en corto todos los embobinados secundarios e interconectarlos a la base Figura 4.1.4e.

En este tipo de transformadores el factor de disipación debe mantenerse constante desde 0 hasta 1.1 veces la tensión entre fases del sistema y debe ser inferior a 0.6%. Valores superiores en un transformador nuevo indican que los materiales que forman el aislamiento son de mala calidad o que éstos no han sido secados adecuadamente y en un transformador que ha estado en servicio son indicio de un

envejecimiento del aislamiento.

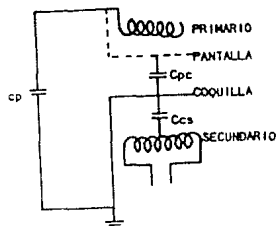


Figura 4.1.4e

Diagrama equivalente de un T.C. hermético.

#### 4.1.5 Pruebas de descargas parciales.

Aunque ya hace medio siglo que se conocen las descargas parciales como causa de deterioro de los materiales aislantes, este fenómeno había recibido poca atención porque entonces el deterioro era muy lento, debido a que los materiales aislantes trabajan a esfuerzos dieléctricos bastante débiles y el diseño y la concepción de los aparatos eran tales que, muy raramente, había posibilidad de encontrar estas descargas en algún lugar realmente peligroso. Además, en el caso que las descargas fueran peligrosas efectivamente éstas aparecían con una magnitud tan fuerte que se podían detectar con facilidad por medios clásicos, bien por el oído, o bien por la medida de las pérdidas ( $\tan \delta$ ).

La aparición de los aislantes en materias coladas o extrudidas, creó problemas de homogeneidad, tales como la posible existencia de pequeñas cavidades en el aislamiento. Estas cavidades no dan lugar a pérdidas apreciables y fácilmente medibles, pero son, sin embargo, una causa de grave debilitamiento del aislamiento. Solo un método de medición que esté bien aceptado permite la detección de estas pequeñas cavidades.

Estos métodos de medida, perfeccionados, permiten el control de las cualidades del tratamiento a que son sometidos los aislantes tradicionales (papel impregnado), y se utilizan en la actualidad para poder emplear la máxima las posibilidades dieléctricas del material; esto es, aumentar la calidad del conjunto y

contribuir al aumento de potencia útil por unidad de volumen en todo el equipo eléctrico de alta tensión, como son los transformadores, capacitores, cables etc.

Actualmente, los métodos de detección se encuentran desarrollados ampliamente, pero no se ha logrado establecer ningún criterio uniforme para fijar los medios de medida y las magnitudes límites.

#### 4.1.5.1 Definición y clasificación de las descargas parciales.

Las descargas parciales son descargas eléctricas de alta frecuencia que no ponen en cortocircuito a dos electrodos de polaridad opuesta.

Las descargas parciales se pueden clasificar en:

- a) Descargas Internas, que aparecen dentro de una cavidad gaseosa, en el seno de un sólido o líquido; Figura 4.1.5.1a.

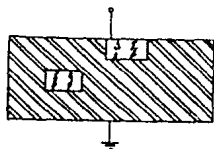


Figura 4.1.5.1a

- b) Descargas superficiales que aparecen en la superficie de un dieléctrico; Figura 4.1.5.1b.

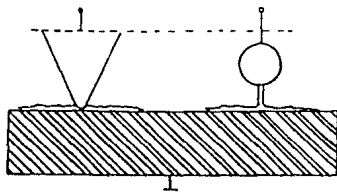


Figura 4.1.5.1b

- c) Descargas por efecto corona, que aparecen alrededor de un punto o arista de un electrodo en el seno de un fuerte campo eléctrico uniforme, Figura 4.1.5.1c.

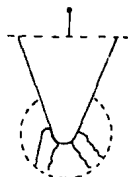


Figura 4.1.5.1c

Por lo visto es un error hablar de efecto corona cuando se trata de descargas parciales, ya que las descargas de corona son un tipo específico de descargas parciales.

Deben distinguirse:

Las descargas parciales internas, que aparecen en el seno del dieléctrico y que no son nocivas para la vida del aislamiento.

Las descargas parciales externas, no nocivas para la vida del aparato porque ionizan el aire exterior. En este caso, hay todavía que distinguir entre las descargas puramente externas, fácilmente reconocibles por medio de un oscilógrafo, y las descargas en la superficie que son difíciles de diferenciar de las descargas internas.

#### 4.1.5.2 Representación esquemática de una descarga en el seno de un dieléctrico.

El proceso físico de una descarga puede ser descrito mediante el circuito análogo de la Figura 4.1.5.2.

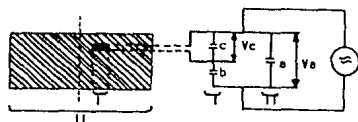


Figura 4.1.5.2.

Representación esquemática de un material dieléctrico con un poro.



Considerando que existe un solo poro en el seno de un dieléctrico este puede ser representado mediante el condensador en aire c. La capacitancia del dieléctrico formado por la columna de sección común a la cavidad, se represente por el condensador b en serie con c. El resto de la muestra formara una capacitancia perfecta a entre los electrodos de baja tensión.

Al aplicar una tensión  $V$  a la muestra, la tensión a través de la cavidad sería idealmente  $V$  siempre y cuando el condensador c fuera capaz de soportar esa tensión. Si esto no es el caso, se producirá una descarga a una tensión  $U_1$  y la tensión cae bruscamente (en un tiempo menor a  $10^{-7}$  seg.) a  $V_1$ . Después de que la descarga se ha extinguido, la tensión sobre la cavidad vuelve a aumentar a partir de  $V_1$  y al alcanzar el valor de  $U_2$  ocurrirá una nueva descarga. Este fenómeno se repite varias veces hasta que la tensión aplicada  $V$  sobre la muestra disminuye y la tensión  $V$  desplazada a  $V_1$  ya no adquiere el valor  $V_c$  de ruptura del dieléctrico, Figura 4.1.5.2a.

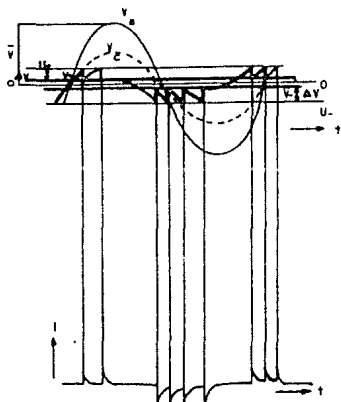


Figura 4.1.5.2a

Comportamiento de las ondas de tensión y corriente en un material dieléctrico con un poro

El proceso se repite en la parte negativa de la onda en el momento en que  $V_c$  llega a tener el valor de  $U_1$ . De esta manera, se obtendrán grupos de descargas regularmente recurrentes, y los mismos se formarán alrededor de los picos de la tensión por cero. Las descargas en la cavidad, causan impulsos de corriente en las terminales de la muestra, mismas que se muestran en la parte inferior de la Figura 4.1.5.2a.

#### 4.1.5.3 Método de detección.

Las descargas parciales dan lugar a numerosos fenómenos secundarios, los cuales pueden ser usados como medio de detección de las mismas.

Los métodos de detección se clasifican en dos grandes grupos:

##### - Métodos de detección no eléctricos.

Cuando el lugar en que se producen las descargas es accesible, la detección visual o fotográfica en la oscuridad es un medio muy eficaz para la localización de descargas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, esto no es posible siendo necesario recurrir a los métodos más sensibles.

##### - Métodos de detección eléctricos.

Aunque las descargas no se pueden detectar en el lugar mismo en que se producen, al propagarse a través del aislamiento producen una señal en las terminales del objeto bajo prueba, que es proporcional al impulso. El método de detección eléctrico consiste básicamente en filtrar esta señal, amplificarla y visualizarla sobre la pantalla de un osciloscopio. La señal que se obtiene en las terminales del objeto bajo prueba, puede expresarse en términos de la carga aparente que se define como la carga que inyectada instantáneamente en las terminales, cambiaría momentáneamente la tensión entre dichas terminales, en la misma cantidad que lo haría la descarga misma, su unidad está dada en picocoulombs.

#### 4.1.5.4 Equipo de prueba del Laboratorio de Comisión Federal de Electricidad.

El Laboratorio de Comisión Federal de Electricidad cuenta con un modelo 3 del detector ERA (Electrical Research Association) fabricado por F.C. Robinson & Partners LTD., de Inglaterra.

Este detector tiene las siguientes características:

- Límite de capacitancia del objeto bajo prueba: 6 pF. a 250.
- Sensibilidad: 0.02 pC. para objetos de prueba de 400 pF.
- Resolución: 20  $\mu$ s ( 250 descargas por un cuarto de ciclo).
- El detector incorpora un generador de pulso patrón.

Este instrumento permite visualizar descargas individuales sobre la pantalla de un osciloscópio que utilice un barrido elíptico sincronizado con la tensión de prueba. Tiene además las siguientes ventajas:

- a) La forma y distribución de las descargas sobre la elipse indica en forma aproximada la procedencia de las descargas; si son exteriores o internas, si provienen de una arista (efecto corona), de una cavidad en el seno de un dieléctrico o en una cavidad limitada por un lado de material dieléctrico y del otro de un conductor o si se tienen falsos contactos. Figura 4.1.5.4
- b) El pulso patrón permite determinar la magnitud de las descargas en pC.
- c) Permite utilizar unidades de entrada (mililitros) intercambiables según la capacitancia del objeto bajo prueba.

En el Laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad se utilizó la unidad de entrada No 3 que abarca capacitancias entre 100 y 1350 pC.

- d) Siendo un instrumento de banda ancha ( 40 a 220 kHz), permite la detección de descargas individuales que tienen aproximadamente la misma estructura que las descargas provenientes del aparato bajo prueba.

Para reducir al máximo la interferencia en la medición es necesario que tanto el transformador elevador como el condensador de bloqueo

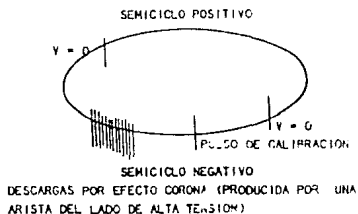
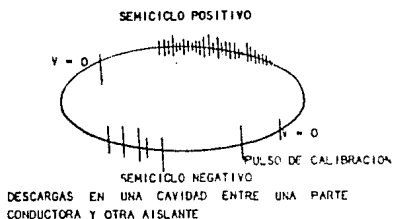
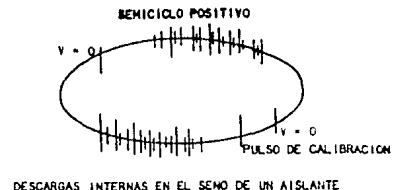


Figura 4.1.5.4

Interpretación de diversos tipos de descargas parciales.

estén libres de descargas parciales hasta la tensión de prueba máxima. Además para mantener el ruido de fondo a un nivel inferior a 1 pC, es necesario que el equipo anterior y el objeto

bajo prueba se encuentra en una caseta faradizada y que la resistencia de tierra sea inferior a 1 ohm. Asimismo todas las conexiones de aite

4.1.5.5 Conexiones de las terminales del objeto bajo prueba de descargas parciales.

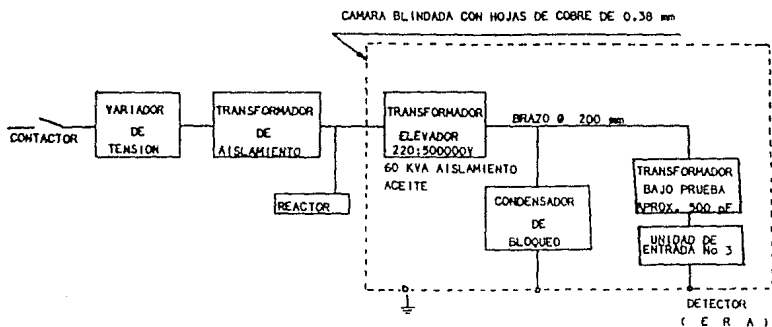


Figura 4.1.5.4a.

DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA INSTALACION PARA LA PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES

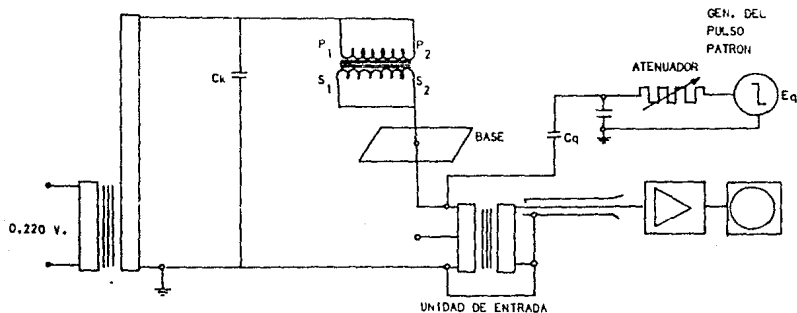


Figura 4.1.5.4b.

CONEXIONES DE LAS TERMINALES DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES.

tensión deben tener un diámetro suficientemente grande para evitar el efecto corona.

En las figuras 4.1.5.4a y 4.1.5.4b se muestran las conexiones de los terminales de los T.C.'s.

**NOTA:** La National Electrical Manufacturer Association (NEMA) cuenta con un método para determinar la radiointerferencia (publicación 107/1964) que originalmente fue desarrollado para limitar el efecto corona del equipo eléctrico precisamente para evitar perturbaciones radiofónicas. El amplificador es de banda muy estrecha centrado en 1 MHz y su salida se alimenta a un instrumento cuya lectura es proporcional a la magnitud, a la duración y a la frecuencia de los pulsos de entrada, así como a las constantes de tiempo del circuito de prueba y del medidor. Las unidades de esta indicación están en microvolts.

Al efectuar una prueba de descargas parciales se persigue que los transformadores o las bobinas no presenten descargas a la tensión nominal con una sensibilidad de 10 pC.

Por otro lado, las normas en vigor siguen exigiendo las pruebas de tensión aplicada e inducción siendo necesario comprobar que éstas no han causado daño al T.C. Además, el equipo puede estar sometido a sobretensiones momentáneas, a transitorios debidos a maniobras de conexión o a descargas atmosféricas que pueden ser motivo de la iniciación de descargas parciales, pudiendo permanecer aún después de haber desaparecido el disturbio.

Por este motivo es necesario garantizar que el transformador no tenga descargas superiores a 10 pC., a una tensión superior a la nominal (un valor adecuado es 1.1 veces la tensión de servicio). A partir de este valor mínimo de aparición se recomienda subir hasta un valor máximo, mantener la tensión durante 15 a 30 segundos. Si han aparecido descargas mayores a 10 pC., la tensión de extinción debe ser mayor a la tensión nominal de operación (se recomienda que el valor sea 0.7 veces la tensión de servicio), con lo cual se garantiza que el equipo operará sin descargas en condiciones normales de operación.

Solo mediante esta prueba es posible garantizar el buen funcionamiento de los transformadores de medición de tensiones nominales iguales o superiores a 34.5 kV.

#### 4.2 Prueba de Resistencia al Corto Circuito.

Los T.C.'s., deben diseñarse para resistir las condiciones térmicas y dinámicas a las que podran estar sometidos en caso de corto circuito en el sistema. Estas son caracterizadas por un valor de corriente térmica límite y un valor de corriente dinámica límite.

##### 4.2.1 Corriente Térmica Límite.

Es el valor eficaz de la corriente primaria simétrica más elevada que el transformador puede soportar durante un segundo, sin que exceda la temperatura límite en ninguno de los devanados.

La temperatura máxima es de 250 °C para transformadores con elevación de temperatura máxima en permanencia de 55°C y de 350°C para transformadores con elevación de temperatura máxima de 60°C.

La temperatura de los conductores puede determinarse por cálculo y el transformador se considera satisfactorio si la densidad de corriente de los conductores de cobre del primario no sobrepasa:

- 140 A/mm<sup>2</sup> según normas ANSI
- 180 A/mm<sup>2</sup> según normas VDE
- 160 A/mm<sup>2</sup> según normas ABNT

##### 4.2.2 Corriente Dinámica Límite.

Es el valor eficaz de una corriente primaria completamente desplazada que el transformador es capaz de soportar sin sufrir daños mecánicos. La prueba se hace sometiendo al aparato a dos ciclos (cuatro crestas) de una corriente primaria simétrica con un valor de cresta igual a  $2\sqrt{2}$  veces la corriente garantizada.

La verificación experimental de estos valores exige la utilización de potencial considerables y no puede hacerse más que en estaciones de prueba especialmente equipadas por lo que se considera como una prueba de prototipo.

#### 4.3 Verificación a la Tensión de Corriente de Circuito Abierto en los T.C.'s.

Los transformadores de corriente deben ser capaces de operar en condiciones de emergencia

durante 1 minuto con el secundario abierto, siempre y cuando la tensión de cresta de circuito abierto no sea mayor a 3500 V. Esta característica se verifica mediante una prueba de prototipo utilizando el circuito de la Figura 4.3a.

$$c_{co} = e_1 \sqrt{\frac{e_1^2}{e_2^2}} \quad \text{cuando} \quad \frac{e_3}{e_2} \leq 2$$

Donde:

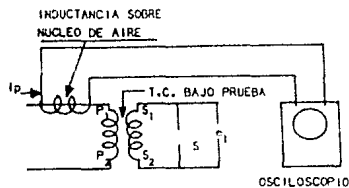


Figura 4.3a

CIRCUITO PARA LA VERIFICACION DE LA TENSION DE CIRCUITO ABIERTO.

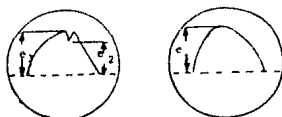


Figura 4.3b

OSCILOGRAMAS OBTENIDOS CON EL CIRCUITO DE LA FIGURA ANTERIOR.

$e_{co}$  = Tensión de cresta real de circuito abierto.

$e_1$  = Tensión de cresta medido con el interruptor abierto.

$e_2$  = Tensión mínima en el instante de abrir el interruptor.

$e_3$  = Tensión de cresta medido con el interruptor cerrado.

$i_p$  = Corriente primaria eficaz.

#### 4.4 Pruebas de Temperatura.

Estas pruebas son consideradas de prototipo y se realizan igual que con otros aparatos eléctricos, los límites de calentamiento difieren según el tipo de aislamiento empleado, nos basta recordar las condiciones prácticas con las cuales estas pruebas deben ser efectuadas.

Las condiciones de prueba deberán reproducir, tan aproximadamente como sea posible, las pérdidas que se tengan bajo las especificaciones de cargas nominales.

Recordemos que los métodos para reproducir estas condiciones son:

- Carga Real.
- Carga Simulada.

La determinación de variación de temperatura del embobinado suele hacerse basándose en la variación de su resistencia; la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$\theta = \frac{R}{R_0} (T + \theta_0) - T$$

Donde:

$\theta$  = Temperatura a determinar en  $^{\circ}\text{C}$

$T$  = 234.5 para el cobre y 225 para el aluminio.

$R$  = Resistencia medida.

$\theta_0$  = Temperatura al iniciar la prueba en  $^{\circ}\text{C}$

$R_0$  = Resistencia al iniciar la prueba.

Deben hacerse correcciones sobre el aumento de temperatura, si la diferencia de altitudes entre el lugar de prueba y el de utilización es mayor de 1000 m. y sobre la carga, si la temperatura ambiente, de prueba y de utilización difiere de 30  $^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.5 Pruebas de Precisión.

Estas pruebas están destinadas a verificar si el transformador está dentro de alguna clase de precisión con una determinada carga.

Se expone a continuación, en forma breve,

las exigencias de las principales normas en vigor.

#### 4.5.1 Norma ANSI C 57.13.

La norma define tres clases de precisión: 0.3, 0.6 y 1.2.

##### NOTA:

La norma NCM-J-109 ha adoptado estas mismas clases de precisión.

La clase de precisión en las normas ANSI se designa por el máximo error admisible, en  $\phi$  que el transformador puede introducir en la medición de potencia. La precisión se garantiza únicamente si el factor de potencia del sistema está comprendido entre 1.0 y 0.9 atrezoado.

La norma ANSI define a las clases de precisión mediante paralelogramos colocados en un sistema de ejes cartesianos donde la ordenada está dada en términos de factor de corrección de la relación (FCR) y la abscisa en función del ángulo de fase (en minutos).

El factor de corrección de la relación se define como:

$$FCR = \frac{K_r}{K_n}$$

Donde:

$K_r$  = la relación real del transformador.

$K_n$  = la relación nominal.

El factor FCR está relacionado con el error de relación como sigue:

$\xi = FCR - 1$  y por lo tanto es positivo, si la corriente secundaria real es menor a la nominal.

Cabe aclarar, que el error de relación así definido tiene la misma magnitud pero signo contrario al error de corriente definido por las normas CEI.

Para mediciones de potencia o de energía en las que intervienen al mismo tiempo los vectores de corriente y de tensión, el error ( $\epsilon$ ) que el T.C., introduce en la medición de potencia este dado por:

$$\epsilon = 100(1 + FCR) + 0.029 B \text{ tg } \theta$$

Donde B es el error de fase en minutos,  $\epsilon$  es el ángulo cuyo coseno es el factor de potencia del sistema.

Así por ejemplo, si el límite es  $\pm 0.3$  tendremos las siguientes ecuaciones para factor de potencia del sistema de 0.6.

$$FCR = 0.00039\theta + 1.003$$

$$FCR = 0.00039\theta + 0.997$$

Que define a los límites críticos de paralelogramo para la clase de precisión 0.3.

Para cada clase de precisión existen dos paralelogramos: un interior que nos da los límites cuando se opera el transformador a un 10% de su corriente nominal (Figura 4.5.1). Los cargos se designan con una B (de "Bandwidth" seguida del valor de su impedancia; su exactitud en VA y su factor de potencia (Tabla 4.5.1a).

Designación ANSI		VA	cos $\phi$
para medición	para protección		
B0.1	C61-10	0.5	0.9
B0.2	C61-20	5	0.9
B0.5	C61-50	12.5	0.9
B1	C61-100	25	0.9
B1	C61-200	50	0.9
B1	C61-400	100	0.9
B1	C61-800	200	0.9

Tabla 4.5.1a

CARGAS NOMINALES PARA T.C.'s. SEGUN NORMA ANSI C-57.13.

#### 4.5.2 Recomendaciones CEI-185.

El CEI ha adoptado las clases 0.1, 0.2, 0.5, 1 y 3, cuyos límites coinciden con los señalados en la Tabla 4.5.1a. A cargas secundarias comprendidas entre 1/4 y 1 de la carga nominal (inclusive cargas mayores a 60 VA) con factor de potencia de la carga de 0.8.

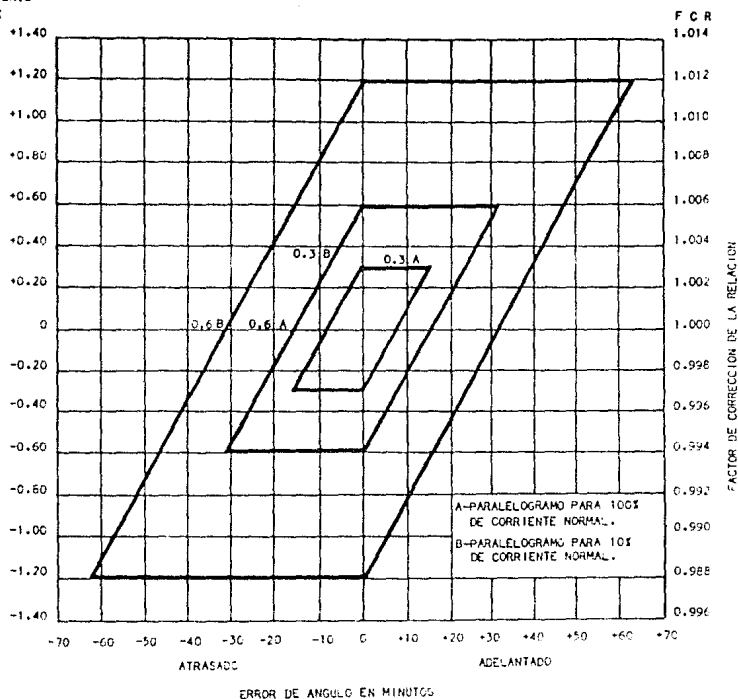


Figura 4.5.1a

Clases normales de precisión límite 0,3 y 0,6 para transformadores de corriente utilizados en medición.

#### 4.5.3 Aparatos de Calibración.

Existen varios métodos y aparatos para determinar el factor de corrección de la relación (error de relación) y error de fase.

Se distingue básicamente dos tipos de medición:

- Medición absoluta en la que se parte de magnitudes eléctricas simples, medidas directamente para determinar los errores por cálculo.
- Contraste relativo en el que se hace intervenir en la determinación una comparación entre el aparato a probar y otro casi

ERROR DE  
CORRIENTE %

F C R.

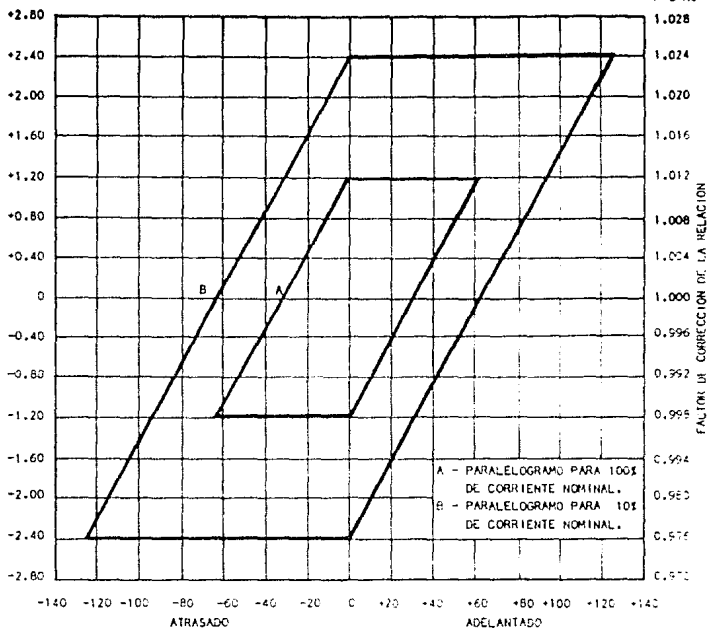


Figura 4.5.1b

Clase normal de precisión límite 1.2 para transformadores de corriente utilizados en medición.

Límite de error de corriente %							
Clase de precisión	Sobre corriente en permanencia	1.2xIn	1.0xIn	0.5xIn	0.2xIn	0.1xIn	0.05xIn
0.1	---	0.1	0.1	---	0.2	0.25	---
0.2	---	0.2	0.2	---	0.35	0.5	---
0.5	---	0.5	0.5	---	0.75	1.0	---
1	---	1.0	1.0	---	1.5	2.0	---
3	3	---	---	3	---	---	---

Tabla 4.5.1b

Clases de precisión para transformadores de corriente para medición, según norma CEE - 165.



Límite de error de fase minutos							
Clase de precisión	Sobre corriente en permanencia	$1,2 \times n$	$1,0 \times n$	$0,5 \times n$	$0,2 \times n$	$0,1 \times n$	$0,05 \times n$
0.1	---	5	5	---	8	10	---
0.2	---	10	10	---	15	20	---
0.5	---	30	30	---	45	60	---
1	---	60	60	---	90	120	---
3	120	60	60	120	---	---	---

Tabla 4.5.1c

Clases de precisión para transformadores de corriente para medición, según norma CEI - 185.

similar llamado patrón. Para aprovechar la alta sensibilidad de los aparatos indicadores de cero, generalmente se efectúa esta comparación por el método de cero que consiste en poner en oposición en un puente de calibración la señal secundaria del transformador a probar con la señal secundaria del transformador patrón.

- X Transformador a ensayar
- PT Puentes de contraste con dispositivos adaptadores
- O Indicador de cero
- $\xi$  Regulación y medida de amplitud
- $\delta$  Regulación y medida de desfase

Dentro de los puentes de calibración que utilizan el método de cero, se pueden distinguir dos tipos:

- Método diferencial, en el cual la relación teórica del transformador a probar debe ser igual a la del transformador patrón.
- Método por comparación que permite una gama mayor del transformador a probar un patrón de relación dada gracias a un dispositivo adaptador.

El método más preciso es el absoluto, pero éste está reservado a los laboratorios de normalización, ya que presenta problemas en la estabilidad de los aparatos.

De los métodos por contraste relativo, el método diferencial es más preciso que el método por comparación.

Debe hacerse una distinción entre:

Precisión de la lectura (o sea la mínima división de las perillas del puente que necesariamente debe ser igual o menor  $\pm 0,01\%$  y  $\pm 1$  minuto).

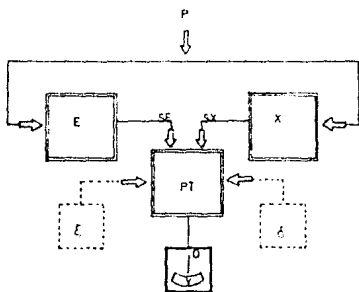


Figura 4.5.3

Esquema de principio de un puente de calibración.

- P Magnitud primaria
- SE Magnitud secundaria del transformador patrón
- SX Magnitud secundaria del transformador a ensayar
- E Transformador patrón

Precisión de la medición (que toma en cuenta la precisión de los elementos del puente de calibración, del indicador de cero de los cargas del transformador patrón, de la temperatura y debe ser igual o menor a  $\pm 0.1\%$  y  $\pm 3$  minutos).

Las cargas nominales de precisión deben permanecer lineales para la frecuencia y tensiones de prueba. La variación en los valores de resistencia debe ser menor a 3%.

#### 4.5.4 Descripción de los puentes de calibración

El transformador a probar  $X$  y el transformador patrón  $P$  son alimentados en serie con una corriente adecuada. Las corrientes secundarias  $i_x$ ,  $i_p$ , atraviesan los primarios de dos inductancias mutuas, sin núcleo, idénticas y teniendo cada una de ellas un devanado secundario de 1000 espiras; el secundario correspondiente al transformador a probar está fraccionado en centenas, decenas, unidades y décimas.

Estos dos secundarios son puestos en oposición sobre un galvanómetro  $G$ , corriendose por medio de una resistencia variable  $R$  atravezada por la corriente secundaria del patrón Figura 4.5.4.

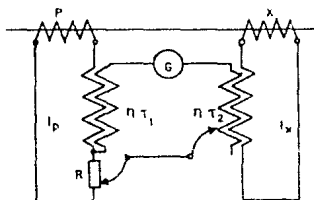


Figura 4.5.4

Diagrama de principio. Fuente de calibración para T.C.'s., método de oposición.

Las corrientes  $i_x$  e  $i_p$  inducen en los secundarios de las inductancias mutuas fuerzas electromotrices  $E_1$  y  $E_2$  en cuadratura con las corrientes que le dieron origen.

$$E_1 = 2\pi f M_1 i_p$$

$$E_2 = 2\pi f M_2 i_x$$

Si por el momento, se desprecia el desfaseamiento entre las dos corrientes, el equilibrio del puente se obtiene ajustando  $R$  gracias a las tomas del secundario.

$$\frac{i_p}{i_x} = \frac{2\pi f M_2}{2\pi f M_1} = \frac{\text{No de espiras de } M_2}{1000}$$

Para obtener el equilibrio completo, será necesario además, compensar la ligera diferencia vectorial entre las tensiones  $E_1$  y  $E_2$ , debida al desfaseamiento. Esto se obtiene ajustando la resistencia variable  $R$  en cuyas terminales aparece una tensión  $E_3$  en fase con  $i_p$  y que tiene por valor:

$$E_3 = R i_p$$

Se tiene entonces que:

$$\text{tg } \delta = \frac{E_3}{E_1} = \frac{R i_p}{2\pi f M_1 i_p} = \frac{R}{2\pi f M_1} = \text{cte} \cdot R$$

La resistencia puede graduarse directamente en minutos para una frecuencia dada.

#### 4.5.5 Verificación del índice de saturación de los T.C.'s., para protección.

En los T.C.'s para protección se persigue que la corriente secundaria sea proporcional a la primaria hasta 10 C 20 veces la corriente nominal. En los transformadores de medición por el contrario conviene que el núcleo se sature a un valor relativamente bajo de sobrecorriente - con el objeto de proteger a los instrumentos conectados en el secundario del transformador.

La última versión de la norma ANSI ha modificado la clasificación general para los T.C.'s., destinados a protección.

Existen ahora dos clasificaciones:

La clase C cubre a los transformadores con devanados uniformes repartidos en los cuales el flujo de dispersión tiene un efecto despreciable sobre el error de la relación. La relación de los transformadores de la clase C puede ser determinada por cálculo o bien mediante algún método aproximado. Puede aplicarse el método de excitación descrito más adelante, pero sin

considerar la imprecisión del 10% en el cálculo de  $V_0$ .

La clase T cubre a los transformadores en los cuales el flujo de dispersión afecta notablemente sobre el error de relación. El error de estos transformadores debe determinarse por medio de una prueba con la sobrecorriente nominal.

En ambas clasificaciones se debe especificar la tensión secundaria máxima que debe ser inducida a 20 veces la corriente secundaria nominal y con carga nominal.

El error de relación permisible es el 10% desde 1 hasta 20 veces la corriente nominal con cualquier carga (en ohms) menor a la carga nominal.

La característica completa de protección estará dada entonces de la siguiente manera, por ejemplo C - 100.

NOTA: Con esta nueva clasificación se ha suprimido la clase n y solamente se ha adaptado la clase L de la versión antigua de la norma. Además se despreciado el error de 2.5%.

Para la verificación del factor límite de precisión, se permite utilizar para los transformadores con núcleos toroidales, el método indirecto de excitación en vacío.

Este método consiste en lo siguiente:

Con el primario abierto se excita el transformador por el secundario, con una tensión prácticamente senoidal y la frecuencia nominal, cuyo valor eficaz sea igual a la f.e.m., límite secundario:

$$f.e.m. \text{ límite} = FLP I_{2n} \sqrt{(R_s + R_c)^2 + (X_s - X_c)^2}$$

Donde:

- f.e.m. = Fuerza electromotriz límite en volts.
- FLP = Factor límite de precisión.
- $I_{2n}$  = Corriente secundaria nominal en amps.
- $R_s$  = Resistencia de la carga en ohms.
- $X_s$  = Reactancia del secundario en ohms.
- $X_c$  = Reactancia de la carga en ohms.

Para el caso de los transformadores de núcleo toroidal y bobinado secundario, uniformemente repartido, se considera  $X_c = 0$ .

Para el transformador de protección, la corriente de excitación que resulte expresada en % del producto de la corriente nominal por el factor límite de precisión debe ser igual o menor al error compuesto en % de la clase solicitada:

$$\frac{I_0 \times 100}{I_{2n} \times FLP} \leq \epsilon\%$$

En el caso de transformadores para medición la corriente de excitación no resulte, no debe ser inferior en 15% del producto de la corriente nominal secundaria por el factor límite de precisión;

$$I_0 > 0.15 I_{2n} \times FLP$$

## CAPITULO 5 MANTENIMIENTO.

Actualmente se reconoce una gran variedad de tipos de mantenimiento con su definición respectiva para cada uno de ellos. Como sería largo poder enumerarlos y más aún el describirlos adecuadamente, es necesario omitir este aspecto a fin de poder reducir (relativamente) y manejar fácilmente el tipo de mantenimiento que requiere la Industria Eléctrica Nacional.

La idea básica del mantenimiento predictivo puede representarse por medio de las figuras 5a y 5b, donde se aprecia en la figura 5a, que equipo después de pasar su período de puesta en servicio reduce sus posibilidades de falla (fallas inmediatas) entonces pasa a encontrarse dentro de su período de vida útil, posteriormente el equipo envejece y crecen sus posibilidades de falla (período de envejecimiento). El mantenimiento predictivo tiende a reducir la cantidad de trabajo por realizar durante el período de vida útil.

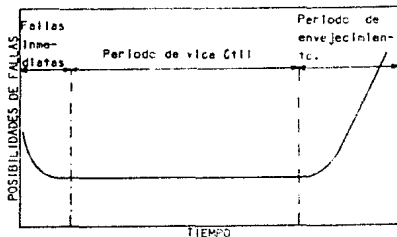


Figura 5a

Curva vida - Muerte típica.

En la Figura 5a podemos ver que mejorando las técnicas de mantenimiento y reduciendo los costos de éste se logra una productividad mayor.

Los principales objetivos por alcanzar son:

- Establecer los requisitos de mantenimiento para todo equipo.
- Adecuada recolección y archivo de resulta-

dos de inspecciones y pruebas conjuntamente con los análisis para la determinación de las condiciones del equipo.

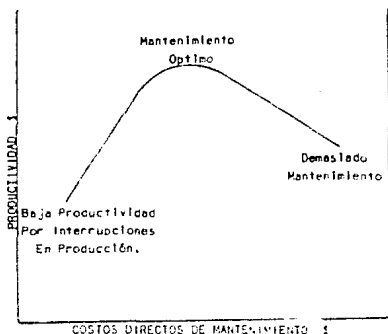


Figura 5b

Cantidad Ideal de Mantenimiento.

- En función de lo anterior, determinar los programas óptimos de mantenimiento.
- Personal competente para realizar las tareas tanto directamente en el equipo como para análisis y control de mantenimiento.
- Establecimiento de los requisitos de mantenimiento.

Para establecer los requisitos de mantenimiento de equipo deben considerarse tres criterios principales:

El criterio de "crítico" contra "no crítico". Establecer las condiciones de cada equipo con el proceso completo y las consecuencias de su falla de operación del sistema. El equipo que provoque serias consecuencias en la operación del sistema, seguridad, producción, costos, etc., es considerado "crítico". Aquel que su falla no tenga serias consecuencias sobre el sistema es considerado "no crítico".

Un programa de mantenimiento preventivo se realiza sobre equipo "crítico" y un programa predictivo se realiza sobre equipo "no crítico"

El criterio de "Datos Fabricante" en ocasiones permite obtener información sobre límites de vida esperada, o sugiere, intervalos de tiempo para mantenimiento en función del servicio del equipo.

Estos tres criterios deben considerarse para definir y establecer los requisitos de mantenimiento para cada uno de los equipos.

b) Recolección, análisis y archivo de resultados.

Esto requiere contar con un archivo adecuado de historiales del equipo correctamente clasificado, revisiones y técnicas de pruebas bien definidas con el fin de normalizar el criterio para los análisis de los resultados obtenidos y confrontarlos con los anteriores para determinar correctamente las condiciones del equipo.

c) Determinación de los programas de mantenimiento.

Con el conocimiento de las condiciones del equipo y el establecimiento se formarán los programas de mantenimiento sobre la base del mantenimiento de tipo predictivo. Es decir, el equipo que es considerado "crítico", queda programado bajo el criterio del mantenimiento preventivo y es función de la condición en que se encuentra tanto como por los requisitos de mantenimiento que han sido establecidos. El equipo que se considera "no crítico" queda programado dentro del criterio del mantenimiento predictivo, que es función de la condición en que se encuentra y del conocimiento técnico para establecer un período determinado para su próxima revisión y pruebas dentro del programa general del mantenimiento de la instalación, tanto como los requisitos de mantenimiento que se han quedado establecidos.

d) Características del personal de mantenimiento.

Personal competente para realización y administración del mantenimiento.

Esta condición es necesariamente la más delicada, pues requiere una preparación y

una conciencia de la necesidad de realizar correctamente y eficientemente las tareas tanto como el reporte de lo realizado y de las pruebas efectuadas, que facilitaran posteriormente los análisis y la programación adecuada para el desarrollo del mantenimiento de tipo predictivo.

5.1 Tipos de Mantenimiento.

La política de tipo de mantenimiento está basada sobre el tipo de mantenimiento predictivo.

Se definen tres tipos de mantenimiento:

- a) Mantenimiento Correctivo.
- b) Mantenimiento Preventivo.
- c) Mantenimiento Predictivo.
- d) Mantenimiento Correctivo.

Es el más antiguo, puesto que permite operar el equipo hasta que la falla ocurra antes de su reparación ó sustitución. Este tipo de mantenimiento requiere poca planeación y control pero sus desventajas lo hacen inapropiado en grandes instalaciones, ya que todo el trabajo es hecho sobre una base de emergencia la cual resulta en un ineficiente empleo de la mano de obra y en excesivas interrupciones.

b) Mantenimiento Preventivo.

Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo prevenir las interrupciones y fallas, al mismo tiempo de prolongar los tiempos de operación por medio de inspecciones programadas y revisiones periódicas del equipo.

En general se logra su objetivo pero actualmente se considera que los costos de este tipo de mantenimiento son realmente elevados.

c) Mantenimiento Predictivo.

El tipo de mantenimiento predictivo tiene como finalidad combinar las ventajas de los tipos de mantenimiento anteriores para lograr el máximo tiempo de operación del equipo y eliminar el trabajo innecesario. Esto exige técnicas de revisión y pruebas más avanzadas para determinar con mejor certeza la condición del equipo y un control más riguroso para

lograr la planeación correcta y efectuar las revisiones verdaderamente necesarias.

### 5.2 Mantenimiento de T.C's.

El transformador es el equipo o dispositivo más simple (relativamente). Requiere de poco mantenimiento y es más confiable en el ámbito del equipo eléctrico.

Un buen mantenimiento de éste equipo debe caer en los tipos de mantenimiento que se han esbozado en párrafos anteriores.

Se intenta desarrollar ideas que permitan comprender con facilidad las pruebas y trabajos necesarios para un buen mantenimiento del equipo de transformación.

### 5.3 Trabajos de Mantenimiento en Campo.

En algunas ocasiones, se presenta la necesidad de efectuar trabajos en el equipo de transformación ya sea por mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo, muchos de los cuales se efectúan en el campo.

En estas circunstancias, se hace necesario proceder a efectuar la planeación de los trabajos, lo cual debe incluir acopio de recursos humanos y materiales.

En forma general, los trabajos a realizar son los siguientes:

- a) Maniobras Desconexión y Conexión Licencias.
- b) Preparación de Equipos de Prueba.
- c) Desconexión y Limpieza.
- d) Pruebas de F.P. Devanados.
- e) Pruebas de Resistencia de aislamiento (Megger).
- f) Pruebas de Corriente de Excitación.
- g) Pruebas de Relación de transformación (T.T.R).
- h) Pruebas de Impedancia.
- i) Conexión del Transformador.
- j) Pruebas al Aceite.

- k) Análisis de Gases.
- l) Eliminación de Fugas.
- m) Pintura.
- n) Inspección General Visual.
- o) Reposición de Niveles.
- p) Pruebas de Operación.

El mantenimiento ligero de un transformador comprende los siguientes puntos:

- b, c, h, n, o, p.

Un mantenimiento completo de un transformador abarca todos los puntos.

### 5.4 Pruebas de Campo.

- a) Resistencia de Aislamiento.
- b) Factor de Potencia.
- c) Relación de Transformación y Polaridad.
- d) Resistencia Óhmica de Devanados.
- e) Corriente de Excitación con Equipo de Factor de Potencia.
- f) Medición de Impedancia.
- g) Rigidez Dieléctrica del Aceite.
- h) Factor de Potencia del Aceite.
- a) Resistencia de Aislamiento.

Procedimiento SGP - A001 - 5.

Objetivo: Verificar el grado de humedad o deterioro de los aislamientos

Equipo de Prueba: Probador de Resistencia de Aislamiento.

Tal como se menciona en el procedimiento SGP - A001 - 5, se requiere de un análisis minucioso aunado a la experiencia personal en virtud de que hasta el momento no existen rangos de valores predeterminados o estándares.

Esta situación se debe principalmente

tanto al diseño del circuito como a la medición del transformador.

Diferentes fabricantes cuentan con reglas que podemos llamar de "dedo" que en un momento dado nos pueden ayudar a tener un panorama muy limitado pero definitivamente no debemos caer en el error de que sea lo óptimo. Así tenemos que una regla generalizada, es la de multiplicar los KV. de fase a fase por 25 para sacar aproximadamente el valor mínimo en Megohms referidos a 20°C o bien aceptar 1000 Megohms mínimos a 20°C para voltaje superior a 69 KV.

b) Factor de Potencia.

Procedimiento: SGP - A003 - S.

Objetivo: Verificar grado de humedad ó deterioro de los aislamientos por disipación de energía.

De forma general, podemos decir que los valores máximos aceptadas son:

Para transformadores nuevos 0.1% de F.P. referidos a 20 °C.

Para transformadores usados 0.3% de F.P. referidos a 20 °C.

c) Relación de Transformación.

Procedimiento: SGP - A011 - S.

Objetivo: Verificar la relación de transformación y falla en devanados.

Equipo de Prueba: Probador de relación de transformación (T T R).

En caso de no contar con este equipo, se puede verificar la relación de transformación con voltmetro de escala adecuada y una fuente de alimentación de C.A. de bajo voltaje (máximo 440 volts.)

c') Polaridad.

Procedimiento: SGP - A0011 - S.

Objetivo: Verificar la polaridad de los devanados del transformador.

Equipo de Prueba: Probador de relación de transformación (T T R).

La polaridad debe coincidir con el diagrama vectorial del transformador.

d) Resistencia Óhmica de los Devanados.

Procedimiento: Pendiente.

Objetivo: Verificar temperatura promedio de devanados.

Verificar pérdidas promedio (R 12).

Verificar resistencia de devanados.

Equipo de Prueba: Puente de Kelvin, Puente de Wheatstone.

En caso de no contar con este equipo, se puede efectuar la medición con batería autónoma, un voltmetro y un ampermetro.

El devanado de alta tensión se aplicará el voltaje de 12 volts, y el de baja tensión el voltaje de una sola celda de la batería autónoma.

La tolerancia que se admite es de 2% de acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante y corregida a la base de temperatura que proporciona también el fabricante.

e) Corriente de Excitación con Equipo de Factor de Potencia.

Procedimiento: SGP - A004 - S.

Objetivo: Detectar problemas de devanados y núcleo.

Equipo de Prueba: Equipo de Factor de Potencia.

Para interpretación del resultado de la prueba debe tomarse en cuenta muy seriamente el historial del equipo o un equipo igual con el fin de poder valorar las posibles discrepancias.

En caso de que los valores sean diferentes, se tiene la necesidad de efectuar pruebas exhaustivas a fin de poder determinar el problema que está causando la diferencia de lecturas.

f) Medición de Impedancia.

Procedimiento: RTN - 007 - S.

Objetivo: Verificar impedancia de placa del transformador.

Equipo de Prueba: Un voltmetro, un ampermetro y una fuente de corriente alterna de bajo voltaje (máximo 440 volts).

La tolerancia admítida en pruebas de campo contra la placa es de  $\pm 5\%$  en virtud de que la lectura de temperatura no es del todo confiable aunado el error propio del aparato.

g) Rigidez Dieléctrica del Aceite.

Procedimiento: SGP - A005 - S.

Objetivo: Detectar contaminantes ó partículas conductoras.

Equipo de Prueba: Medidor de rigidez dieléctrica de líquidos aislantes.

Norma D - 877 Disco plano de 25,4 mm de diámetro y 2,54 mm de separación 25 KV mínimos de ruptura en aceites nuevos.

Norma D - 1816 Discos semisféricos con separación de 1,016 mm 20 KV mínimos de ruptura en aceites usados 30 KV mínimos de ruptura en aceites nuevos.

h) Factor de Potencia del Aceite.

Procedimiento: SGP - S.

Objetivo: Determinar presencia de contaminantes ó de productos de deterioración.

Máximo 0,05% de F.P. a 20 °C aceite nuevo  
Máximo 0,1% de F.P. a 20 °C aceite usado.

5.5 Historial y Reportes.

Actualmente es necesario contar con un historial de equipo lo más completo posible para su estadística de comportamiento y así definir el tipo de mantenimiento a realizar.

Por lo que corresponde a reportes, estos deben ser concisos y concretos y deben comprender todos los aspectos aún a los que sean considerados de poca trascendencia, con el fin de que la persona que los analice, tenga un panorama completo de la situación que guarda el equipo en forma rápida.



## CAPITULO 6 ANALISIS DE FALLAS.

Una falla puede definirse como una diferencia entre lo esperado y lo real.

Existe un extracto de un tratado del ex presidente John F. Kennedy que nos dice: "Nuestros problemas son creados por el hombre, por lo tanto pueden ser resueltos por el hombre. Y el hombre puede ser tan grande como él quiera no existe problema del destino humano que vaya más allá del ser humano".

Uno de los pesos más importantes para llevar a cabo el análisis de las fallas es la identificación de los problemas. Dentro de una empresa moderna, debe existir una sistemática que comprenda desde la identificación de un problema, luego pasar a la modelación, experimentación y finalmente la presentación del plan propuesto para la solución del problema, que no es otra cosa que una acción correctiva para la situación actual y preventiva para el futuro.

Para poder iniciar con un análisis de un problema o falla es necesario crear un buen sistema de información a todos los niveles. Esto implica que los obreros en las líneas de trabajo estén enterados de los problemas, así como los supervisores, jefes de departamento, gerencias y dirección.

La información deberá ser procesada diariamente para elaborar gráficas.

Es recomendable que estas gráficas estén disponibles para consulta a cualquier persona, por lo cual se recomienda que estas sean fijadas en un punto estratégico.

Una forma sistemática para que el análisis de las fallas sea obligado es incluyéndolo en el aviso de falla o de inconformidad.

El aviso de falla o de inconformidad es un documento elaborado exclusivamente por personal de Aseguramiento de Calidad y es considerado de alta prioridad.

Esto no solo significa que se tenga que decidir en forma expedita sino que también es necesario analizar el origen de la falla.

Se han establecido niveles de decisión en lo que concierne a las acciones correctivas/pre

ventivas en la forma que a continuación se detalla:

Nivel A - Técnico/Planeación de Producto/Aseg. de Calidad.

Nivel B - Planeación de Producto/Aseg. de Calidad.

Nivel C - Aseg. de Calidad.

Cada uno de estos niveles esté enlazado con una cantidad monetaria de tal forma, que piezas muy costosas o un volumen considerable de piezas tengan que ser decididas por el nivel A/B. En las decisiones en nivel A comunmente, pero no imprescindiblemente participa la dirección.

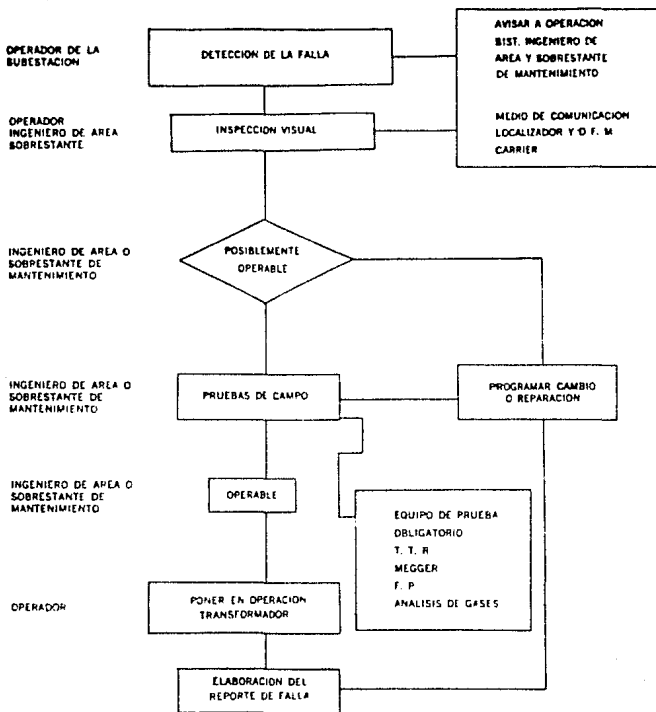
En cada caso y sobre todo en los niveles A/B se procede como antes se ha descrito para analizar la falla y para poder solucionar la misma. Para anotar esta solución está previsto un campo adicional en el mismo documento de aviso de falla o inconformidad y con ello tener un medio de control en el tiempo.

Resumiendo, se debe investigar exhaustivamente el origen de las fallas en equipo y que éstas se divulguen entre el personal encargado de operarlo y mantenerlo, así como entre las áreas que proyectan, planean y construyen las instalaciones, con objeto de que se contribuya a eliminar los probables defectos de diseño ó selección de equipo, detectados durante el análisis de la falla, para evitar que ocurran nuevamente en otras áreas que aún no han sufrido las consecuencias de un problema similar. Es pues una fuente de gran valor para retroalimentar las experiencias que en operación se tengan

Para concluir quiero enunciar una frase del Sr. Philip B. Crosby que nos dice: "La calidad es libre. No es un regalo pero no cuesta adquirirla. Lo que cuesta dinero son las cosas sin calidad, todas las acciones involucradas para no realizar el trabajo bien la primera vez."

Si todos usáramos este principio, las fallas y los análisis de las mismas serían mínimos, así que negamos las cosas la primera vez y ahorráramos muchos esfuerzos.

### 6.1 Criterio de Análisis de Fallas.



6.2 Inspección Visual.

Dependiendo el tipo de falla.

a) Observar las condiciones de servicio de los aparatos adyacentes al T.C, fallado.

b) observar los devanados primario y secundario de alguna posible falla.

c) Si el T.C., está en aceite, observar existen fugas.

d) Verificar las conexiones, tierra solidamente conectada, calibre del conductor etc.

e) Revisar la membrana, observar que no haya ningún objeto extraño.

## 6.3 Pruebas de Campo.

- a) Relación de transformación.
- b) Aislamiento entre devanados y devanado a tierra con megger motorizado.
- c) Gases inflamables con analizador de gases.
- d) Pérdidas a través del aislamiento y corriente de excitación con probador de factor de potencia.

## 6.4 Análisis de Falla.

Para éste análisis, tomando en cuenta los procedimientos de la Comisión Federal de Electricidad, debe emplearse el formato establecido por la Oficina de Equipo Eléctrico Primario enviándolo junto con las últimas pruebas efectuadas, a las oficinas Regionales, Oficina de Equipo Eléctrico Primario en Oficinas Nacionales y al Delegado del Laboratorio.

Tómese en cuenta que el reporte debe elaborarse para cualquier tipo de falla en el transformador.

Para el caso de daño interno al transformador, debe prepararse un Informe completo de la falla considerando el procedimiento respectivo.

Dicho procedimiento consta de los siguientes puntos.

## a) Resumen.

Será una breve explicación de lo ocurrido y las consecuencias de la falla.

## b) Antecedentes.

Explicará las condiciones del sistema o central antes de producirse el disturbio; si es posible, mencionará valores de carga ó generación en la parte del sistema afectado, ilustrando lo anterior en un diagrama unifilar. En el caso de componentes mecánicos se usarán esquemas ilustrativos.

## c) Secuencia de Eventos.

Cada uno de los eventos deberá ser indicado individual y cronológicamente con hora de ocurrencia, equipo afectado y protecciones que operaron.

## d) Análisis del Disturbio.

Se deberá señalar la fuente de procedencia de los elementos de información (osilogramas, banderas, alarmas registros, etc.) que sirvieron para analizar el disturbio.

## d) Conclusiones.

Explicará con detalle los resultados del análisis.

## f) Medidas Correctivas.

Deberá mencionar cada una de las actividades requeridas para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de esquemas y/o equipos conectados al sistema, con el fin de evitar la repetición del disturbio. De ser posible deberán indicarse las fechas de ejecución de las mismas.

## g) Nomenclatura Utilizada.

Deberá describirse la identificación de los elementos involucrados durante el disturbio, con el número ANSI correspondiente, ampliando la información relevante ó particular como es el caso de las fases, número de barra, etc.

## Ejemplos:

- 21G-1 Protección de distancia de tierra de fase uno.
- 87B-2 Protección diferencial de barras 2.
- 50BF Protección de respaldo por falla de interruptor.



CUESTIONARIO DE FALLAS PARA APARATOS.

USUARIO: \_\_\_\_\_

1 DESCRIPCION DEL APARATO O APARATOS FALLADOS:

CANT.	TIPO:	CARACTERISTICAS:	Nº FABRICACION:
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

2 DESCRIPCION DE CONDICIONES DE FALLA:

FECHA: \_\_\_\_\_

LUGAR: \_\_\_\_\_

REPORTADO POR: \_\_\_\_\_

PUESTO EN LA CIA. DE QUIEN REPORTA: \_\_\_\_\_

3 PARA ACLARACIONES POSTERIORES, COMUNICARSE CON:

NOMBRE: \_\_\_\_\_

PUESTO: \_\_\_\_\_

TELEFONO: \_\_\_\_\_

4 DESCRIPCION DE LA FALLA: (INDICAR COMO OCURRIO)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5 CONDICIONES FISICAS DE LA INSTALACION DEL APARATO O APARATOS FALLADOS:

a) DETALLES DEL LUGAR: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

b) DETALLES DE LA INSTALACION: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

c) DETALLES DE APARATOS CONTIGUOS: \_\_\_\_\_

d) DETALLESE SI CAUSO DESPERFECTOS EN OTROS APARATOS, EN LA INSTALACION, ACCIDENTES PERSONALES, ETC. \_\_\_\_\_

5 INFORMACION QUE SE AÑEA:

DIAGRAMAS DE CONEXION.

FOTOGRAFIAS DEL DESPERFECTO.

DISTANCIAS Y DIMENSIONES.

CROQUIS DE CONEXIONES A TIERRA EN LOS LADOS: ALTA Y BAJA TENSION.

CROQUIS DE APARATOS CONECTADOS AL MISMO CIRCUITO (DEL APARATO FALLADO).

CROQUIS DETALLANDO LAS PROTECCIONES EN LOS LADOS DE ALTA Y BAJA TENSION. (ANOTAR CARACTERISTICAS DE FUSIBLES).

¿OPERARON EN LAS PROTECCIONES?  
SI NO

\_\_\_\_\_ VALORES DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO. (PARA EL PUNTO DONDE SE LOCALIZA EL

T.C.)

7 CONDICIONES DEL SISTEMA DE ALTA TENSION:

LINEAS AEREAS.

LINEAS SUBTERRANEAS.

NEUTRO CONECTADO A TIERRA.

NEUTRO AISLADO.

8 CONDICIONES DEL SISTEMA DE BAJA TENSION:

\_\_\_\_\_ CANTIDAD DE APARATOS ALIMENTADOS AL MISMO CIRCUITO.

\_\_\_\_\_ CANTIDAD DE V.A. DE CADA APARATO CONECTADO AL MISMO CIRCUITO.

9 INFORMACION GENERAL.

a) FECHA DE PUESTA EN SERVICIO.

\_\_\_\_\_

b) FECHA DE ULTIMA MODIFICACION EN LA INSTALACION.

\_\_\_\_\_

c) FECHA DE ULTIMA INSPECCION.

\_\_\_\_\_

10 CONDICIONES EN LAS QUE OCURRIO LA FALLA:

a)  LLUVIA       GRANIZO       HURACAN

b)  ATMOSFERA CONTAMINADA

c)  OTRAS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

11 ESTADO QUE GUARDA EL APARATO O APARATOS DESPUES DE LA FALLA:

ROTURA DE PARTES (MENCIONE CUALES).

AGRIETAMIENTOS O FISURAS (INDIQUE EN DONDE).

SEÑALES DE FLAMEO.

DESTRUIDO POR EXPLOSION.

FUGAS DE ACEITE EN: \_\_\_\_\_

GOLPETEADO EN: \_\_\_\_\_

12 CONCLUSIONES DEL USUARIO DE LAS "CAUSAS DE FALLA".

¿CAUSA AJENA AL APARATO?.

¿SE ORIGINO LA CAUSA POR EL APARATO?. RAZONES POR LAS QUE "SI" \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿SE HA DETERMINADO HACER MODIFICACIONES EN SU INSTALACION?.

## CONCLUSIONES.

Como resultado de la crisis que se ha presentado en los últimos años, se hacen las consideraciones siguientes:

- a) Investigación aplicada y desarrollo tecnológico.
  - b) Laboratorios de pruebas.
  - c) Control de calidad.
  - d) Normalización.
- a) Nuestro país requiere que los Ingenieros, pasantes y técnicos, realicen un mayor número de trabajos de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, que resuelvan los problemas prioritarios de la industria nacional.
- b) Los laboratorios juegan un papel fundamental para el desarrollo industrial, porque son la base de la técnica, de una serie de actividades vinculadas con la calidad, como son la investigación de nuevos productos, procesos, sustitución de importaciones, así como para la evaluación de la calidad de los productos, materias primas etc.

Este papel fundamental también incide en el comercio nacional ya que los consumidores, principalmente la industria de la transformación exigen con mayor frecuencia una calidad, la cual necesariamente se verifica mediante pruebas en el laboratorio.

- c) El control de calidad que, tiene como objetivo principal verificar la calidad de los productos que se producen o adquieren, por los interesados, el aseguramiento de la calidad, está directamente relacionado con el cumplimiento de las normas que a su vez se hayan elaborado adecuadamente.
- d) Obtener productos de calidad, debe establecerse, tanto entre los productores como entre los consumidores, el hábito de la exigencia

En base a estas consideraciones nació la inquietud de realizar este trabajo que contemple conceptos básicos del transformador de corriente, esperando contribuir modestamente a conocer y mejorar las técnicas de evaluación y manufactura de estos aparatos.



REFERENCIAS.

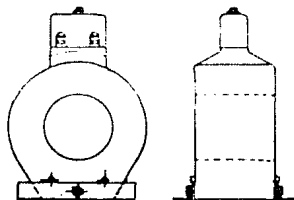
- 1 Notas, "Transformadores de Instrumento"  
Juan José Lora M.  
Inéditas.
- 2 Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia  
William D. Stevenson  
Mc GRAW HILL 2a ed. 1982.
- 3 Tratado de Electricidad "2 Corriente Alterna"  
Chester L. Daves  
G. Gili, S.A. / 1983.
- 4 Análisis de Sistemas de Potencia  
Charles A. Gross  
Interamericana / 1982.
- 5 Fundamentos de Teoría y Selección de Transformadores para Medición  
Antonio Cárdenas L.  
Electrotécnica Baiteau.
- 6 Pruebas a transformadores de Medición  
Pedro Maligner  
Electrotécnica Baiteau.
- 7 Manual de Transformadores  
Gerencia de Generación y Transmisión  
Comisión Federal de Electricidad.
- 8 Current Transformers  
IEC-185 / 1987
- 9 Transformadores de Corriente  
NOM-J-109
- 10 Métodos de Prueba para Transformadores de Corriente  
NOM-J-263
- 11 Standard Requirements for Instrument Transformers  
ANSI - C 57

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE BAJA TENSION

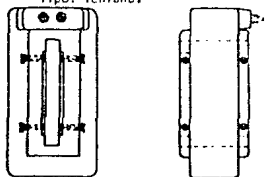
(INTERIOR)



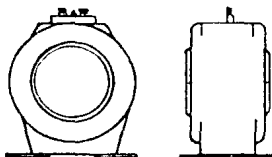
Clase: 0,6 kV.  
Aplicación: Medición.  
Tipo: Barra.



Clase: 0,6 kV., Aplicación: Medición  
Tipo: Ventana.



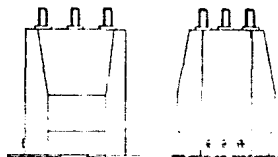
Clase: 0,6 kV.  
Aplicación: Medición.  
Tipo: Ventana.



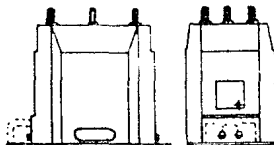
Clase: 0,6 kV., Aplicación: Medición  
Tipo: Ventana.

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE MEDIA TENSION

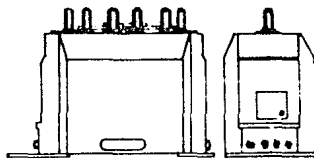
(INTERIOR)



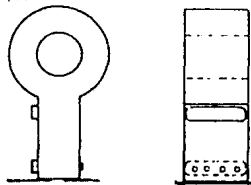
Clase: 5 kV.  
Aplicación: Medición-Protección.  
Tipo: Bobinado.



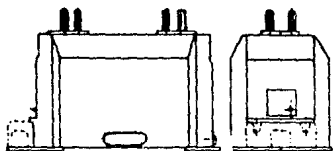
Clase: 15 kV.  
Aplicación: Medición-Protección.  
Tipo: Bobinado.



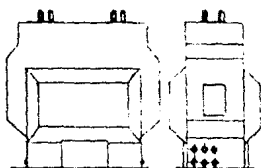
Clase: 15 kV.  
Aplicación: Medición-Protección.  
Tipo: Bobinado.



Clase: 15 kV., Aplicación: Medición-Protec.  
Tipo: Ventana.

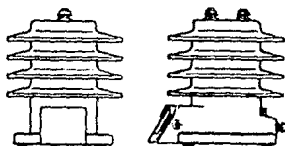


Clase: 25 kV.  
Aplicación: Medición-Protección.  
Tipo: Bobinado.

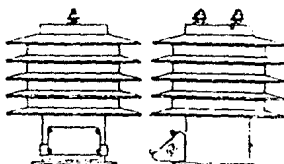


Clase: 34.5 kV., Aplicación: Medición-Protección., Tipo: Bobinado.

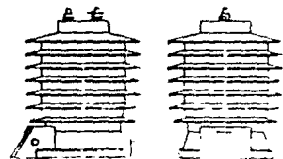
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, MEDIA TENSION  
(EXTERIOR)



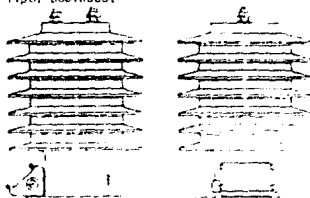
Clase: 15 kV.  
Aplicación: Medición.  
Tipo: Bobinado.



Clase: 25 kV., Aplicación: Medición-Protección., Tipo: Bobinado.



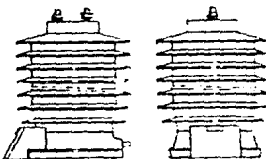
Clase: 34.5 kV.  
Aplicación: Medición-Protección  
Tipo: Bobinado.



Clase: 34.5 kV.  
Aplicación: Medición-Protección.  
Tipo: Bobinado.

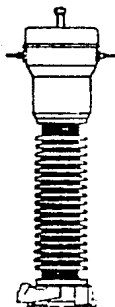


Clase: 34.5 kV., Aplicación: Medición-  
Aplicación: Medición-Protección.  
Tipo: Bobinado.

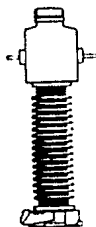


Clase: 46 kV., Aplicación: Medición-  
Protección., Tipo: Bobinado.

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, ALTA TENSION



Clase 69-230 kV.



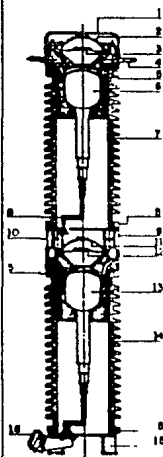
Clase: 34.5-115 kV.



Clase: 115-230 kV., Combinado (Potencial-Corriente).



Clase: 400 kV.



- 1 Domo Removable de Aluminio Anodizado.
- 2 Brida de Expansi3n Superior.
- 3 Disco Compensador Superior.
- 4 Terminales Primarios de Alta Tensi3n.
- 5 Brides de Sujeci3n.
- 6 Parte Activa Modulo Superior.
- 7 Aislador Superior de Porcelana.
- 8 Conexi3n Parte Superior con la Parte inferior.
- 9 Base interior Modulo Superior.
- 10 Virota de Aluminio.
- 11 Brida de Expansi3n inferior.
- 12 Disco Compensador inferior.
- 13 Parte activa Modulo inferior.
- 14 Aislador inferior de Porcelana.
- 15 Base de Acero Galvanizado.
- 16 Caja de Sellos Secundarias.

## APENDICE "B"

### DEFINICION DE VOCABLOS TECNICOS EMPLEADOS EN TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

- 1 **Altitud**  
Altura de un punto de la tierra con relación al nivel del mar. Generalmente se expresa en metros.
- 2 **Angulo de fase de un T.C'.**  
Es el ángulo comprendido entre el fasor de la corriente primaria y el fasor de la corriente secundaria, cuando éste último se defasa 180 grados.  
Se le designe con la letra griega (B) y se mide en minutos.  
Se considera positivo cuando el fasor secundario esté adelantado con respecto al fasor primario y negativo cuando esté adelantado.
- 3 **Arqueo**  
Es la descarga disruptiva que se produce a través del aire, alrededor o sobre la superficie de un aislamiento.
- 4 **Carga de un T.C'.**  
Es la impedancia que se conecta a las terminales del devanado secundario.
- 4 **Cargas nominales de precisión**  
Son las cargas con respecto a las cuales se especifican las clases nominales de precisión.
- 5 **Clases de aislamiento de los materiales**  
Son las establecidas por la Norma de Clasificación de Materiales Aislantes NOM-J-153, de acuerdo a la temperatura de trabajo que pueden soportar.
- 6 **Clases de precisión de medición**  
Son las establecidas por las Normas de Calidad de acuerdo a la precisión de los transformadores de Instrumento, cuando éstos se utilizan en la medición de energía.  
Se designan por el máximo error admisible en por ciento, que cada transformador puede introducir en la medición de potencia o de energía operando en condiciones normales.
- 7 **Clases de precisión de los T.C's.**  
Son las establecidas por las Normas, de acuerdo a la precisión de los T.C's., cuando éstos se utilizan con relevadores de protección.
- 8 **Clase de protección "C" para protección**  
Es la que comprende a los T.C's. destinados al servicio de aparatos de protección, y que tienen como característica principal, que la reactancia del devanado secundario debido a su flujo de dispersión es despreciable, y debido a esta causa, se puede calcular su funcionamiento en cuanto a precisión, mediante sus curvas de excitación, sin necesidad de someter al T.C. a una prueba de precisión real.
- 9 **Clases de precisión "I" para protección**  
Es la que comprende a los devanados de los T.C's. destinados al servicio de relevadores de protección, y que tienen como característica principal, que la reactancia del devanado secundario debido a su flujo de dispersión no puede ser determinada, y debido a esta causa, no se puede definir su funcionamiento en cuanto a precisión de la relación, utilizando las curvas de corriente de excitación, y por lo tanto es necesario determinar la precisión del T.C. con una prueba utilizando la obrecorriente que fija la Norma.
- 10 **Condiciones especiales de servicio**  
Son aquellas que difieren en las condiciones normales de servicio.
- 11 **Condiciones normales de servicio**  
Son las establecidas por las Normas de Transformadores para Instrumento, y que se utilizan para fijar las especificaciones, pruebas y el comportamiento de los mismos.
- 12 **Corriente de excitación**  
Es la que circula a través de un devanado cuando se le aplica una tensión a frecuencia nominal, manteniéndose los otros devanados en circuito abierto.
- 13 **Corriente nominal dinámica de cortocircuito**

- Es el valor eficaz de la componente alterna de una corriente primaria con una forma de onda completamente asimétrica, el cual el transformador es capaz de soportar, cuando su secundario está conectado en corto circuito.
- 14 Corriente nominal primaria ( $I_{1n}$ )  
Es el valor eficaz de la corriente primaria que se utiliza para establecer las especificaciones y el comportamiento de un T.C.
- 15 Corriente nominal secundaria ( $I_{2n}$ )  
Es el valor eficaz de la corriente secundaria, que se utiliza para establecer las especificaciones y el comportamiento de un T.C.
- 16 Corriente nominal térmica continua  
Es el valor eficaz de la corriente que puede circular continuamente por el devanado primario, sin que el incremento de temperatura en los devanados exceda el fijado para su clase de aislamiento.
- 17 Corriente nominal térmica de corto circuito  
Es el valor eficaz simétrico de la corriente, que puede circular durante un segundo por el devanado primario, cuando el secundario está conectado en corto circuito, sin que el incremento de temperatura en los devanados exceda el valor fijado para su clase de aislamiento.
- 18 Corriente primaria de un T.C. ( $I_p$ )  
Es la que circula por el devanado primario de un T.C., bajo las condiciones de operación. Se identifica por su valor eficaz y su ángulo de fase.
- 19 Corriente secundaria de un T.C. ( $I_s$ )  
Es la que circula por el devanado secundario y que éste entrega a los instrumentos conectados al mismo, cuando por el devanado primario del transformador circula la corriente primaria. Se identifica por su valor eficaz y su ángulo de fase.
- 20 Curva de corriente de excitación  
Es la trazada con el valor eficaz de la corriente de excitación, y el valor de la tensión que hace circular dicha corriente.
- 21 Densidad de corriente  
Es la relación del valor de la corriente entre el área de la sección transversal del conductor que transporta dicha corriente.
- 22 Descarga disruptiva  
Grupo de fenómenos asociados con la falta de aislamiento (arqueo, flamao y perforación) por el efecto de un campo eléctrico que implica una caída de tensión y el paso de corriente.
- 23 Devanado  
Es un conjunto de espiras que forman un circuito eléctrico asociado con una de las terminales o corrientes asignadas al transformador.
- 24 Efluvios  
Son las descargas debidas al efecto corona que aparecen alrededor de un punto o arista de un electrodado en el seno de un campo eléctrico no uniforme.
- 25 Error de ángulo de fase de un T.C.  
Es el ángulo de fase de un T.C.
- 26 Error de la relación  
Es la diferencia entre el factor de corrección de la relación (FCR) y la unidad, expresada en por ciento.  
$$e = (FCR - 1) 100$$
- 27 Error en la medición de potencia o energía (E)  
Es el cometido al considerar que el valor de la potencia o de la energía medida utilizando un transformador para instrumento y un wátmetro o wathorímetro, es igual al producto de los valores de la relación nominal de transformación y de la lectura del instrumento.
- 28 Factor de corrección de la relación (FCR)  
Es el factor por el cual se debe multiplicar la relación nominal de transformación para obtener la relación verdadera de transformación, bajo determinadas condiciones de operación de un T.C. Está dada por la siguiente fórmula:

$$FCR = \frac{K_v}{K_n}$$

En donde:

$K_v$ : Relación verdadera de transformación.  
 $K_n$ : Relación nominal de transformación.

29 Factor de corrección de transformación (FCT)

Es el factor por el cual se debe multiplicar a la relación nominal de transformación para corregir los errores, introducidos por un transformador para instrumento en la medición de energía o de potencia.

30 Factor de corriente nominal técnica continua

Es el factor especificado por el cual la corriente primaria de un T.C. puede multiplicarse para obtener la corriente nominal técnica continua. Cuando el valor de este factor es mayor de 1.2 se le conoce como factor de rango ampliado (FRA).

31 Falta de aislamiento

Es cuando se presenta una descarga disruptiva en un aislamiento.

32 Flanco

Descarga disruptiva que se produce a lo largo de la superficie de un aislamiento sólido, colocado dentro de un medio gaseoso o líquido.

33 Frecuencia nominal

La frecuencia que se utiliza para establecer las especificaciones y comportamiento de un transformador.

34 Incremento de temperatura

Es la diferencia que existe entre la temperatura de uno de los componentes de un transformador y una temperatura de referencia.

35 Nivel básico de aislamiento al impulso

Es el valor de tensión de cresta de una onda completa de impulso normalizada que el aislamiento de un transformador es capaz de soportar bajo condiciones de prueba de impulso normalizadas.

36 Nivel de aislamiento

Es el valor dado en kilovolts de una tensión igual a la máxima tensión entre fases del sistema o del circuito en que pueden utilizarse los transformadores pertenecientes a un nivel determinado.

37 Onda completa de impulso normalizada

Es la onda que tiene un tiempo de frente de 1.2 microsegundos y un tiempo de 50 microsegundos a la mitad del valor de cresta (1.2/50 s).

38 Origen convencional

Es la intersección con el eje de las abscisas de la recta que pasa por los puntos que corresponden al 20 y 90% del valor de cresta en el frente de la onda de impulso normalizada.

39 Perturbación

Descarga disruptiva que se produce a través de un medio aislante sólido.

40 Polaridad

Es la designación de la corriente que sale por una terminal del secundario con respecto a la dirección de la corriente que entra por una terminal del primario, para un instante dado.

41 Precisión de un transformador de instrumento

Es la característica de un transformador para instrumento que determina su clase de precisión conforme a la magnitud de los valores de los errores de relación y ángulo de fase.

42 Pruebas de prototipo

Son las que deben efectuarse al menos a un transformador de cada diseño, para demostrar que los transformadores construídos conforme a dicho diseño cumplen con las especificaciones de la Norma respectiva.

43 Pruebas de rutina

Son las que deben efectuarse a todos los transformadores.

44 Relación nominal de transformación de un T.C. ( $K_n$ )

Es la existente entre los valores de la

- corriente nominal primaria y la corriente nominal secundaria, y la cual se utiliza para establecer las especificaciones y el comportamiento de un transformador de corriente.
- 45 Relación verdadera de transformación de un T.C. (Kv).  
Es la existente entre los valores medidos de la corriente primaria y de la corriente secundaria de un T.C.
- 46 Servicio Intemperie  
Designación empleada para indicar que un equipo está diseñado para operar a cielo descubierto, sin techo u otra protección.
- 47 Servicio Interior  
Designación empleada para indicar que un equipo está diseñado para operar dentro de un alojamiento que lo protege de la Intemperie.
- 48 Temperatura ambiente  
Es la temperatura del medio que rodea a un equipo.
- 49 Tensión nominal del sistema  
Es la tensión eficaz entre líneas por la cual se designa el sistema.
- 50 Tiempo convencional de cola  
Es el intervalo de tiempo entre el origen convencional (virtual) y el instante en que la tensión de una onda de impulso cae a la mitad del valor de cresta.
- 51 Tiempo convencional de corte  
Es el intervalo de tiempo entre el origen convencional (virtual) y el instante convencional en que se produce el arqueo en una onda de impulso.
- 52 Tiempo convencional de frente  
Es el intervalo de tiempo entre el origen convencional (virtual) y el instante convencional en que la tensión alcanza el valor de cresta en una onda de impulso.
- 53 Transformador de corriente  
Es el transformador diseñado para suministrar la corriente adecuada en aparatos de medición, protección o ambos, en el cual la corriente secundaria en las condiciones normales de uso, es proporcional a la corriente primaria y defasada respecto a ella un ángulo cercano a cero.
- 54 Transformador de corriente de doble secundario  
Es aquél que tiene dos devanados secundarios cada uno en un circuito magnético separado y con ambos circuitos magnéticos excitados por el mismo devanado primario.
- 55 Transformador de corriente tipo boquilla  
Es aquél que tiene un núcleo toroidal y un devanado secundario aislado del núcleo y ensamblado permanentemente a él, pero que no cuenta con devanado primario ni con aislamiento para el mismo.  
Este tipo de T.C., se utiliza con un conductor totalmente aislado como devanado primario.  
Un T.C., tipo boquilla se usa donde el conductor primario es una parte componente de otro equipo.
- 56 Transformador de corriente tipo devanado  
Es aquél que tiene los devanados primario y secundario completamente aislados entre sí y del núcleo y permanentemente ensamblados formando una estructura integral. El devanado primario puede tener una o más vueltas.
- 57 Transformador de corriente tipo ventana  
Es aquél que tiene un devanado secundario aislado del núcleo y ensamblado permanentemente a él, pero que no cuenta con devanado primario.  
Está provisto con aislamiento completo o reducido para un devanado primario de una o más vueltas pase a través de la ventana.
- 58 Transformador de instrumento para medición  
Es el transformador utilizado para conectar se con instrumentos de medición, protección o ambos tales como transformadores de corriente, transformadores de potencial y transformadores defasadores.



59 Transformador patrón

Es aquí especialmente diseñado para servir de comparación en las pruebas de precisión de los transformadores para instrumento del cual se conocen sus errores absolutos y que conserva sus características prácticamente constantes.

60 Valores nominales

El conjunto de cantidades eléctricas y mecánicas asignadas a un equipo para definir sus condiciones de trabajo, y en las que se basan el diseño y las pruebas de dicho equipo.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Apéndice "C"

Protocolo de Pruebas de Rutina para T.C.T.s

PRODUCTO	PROVEEDOR		
REPORTE N.º	M.ATENCIÓN		
CANTIDAD	TIPO		
RELACION			
CLASE AISL.	KV	FRECUENCIA	Hz.
PRECISION TERM SEC	CARGA	CLASE	
PROBOS	REVISO	FECHA	
HOJA N.º	DE		

# TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

1 INSPECCION VISUAL				2 POLARIDAD									
P R U E B A S				D I E L E C T R I C A S				P R U E B A		S A T U R A C I O N			
PRIM. RESULTADO	KV. 4	SEC. RESULTADO	KV. 5	INDUCIDA	V	Hz.	CLASE PRECISION RESULTADO						
3 ERROR DE RELACION										N.º DE SERIE		NUMERO DE CALCOMANIA	
N.º DE SERIE	I %	LECTURA DE PUENTE		VALOR CORREGIDO		PRECISION		CLASE	CARGA	FASE	LOTE		
		RELACION	ANG. FASE	RELACION	ANG. FASE								
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
100													
10													
REL. PATRON ERROR PATRON ERROR DEL PUENTE													
OBSERVACIONES													