

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

PROYECTO DE NORMA PARA PRUEBAS DE  
TRANSFORMADORES

*Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero  
Eléctrico*

*Alejandro Aldás Saltos*

*Quito, Noviembre de 1.974.*

*CERTIFICO:*

*Que el presente trabajo  
fue elaborado en su to-  
talidad por el señor Ale-  
jandro Aldás Saltos.*



*Ing. Julio Jurado M.*

*DIRECTOR DE TESIS.*

AGRADECIMIENTO

*Al señor Ingeniero Julio Jurado M. Director de Tesis por su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.*

*A los señores Ingenieros Alfredo Mena, Paul Ayora, a mis compañeros Nelson Bedoya, Mario Barba y en general a todos los miembros del Departamento de Potencia de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, quienes en una u otra forma me prestaron su ayuda para la realización de las pruebas de un transformador de 100 KVA en los diferentes laboratorios.*

*A la señorita Silvia Béjar que muy gentilmente transcribió mecanográficamente los manuscritos originales.*

DEDICATORIA

*A mis queridos Padres  
Hermanos y Esposa.*

## INDICE GENERAL

Página

## CAPITULO I

## GENERALIDADES

1.1	Introducción .....	1
1.2	Objetivos .....	3
1.3	Finalidades .....	4
1.4	Contenido .....	5
1.5	Area de Aplicación .....	5

## CAPITULO II

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y  
DESCRIPCION DE UN TRANSFORMA  
DOR.

2.1	Definiciones .....	6
2.2	Análisis del Funcionamiento .....	6
2.2.1	El Transformador con el Secundario en Cir cuito Abierto .....	6
2.2.2	El Transformador Ideal .....	8
2.2.3	El Transformador Real .....	10
2.2.3.1	Pérdidas en el Transformador .....	10

## VI

		<i>Página</i>
2.2.3.2.	<i>Corriente en Vacío y Diagrama Vectorial</i>	16
2.2.4.	<i>El Transformador en Condiciones de Carga</i> .....	17
2.3.	<i>Circuito Equivalente</i> .....	20
2.4.	<i>Clasificación de los Transformadores</i> ....	21
2.5.	<i>Calentamiento y Refrigeración de Transformadores</i> .....	22
2.5.1.	<i>Calentamiento</i> .....	23
2.5.2.	<i>Refrigeración</i> .....	24
2.6.	<i>Descripción de un Transformador</i> .....	26
2.6.1.	<i>Núcleo</i> .....	26
2.6.2.	<i>Devanados</i> .....	27
2.6.3.	<i>Aislamiento</i> .....	27
2.6.4.	<i>Terminales</i> .....	27
2.6.5.	<i>Cambiador de Derivaciones</i> .....	28
2.6.6.	<i>Tanque</i> .....	29
2.6.7.	<i>Medio Refrigerante</i> .....	29
2.6.8.	<i>Detector de Presión de Gas</i> .....	29
2.6.9.	<i>Indicador de Flujo de Agua</i> .....	30
2.6.10.	<i>Indicador de Flujo de Aceite</i> .....	30
2.6.11.	<i>Indicador de Nivel de Aceite</i> .....	30
2.6.12.	<i>Termómetro</i> .....	31

### CAPITULO III

#### ACEITES AISLANTES Y GENERACION Y MEDIDA DE ALTAS TENSIONES.

3.1.	<i>Aceites Aislantes</i> .....	32
------	--------------------------------	----

3.1.1.	<i>Funciones y Características del Aceite Aislante</i> .....	32
3.1.2.	<i>Pérdida de las Características de los Aceites Aislantes</i> .....	33
3.1.2.1.	<i>Presencia de Humedad</i> .....	33
3.1.2.2.	<i>Oxidación</i> .....	34
3.1.2.3.	<i>Contaminación</i> .....	35
3.1.3.	<i>Disrupción en el Aceite</i> .....	35
3.2.	<i>Generación de Altas Tensiones</i> .....	37
3.2.1.	<i>Generación de Altas Tensiones Alternas</i> ..	38
3.2.2.	<i>Generación de Altas Tensiones Continuas</i> ...	40
3.2.3.	<i>Generación de Altas Tensiones de Impulsos</i> .....	40
3.3.	<i>Medidas en Alta Tensión</i> .....	43
3.3.1.	<i>Divisores de Tensión Capacitivos</i> .....	44
3.3.2.	<i>Medición Mediante Esferas Espinterométricas</i> .....	45

CAPITULO IV

CONDICIONES Y DESCRIPCION DE  
LAS PRUEBAS A QUE SE SOMETEN  
LOS TRANSFORMADORES

4.1.	<i>Alcance</i> .....	48
4.2.	<i>Condiciones de Servicio</i> .....	48
4.3.	<i>Potencia Nominal</i> .....	50
4.4.	<i>Símbolos de Identificación</i> .....	51

## VIII

		<i>Página</i>
4.5.	Arreglo de Símbolos .....	51
4.6.	Límites de Elevación de Temperatura ....	52
4.7.	Niveles de Aislamiento .....	53
4.8.	Tolerancias .....	59
4.9.	Requerimientos Generales para Pruebas <u>T</u> po y de Rutina .....	59
4.10.	Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite ( Prueba de Rutina) .....	60
4.11.	Medición de la Resistencia de Aislamiento (Prueba de Rutina) .....	60
4.12.	Medición de la Resistencia de los Bobina - dos (Prueba de Rutina) .....	61
4.13.	Medida de Relación de Voltaje y Chequeo de la Polaridad o Símbolo del Grupo Vecto rial (Prueba de Rutina) .....	62
4.14.	Medida del Voltaje de Impedancia (Prueba de Rutina) .....	63
4.15.	Medida de las Pérdidas con Carga (Prueba de Rutina) .....	63
4.16.	Medida de las Pérdidas y Corriente Sin Car ga (Prueba de Rutina) .....	64
4.17.	Prueba de Elevación de Temperatura (Prue ba Tipo) .....	66
4.17.1.	Medida de la Temperatura del Aire de En - friamiento .....	66
4.17.2.	Medida de la Temperatura del Agua de En - friamiento .....	67
4.17.3.	Medida de la Temperatura de los Bobinados.	67
4.17.4.	Medida de la Temperatura del Nivel Superior del Aceite .....	68

	<i>Página</i>
4.17.5. Duración de la Prueba .....	68
4.17.6. Elevación de Temperatura .....	69
4.17.7. Métodos de Prueba .....	71
4.17.8. Corrección de Temperatura por el Enfriamiento de Transformadores .....	72
4.18. Prueba de Voltaje Inducido (Prueba de Rutina) .....	73
4.19. Prueba de Voltaje Aplicado (Prueba de Rutina) .....	75
4.20. Prueba de Voltaje de Impulso de Onda completa (Prueba Tipo) .....	76
4.20.1. Preparación del Transformador Para la Prueba .....	77
4.20.2. Procedimiento de Prueba .....	77
4.20.3. Interpretación de los Resultados .....	78
4.21. Regulación y Eficiencia .....	79

## CAPITULO V

### JUSTIFICACION ADECUADA DE LOS ASPECTOS NORMATIVOS ELEGIDOS PARA CADA PRUEBA

5.1. Introducción .....	80
5.2. Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite ..	81
5.3. Medición de la Resistencia de Aislamiento ..	81
5.4. Medición de la Resistencia de los Bobinados	82
5.5. Medida de la Relación de Voltaje y Chequeo de la Polaridad o Símbolo del Grupo Vectorial .....	83

	<i>Página</i>
5.6.	<i>Medido del Voltaje de Impedancia</i> ..... 84
5.7.	<i>Medida de las Pérdidas Con Carga</i> ..... 84
5.8.	<i>Medida de las Pérdidas y Corriente Sin Carga</i> ..... 85
5.9.	<i>Prueba de Elevación de Temperatura</i> ..... 86
5.10.	<i>Prueba de Voltaje Inducido</i> ..... 88
5.11.	<i>Prueba de Voltaje Aplicado</i> ..... 89
5.12.	<i>Prueba de Voltaje de Impulso de Onda Completa</i> ..... 90

## CAPITULO VI

### PRUEBAS EFECTUADAS A UN TRANSFORMADOR DE "ECUATORIANA DE TRANSFORMADORES CIA.LTDA!"

6.1.	<i>Generalidades</i> ..... 92
6.2.	<i>Pruebas y Resultados de las Mismas</i> ..... 93
6.2.1.	<i>Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite</i> .. 93
6.2.2.	<i>Medición de la Resistencia de Aislamiento</i> .. 95
6.2.3.	<i>Medición de la Relación de Voltaje</i> ..... 97
6.2.4.	<i>Símbolo del Grupo Vectorial</i> ..... 99
6.2.5.	<i>Medida de las Pérdidas y Corriente Sin Carga</i> ..... 101
6.2.6.	<i>Medida de las Pérdidas Con Carga</i> ..... 102
6.2.7.	<i>Prueba de Elevación de Temperatura y Medición del Voltaje de Impedancia</i> ..... 103
6.2.8.	<i>Prueba de Voltaje Inducido</i> ..... 108

	<i>Página</i>
6.2.9. <i>Prueba de Voltaje Aplicado</i> .....	110
6.2.10. <i>Prueba de Impulso de Onda Completa</i> .....	111
6.3. <i>Conclusiones y Recomendaciones</i> .....	117
<i>Bibliografía</i> .....	120

## INDICE DE TABLAS

3.1.	Características de los Aceites Aislantes .....	33
3.2.	Factor de Corrección K .....	46
3.3.	Tensión Disruptiva Para Esferas Espinterométricas .....	47
4.1.	Valores Preferidos de Potencias Nominales Para Transformadores Trifásicos .....	50
4.2.	Letras Simbólicas .....	51
4.3.	Orden de Símbolos .....	52
4.4.	Límites de Elevación de Temperatura para Transformadores Tipo Seco .....	53
4.5.	Límites de Elevación de Temperatura Para Transformadores Sumergidos en Aceite .....	54
4.6.	Niveles de Aislamiento Para Bobinas y Partes de Conexión Diseñados para Pruebas de Voltaje de Impulso .....	55
4.7.	Valores Aplicables Solamente al Aislamiento Interno de Transformadores Sumergidos en Aceite .....	56
4.8.	Factor de Absorción .....	57
4.9.	Requerimientos Para la Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite .....	57
4.10.	Tolerancias .....	58
4.11.	Temperatura de Referencia .....	59
4.12.	Factor de Corrección de Temperatura .....	73
4.13.	Frecuencia y Tiempo de Duración de la Prueba de Voltaje Inducido .....	74

PROYECTO DE NORMA DE PRUEBAS DE  
TRANSFORMADORES

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción:

*Es más fácil producir una norma, controlarla o cumplirla que definir el correcto significado del término.*

*La dificultad esencial estriba en la pluralidad de los conceptos involucrados en la Normalización Técnica, de tal modo que se puede afirmar que hay tantas definiciones como definidores.*

*La International Organization (ISO) ha definido la Normalización Técnica en los siguientes términos:*

*"Normalización es el proceso de formular y aplicar reglas para un enfoque metódico a una actividad específica para el beneficio y con la cooperación de todos los interesados, y en particular para la promoción de una óptima economía integral, teniendo debidamente en cuenta las condiciones funcionales y los requisitos de seguridad".*

*"Está basada en los resultados consolidados de la ciencia, la tecnología y la experiencia. No determina solamente las bases para el desarrollo presente sino también para el futuro, y debe avanzar junto con el progreso".*

La definición de ISO, si bien es general no es aplicable a muchos casos de la Normalización Técnica, para dar solamente un ejemplo no es posible siempre contar con la cooperación de todos los interesados, por otra parte, no se destaca en esta definición algunos hechos fundamentales y que son los siguientes:

- 1.- Fundamentalmente, Normalización significa sistematización y racionalización.
- 2.- Lleva involucrado un cierto período de tiempo en el cual la norma es absolutamente vigente, o sea comprende un hecho estable dentro de la pluralidad y movimiento cambiante de modalidad ilimitada, que es la circunstancia del progreso.
- 3.- Como consecuencia de los dos hechos antes anotados, la Normalización comprende la fijación provisional de ciertas ideas y conceptos como base para el progreso futuro.
- 4.- La Normalización Técnica significa una consolidación de valores, que tiende a liberar energía necesaria para el logro de sistemas superiores de mayor eficacia, economía y racionalización.
- 5.- La cooperación de todos los interesados constituye un ideal y no un hecho práctico, pero en principio la Normalización y sus productos derivados son tanto más valiosos cuanto mayor es la integración del universo involucrado en su aceptación.

Nosotros en aras de la simplificación y para lograr un concepto manejable y práctico así como gráfico de la Normalización, la podríamos definir de la siguiente manera:

"Es la dirección científica aplicada a: la comunicación, el entendimiento e intercambio de ideas, mercaderías y servicios entre individuos y grupos".

Esta definición si bien encierra algunas omisiones de tiempo, de pluralidad y de coordinación, es sin embargo aplicable a la mayor parte de la práctica de la Normalización Técnica, sobre todo hace ver la profunda relación existente entre la dirección científica de una actividad económica y el intercambio de mercaderías y servicios.

## 1.2 Objetivos:

Como consecuencia de la revolución industrial, que hizo posible la fabricación de enormes series de productos idénticos, la Normalización Técnica se convirtió en el medio más importante para llegar a ese desarrollo, ya que, la creciente especialización de los procesos de fabricación, hizo necesario un completo acuerdo en las dimensiones, materiales y características de los diversos productos, así como en los métodos analíticos o de prueba para la verificación de esas características.

Los objetivos de la Normalización Técnica son justamente dirigidos a controlar los productos elaborados, para de esta manera obtener productos de niveles de calidad aceptables y repetitivos.

Los gobiernos y la industria han contabilizado los beneficios de la Normalización Técnica y han persistido en desarrollar sistemas para que las normas técnicas sean producidas y aplicadas en forma de constituirse en un resorte básico del desarrollo económico. Estos sistemas han consistido básicamente en un equilibrio de los sectores interesados a fin de lograr un punto común de acuerdo asentado sobre una sólida base científica y técnica.

### 1.3 Finalidades:

En todo Sistema Industrial o de Potencia, la función del transformador es de gran interés, ya que el buen funcionamiento de este, depende la continuidad del servicio.

La seguridad de una buena operación de los transformadores se respalda con una selección adecuada, el conocimiento que se tenga de su construcción y operación y del cumplimiento y control del programa de mantenimiento aplicado a los mismos.

Un programa de mantenimiento preventivo efectivo para los transformadores es aquel que permite controlar el estado de cada una de sus partes a través de datos tales como: temperatura, cargas de operación, condiciones de aislamiento, estado del líquido dieléctrico y del sistema de enfriamiento.

La calidad, confiabilidad e interpretación de los datos obtenidos, dependerá del conocimiento que se tenga del transformador y de la forma de desarrollar las pruebas que a él deben hacerse.

#### 1.4 Contenido:

*El propósito de este trabajo es el de tratar de aportar en mínima parte, en el aspecto teórico-práctico tanto del transformador como de las pruebas que se le aplique y la interpretación de los resultados que se obtengan.*

#### 1.5 Area de Aplicación:

*Con esta obra no se pretende inventar ni descubrir nada sobre la Industria Eléctrica, sino tan solo dar un aporte modesto a los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y a los ingenieros y personas conocedoras de la materia como una posible reglamentación, que esté de acuerdo con la realidad del país. En todo caso mi deseo es el de realizar una labor útil e iniciar un estudio que otros con más autoridad y competencia podrán completarlo.*

## C A P I T U L O   I I

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y DESCRIP CION DE UN TRANSFORMADOR

#### 2.1 Definiciones:

*El transformador es una máquina estática de inducción que transforma energía eléctrica en energía eléctrica de iguales o distintas características manteniendo constante la frecuencia.*

#### 2.2 Análisis del Funcionamiento:

##### 2.2.1 El Transformador con el Secundario en Circuito Abierto:

*En su forma más sencilla el transformador consta de dos devanados aislados, dispuestos de tal forma que la corriente en uno de ellos establece un flujo magnético que enlaza las espigas del otro como se indica en la figura 2.1. La f.e.m. inducida en el secundario tiene la frecuencia del primario y su amplitud es proporcional al flujo que barre el secundario y al número de espigas de este último.*

*Si suponemos al flujo mutuo, como un vector de magnitud constante y que rota con una velocidad  $\omega$ , la f.o.e.m. inducida en el primario, por la ley de Faraday valdrá:*

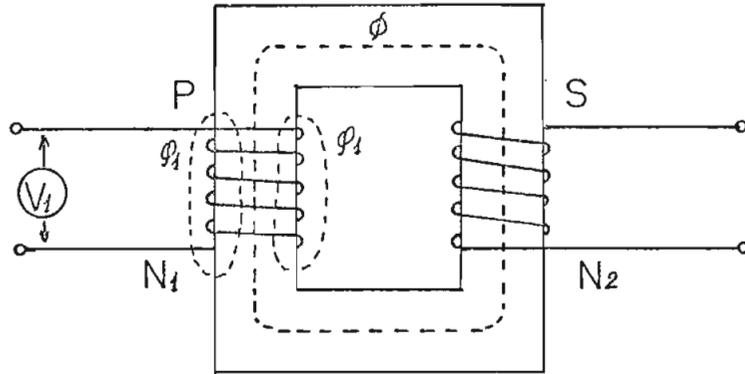


Fig. 2.1.- Esquema de un transformador con el secundario en circuito abierto.

$$\bar{E}_1 = - N_1 \frac{d\bar{\phi}}{dt} \quad (2-1)$$

Siendo  $\bar{\phi} = \phi \hat{i}$  (2-2)

Tenemos:  $\bar{E}_1 = - (N_1 \hat{i} \frac{d\phi}{dt} + N_1 \phi \frac{d\hat{i}}{dt})$  (2-3)

$$\bar{E}_1 = -j N_1 \phi \quad (2-4)$$

por lo que podemos concluir que  $\bar{E}_1$  atraza en  $90^\circ$  a  $\phi$ .

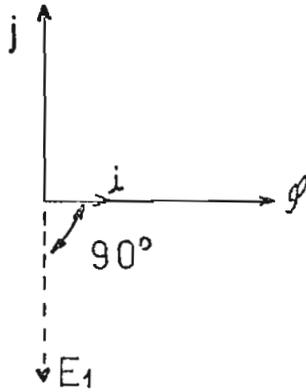


Fig. 2.2.- Diagrama vectorial de la ecuación. (2 - 4)

Por razonamiento similar tendremos que en el secundario:

$$\bar{E}_2 = -j N_2 \dot{\phi} \quad (2 - 5)$$

2.2.2.- El Transformador Ideal:

Transformador ideal, es aquel en el cual asumimos que:

- 1.- Todo el flujo está confinado en el núcleo y enlaza ambas bobinas.
- 2.- La resistencia de los bobinados es despreciable.
- 3.- Las pérdidas son despreciables.

4.- La permeabilidad del núcleo es tan alta que solamente una f.m.m. despreciable es requerida para establecer el flujo.

De acuerdo a las dos primeras suposiciones:

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2-6)$$

$$v_2 = e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2-7)$$

$$\text{entonces: } \frac{v_1}{v_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2-8)$$

De acuerdo a la suposición 4.

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = 0 \quad (2-9)$$

$$\text{luego: } -\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2-10)$$

Cuando el voltaje aplicado  $v_1$  es sinusoidal, las correspondientes relaciones de los fasores en estado estacionario serán:

$$\frac{\bar{V}_1}{\bar{V}_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2-11)$$

$$\text{y } \frac{\bar{I}_1}{\bar{I}_2} = -\frac{N_2}{N_1} \quad (2-12)$$

De las ecuaciones (2-11) y (2-12)

$$\frac{\bar{V}_1}{\bar{I}_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \frac{\bar{V}_2}{-\bar{I}_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z \quad (2-13)$$

$Z$  = Impedancia compleja.

2.2.3.- El Transformador Real:

2.2.3.1.- Pérdidas en el Transformador:

Las pérdidas en un transformador están formadas por tres componentes:

- 1.- Las pérdidas en el cobre.
- 2.- Las pérdidas por histéresis.
- 3.- Las pérdidas por corrientes parásitas.

1.- Pérdidas en el Cobre

La resistencia de un conductor es:

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (\text{ohmios}) \quad (2-14)$$

$l$  = longitud

$s$  = sección

$\rho$  = resistividad

La resistividad  $\rho$  es, a su vez, función de la temperatura del conductor, dada por:

$$\rho = \rho_0 \left(1 + \frac{t}{234.5}\right) \quad (2-15)$$

$t$  = Temperatura en  $^{\circ}\text{C}$

$\rho_0$  = Resistividad a  $0^{\circ}\text{C}$

De la ecuación (2-14) se deduce que si  $Rt_1$  y  $Rt_2$  son las resistencias de un conductor a las temperaturas  $t_1$  y  $t_2$ , respectivamente.

$$\frac{Rt_1}{Rt_2} = \frac{t_2 + 234.5}{t_1 + 234.5} \quad (2 - 16)$$

$$\text{entonces: } Rt_2 = Rt_1 \left( \frac{t_2 + 234.5}{t_1 + 234.5} \right) \quad (2 - 17)$$

## 2.- Pérdidas por Histéresis: Pag 66

Supongamos que la sección transversal de un núcleo de hierro es  $A$ , que la longitud de su circuito magnético es  $l$ , y que está devanado con una bobina de  $N$  espiras. A medida que la corriente de excitación varía cíclicamente, la f.e.m. inducida en el devanado es:

$$e = - N \frac{d\phi}{dt} \quad (2 - 18)$$

y la energía proporcionada en el intervalo  $dt$  será:

$$dW = (-e) i dt = N i d\phi \text{ julios} \quad (2 - 19)$$

que es proporcional a la superficie del elemento rayado en la Figura 2 - 3.

La energía neta consumida por ciclo completo queda representada por el área encerrada por el bucle, o sea:

$$W = \int_{-\phi_m}^{+\phi_m} N i d\phi \text{ julios} \quad (2 - 20)$$

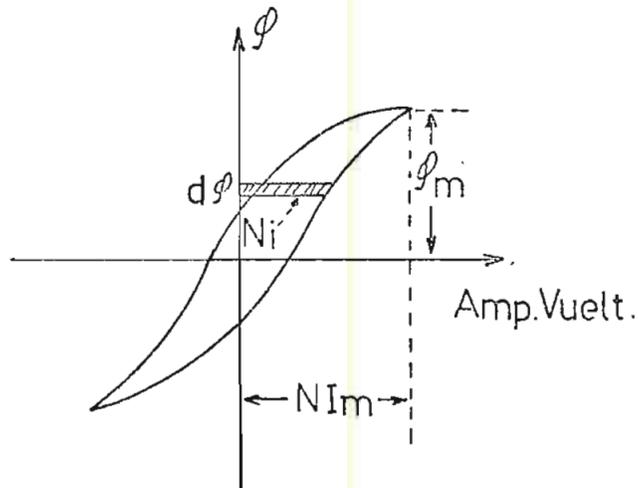


Fig.: 2 - 3 Lazo de Histéresis

En el sistema de unidades MKS racionalizadas,  $d\phi = A dB$  y  $Ni = Hl$ . Por tanto, la ecuación (2 - 20) puede escribirse:

$$W = A l \int_{-B_m}^{+B_m} H dB \text{ julios} \quad (2 - 21)$$

La integral que aparece en las ecuaciones (2 - 20) y (2 - 21) no puede resolverse por métodos matemáticos, porque la relación funcional entre las variables es desconocida.

Charles P. Steinmetz por experimentación descubrió que el área del lazo de histéresis es proporcional a  $B_m^x$ , tomando  $x$  valores entre 1.7 a 2.5.

El término  $A l$  en la ecuación (2 - 21) puede sustituirse por  $M/\delta$  donde:

$M =$  masa del núcleo

$\delta =$  densidad del material del núcleo

Por tanto, si la frecuencia de alternancia del flujo es  $f$  ciclos por segundo.

$$P_h = n \frac{M}{\delta} f B_m^x \text{ Watt.} \quad (2 - 22)$$

donde:

$P_h =$  Pérdidas por histéresis

$n =$  Constante de proporcionalidad característica del material del núcleo.

### 3.- Pérdidas por Corrientes Parásitas:

La Fig. 2.4 representa la sección transversal de un núcleo laminado, de espesor  $t$ , anchura  $ct$ , donde  $c$  es un factor considerablemente mayor que la unidad, y de longitud igual a la unidad, se supone que la densidad de flujo está uniformemente distribuida y su valor máximo es  $B_m$ .

La alternancia del flujo dentro del rectángulo interior Fig. 2.4, establecerá una f.e.m. la misma que dará origen a la corriente a considerar.

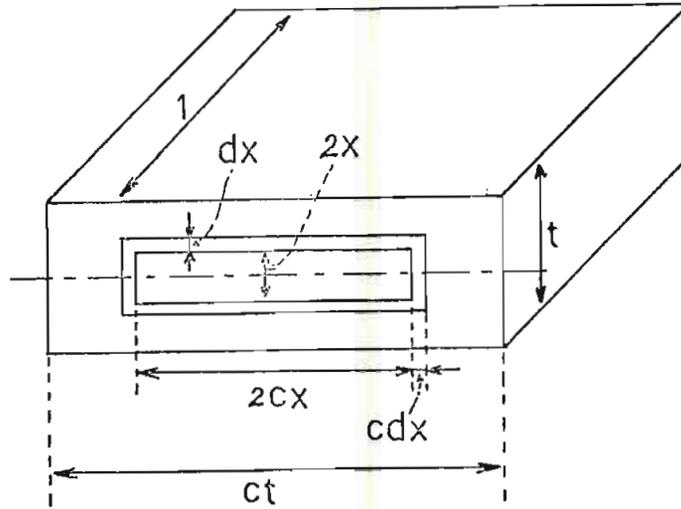


Fig. 2.4.- Camino ideal del flujo de corrientes parásitas.

El flujo máximo correspondiente al elemento de una espira es  $B_m \cdot 4cx^2$ , la variación total del flujo por ciclo será cuatro veces dicha cantidad, o sea,  $16 B_m cx^2$  y el flujo total cortado por segundo será  $16 f B_m cx^2$ , donde  $f$  es el número de ciclos por segundo. Expresando todas las cantidades en unidades MKS, la f.e.m. media inducida en el elemento será:

$$E_{med} = 16 f B_m c x^2 \quad (2 - 23)$$

y la f.e.m. eficaz será:

$$E = \frac{\pi}{2 \sqrt{2}} E_{med} = \frac{8 \pi}{\sqrt{2}} f B_m c x^2 \quad (2 - 24)$$

Esta f.e.m. actúa en el camino elemental cuya resistencia es:

$$\rho \left( \frac{4 c x}{d x} + \frac{4 x}{c d x} \right) = \frac{4 \rho x}{d x} \cdot \frac{c^2 + 1}{c} \quad (2 - 25)$$

las pérdidas en el elemento serán:

$$dP = \frac{E^2}{\frac{4 \rho x}{d x} \frac{c^2 + 1}{c}} = \frac{8 \pi^2 f^2 B_m^2 x^3 d x}{\rho} \frac{c^3}{c^2 + 1} \quad (2 - 26)$$

y las pérdidas totales

$$P_e = \frac{8 \pi^2 f^2 B_m^2}{\rho} \frac{c^3}{c^2 + 1} \int_0^{t/2} x^3 d x \quad (2 - 27)$$

$$= \frac{\pi^2 f^2 B_m^2}{8 \rho} \frac{c^3 t^4}{c^2 + 1}$$

El volúmen del hierro en que ocurren dichas pérdidas es:  $V = M/\delta = t. c. t. 1$ ; por tanto:

$$P_e = \frac{\pi^2}{8 \rho} \frac{M}{\delta} f^2 B_m^2 t^2 \frac{c^2}{c^2 + 1} \text{ Watt} \quad (2 - 28)$$

y puesto que  $c$  es mucho mayor que la unidad, puede su ponerse que:

$$\frac{c^2}{c^2 + 1} = 1 \quad (2 - 29)$$

$$\text{de donde: } P_e = \epsilon \frac{M}{\delta} f^2 B_m^2 t^2 \quad (2 - 30)$$

donde  $\epsilon$ , constante de proporcionalidad que hay que de  
terminar experimentalmente, suele ser considerablemente  
mayor que el valor teórico indicado. Esta diferencia en  
tre el valor real y el teórico de la constante se explica  
por el hecho de que la densidad de <sup>o</sup>flujo no se distribuye  
uniformemente sobre la sección transversal, sino que tien  
de a concentrarse hacia la superficie exterior de las cha  
pas.

#### 2.2.3.2.- Corriente en vacío y diagrama vectorial:

Una vez estudiadas las pérdidas en el transformador,  
debe considerarse que la corriente en vacío del primario  
 $I_0$  es la resultante de dos componentes;  $I_{h+e}$  en fase  
con la tensión aplicada, necesaria para vencer las pérdi  
das e  $I_{\phi}$  en fase con  $\phi_m$ , que es la verdadera corrien  
te magnetizante.

Existe un flujo magnético que tiene su camino princi  
palmente por el aire, el cual se llama flujo de dispersión  
 $\phi_1$ , y puede considerarse que es directamente proporcio  
nal a  $I_0$  que lo produce y en fase con ella. El flujo de  
dispersión induce en el primario una f.e.m. que se retra  
sa  $90^\circ$  con respecto a  $\phi_1$  y está indicada en la Fig. 2.5  
con una línea de trazos; la magnitud  $I_0 X_1$  representa la  
tensión necesaria para compensarla.

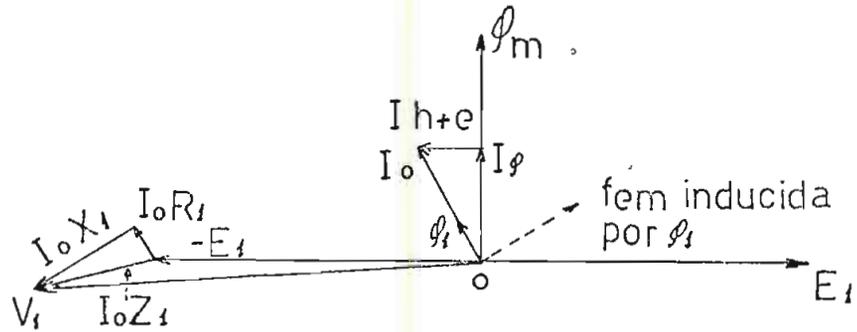


Fig. 2.5 Diagrama vectorial de un transformador con el secundario en circuito abierto.

Finalmente, al introducir la resistencia  $R_1$  del primario, la magnitud  $I_0 R_1$  es la caída de potencial en dicha resistencia.

2.2.4.- El Transformador en Condiciones de Carga:

Cuando el circuito exterior del secundario se cierra mediante la impedancia  $Z = R + jX$  en la Fig. 2.6, la f. e. m. inducida  $E_2$  establece en el secundario una corriente

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{E}_2}{(R_2 + R) + j(X_2 + X)} \quad (2 - 31)$$

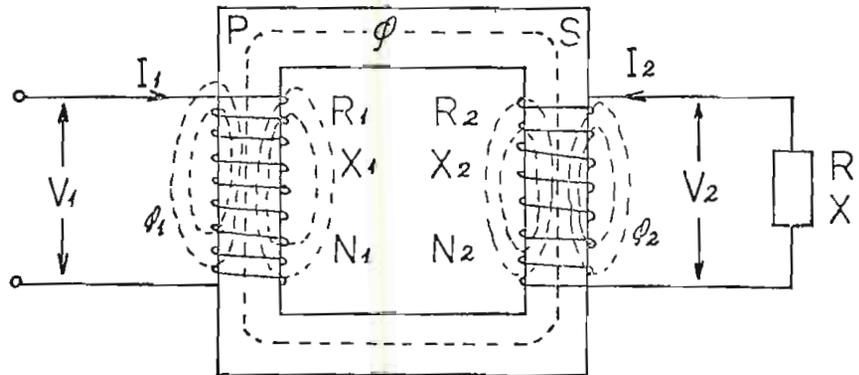


Fig. 2.6 Transformador en condiciones de carga.

que diferirá en fase con respecto a  $E_2$  en el ángulo  $\psi_2$  determinado por la ecuación:

$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{X_2 + X}{R_2 + R} \quad (2 - 32)$$

La relación de voltajes y espiras del primario y secundario es:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2 - 33)$$

que recibe el nombre de relación de transformación.

La Fig. 2.7 se ha trazado en base a la Fig. 2.5 pero la corriente de excitación  $I_0$  la hemos reemplazado por los amperios - vuelta de excitación del primario  $N_1 I_0$ ; los amperios - vuelta del secundario se representan por  $N_2 I_2$ , en fase con  $I_2$ ; así pues los amperios - vuelta del primario  $N_1 I_1$  deben trazarse de forma que  $N_1 I_0$ , sea la diagonal de un paralelogramo cuyos lados son:  $N_1 I_1$  y  $N_2 I_2$  o sea:

$$N_1 I_1 + N_2 I_2 = N_1 I_0 \quad (2 - 34)$$

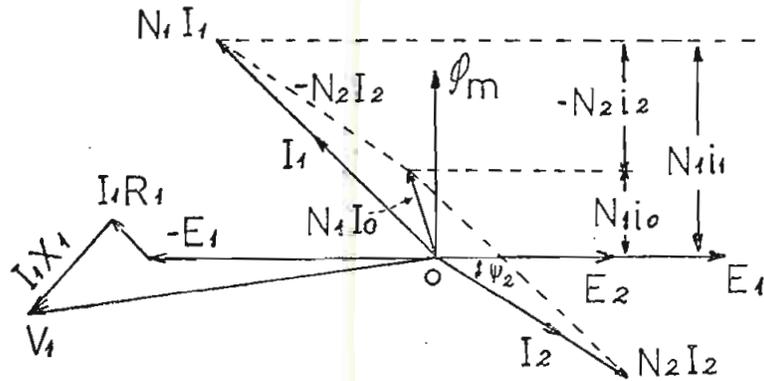


Fig. 2.7 Diagrama vectorial de un transformador en condiciones de carga.

Este procedimiento difiere de muchos trabajos antiguos, en los que se suponía que cada f.m.m. actuaba independientemente, combinándose después los flujos para proporcionar una resultante, método que puede conducir a resultados erroneos si los flujos están en la escala de la saturación.

2.3. - Circuito Equivalente:

Cuando un transformador trabaja en condiciones de carga, es necesario tomar en consideración los efectos de la corriente de excitación, pérdidas en el núcleo, resistencias de las bobinas y el flujo de dispersión.

Estos elementos están considerados por la conductancia  $G_0$ , la susceptancia  $B_0$ , resistencias  $R_1$  y  $R_2$  y reactancias de dispersión  $X_1$  y  $X_2$

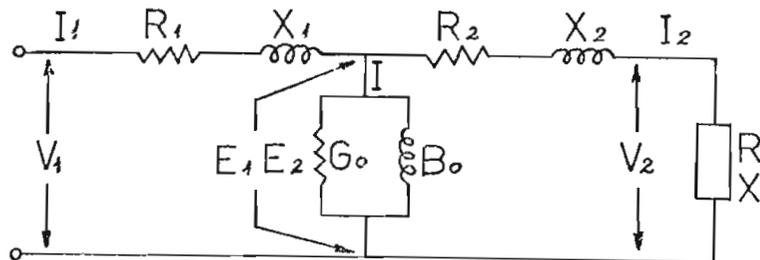


Fig. 2.8 Circuito equivalente de un transformador

En el estado estacionario, al voltaje  $V_1$  se oponen tres fa

sores de voltaje: la caída  $I_1 R_1$  en la resistencia del primario, la caída  $I_1 X_1$  en la reactancia de dispersión del primario, y la f.c.e.m.  $E_1$  inducida en el primario por el flujo mutu resultante.

Todos estos voltajes están apropiadamente incluidos en el circuito equivalente.

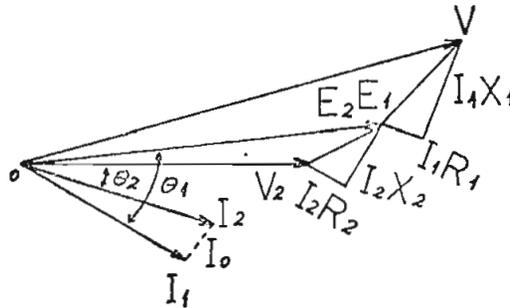
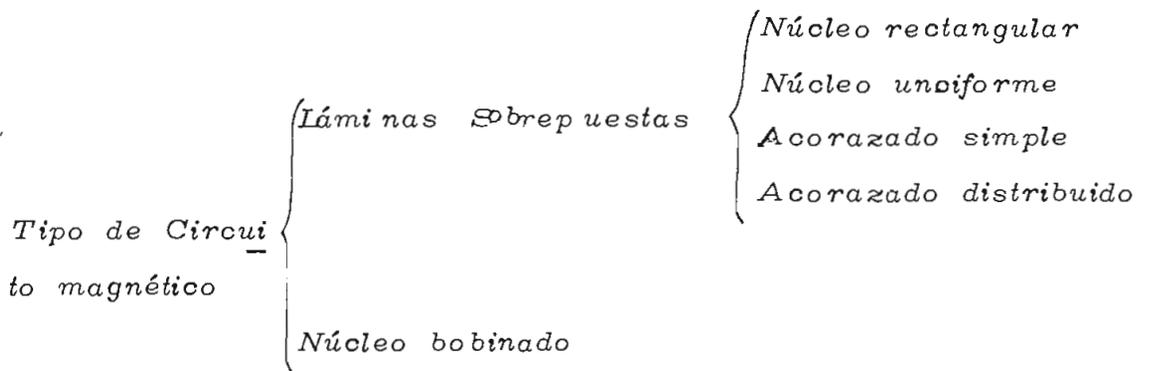
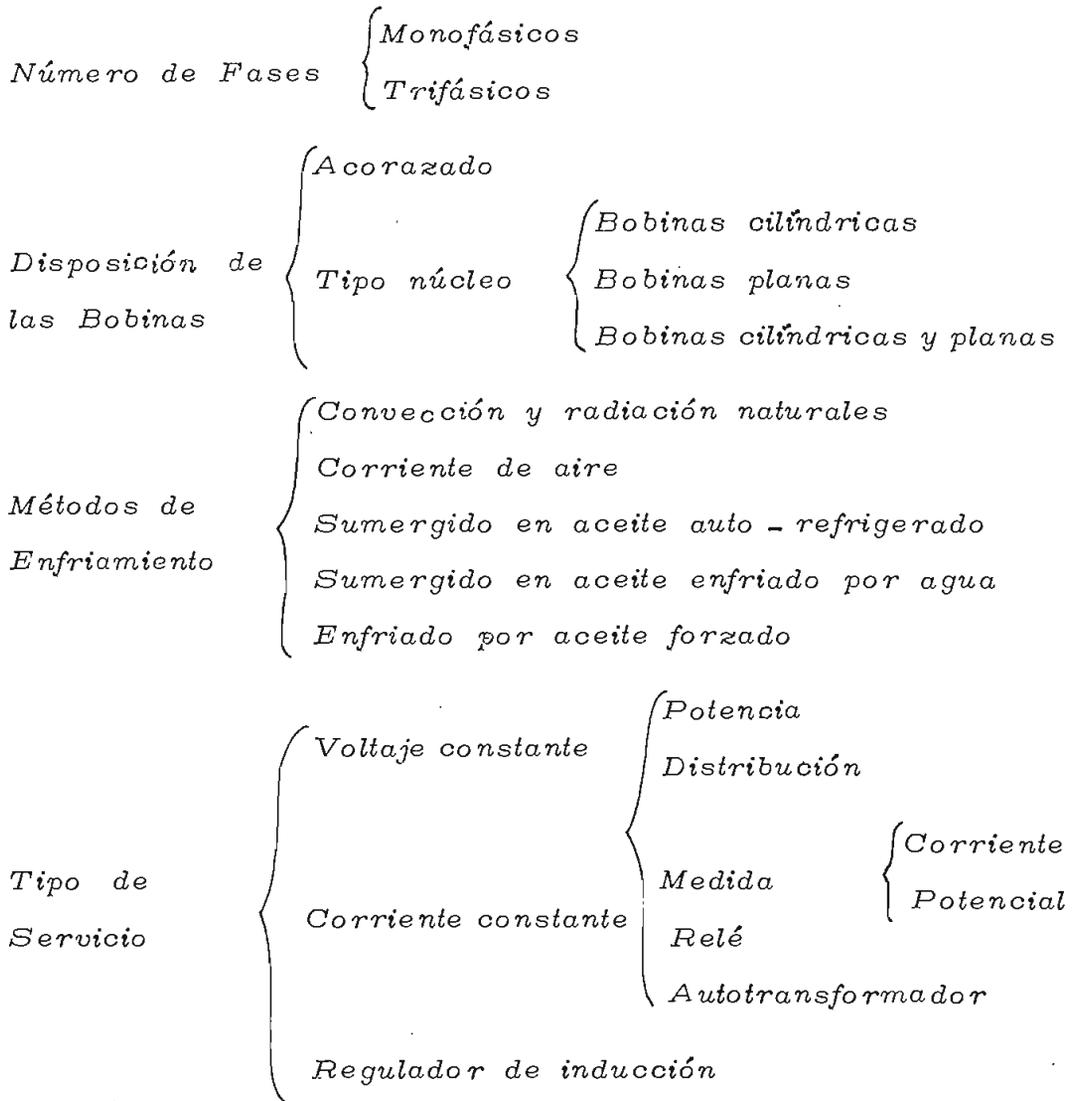


Fig. 2.9 Diagrama vectorial del circuito equivalente.

2.4.- Clasificación de los transformadores:





2.5.- Calentamiento y Refrigeración de Transformadores:

El cálculo exacto de las temperaturas en el núcleo y de vanados de un transformador es prácticamente imposible a causa de la compleja naturaleza de la estructura y también a diversos factores muy difíciles de analizar; sin embargo es posible deducir ecuaciones que contengan algunos de los factores más importantes.

2.5.1.- Calentamiento:

Supongamos que  $P$  en vatios representa el régimen  $\mathcal{L}$  que se libera la energía térmica, además:

$\sigma$  = calor específico de la sustancia expresada en los julios necesarios para elevar 1 Kgr. en  $1^{\circ}\text{C}$ .

$A$  = superficie radiante en  $\text{cm.}^2$  cuadrados.

$w$  = masa del cuerpo, kilos.

$\alpha$  = emisividad = vatios radiados por  $\text{cm.}^2$  cuadrado de superficie radiante por diferencia en  $^{\circ}\text{C}$  de temperatura entre el cuerpo y el medio ambiente.

$\theta$  = temperatura del cuerpo en  $^{\circ}\text{C}$  en cualquier tiempo dado  $t$ .

$\theta_0$  = temperatura del cuerpo en  $^{\circ}\text{C}$  cuando  $t = 0$  suponiendo que sea la misma que la temperatura del medio ambiente.

Durante un intervalo de tiempo  $dt$ ; la energía liberada en julios será igual a la absorbida por el cuerpo más la radiada, o sea:

$$P dt = \sigma w d\theta + \alpha A (\theta - \theta_0) dt \quad (2 - 34)$$

de donde:

$$\int_0^t dt = \int_0^{\theta} \frac{\sigma w d\theta}{P - \alpha A (\theta - \theta_0)} \quad (2 - 35)$$

y la elevación de temperatura durante el tiempo  $t$  es:

$$\Theta - \Theta_0 = \frac{P}{\alpha A} (1 - e^{-(\alpha A / \sigma w) t}) \quad (2 - 36)$$

La ecuación (2 - 36) demuestra que después de un tiempo teóricamente infinito, la elevación de temperatura es:

$$\Theta - \Theta_0 / t = \infty = \frac{P}{\alpha A} \quad (2 - 37)$$

que al escribirse  $P = \alpha A (\Theta - \Theta_0)$  demuestra de que cuando la temperatura alcanza su valor constante final, el régimen de producción de calor es igual al de disipación.

Prácticamente esta condición puede llegar a 24 horas para grandes transformadores auto - refrigerados.

### 2.5.2. - Refrigeración:

En este caso no se desarrolla calor y la ecuación (2 - 34) toma la forma:

$$0 = \sigma w d + \alpha A (\Theta - \Theta_0) dt \quad (2 - 38)$$

Si la temperatura del cuerpo es  $\Theta_1$  cuando  $t = 0$

$$\int_0^t dt = - \frac{\sigma w}{\alpha A} \int_{\Theta_1}^{\Theta} \frac{d\Theta}{\Theta - \Theta_0} \quad (2 - 39)$$

de donde:

$$\Theta - \Theta_0 = (\Theta_1 - \Theta_0) e^{-(\alpha A / \sigma w) t} \quad (2 - 40)$$

que es la ecuación de la curva de enfriamiento.

Si se supone que el enfriamiento empieza a la temperatura igual a la final de calentamiento, esto es,

$\Theta_1 - \Theta_0 = (\Theta - \Theta_0) t = \infty$ , se deduce, según la ecuación (2 - 37) que la ecuación de enfriamiento toma la forma.

$$\theta - \theta_0 = \frac{P}{A} e^{- (\alpha A / \sigma w) t} \quad (2 - 41)$$

que es igual a la parte variable de la ecuación (2 - 36), salvo el cambio de signo, por lo tanto las curvas de calentamiento y enfriamiento tienen la misma forma logarítmica, como se muestra en la Fig. 2.10

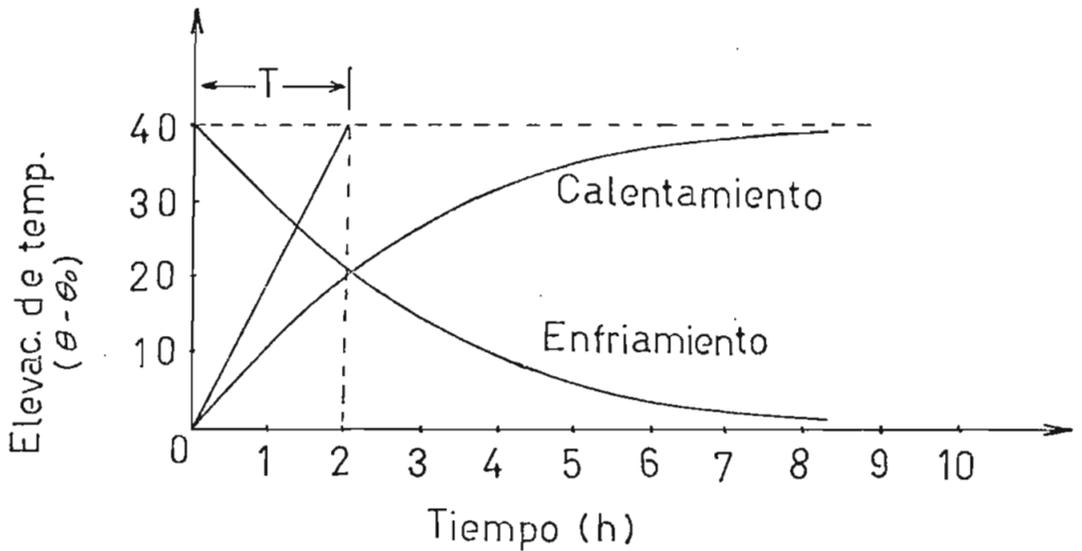


Fig. 2.10 Curvas de calentamiento y enfriamiento.

Diferenciando la ecuación (2 - 36) y sustituyendo  $t = 0$  en el resultado tendremos; que la pendiente de la curva de calentamiento en el origen es:

$$\left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0} = \frac{P}{\sigma w} \quad (2 - 42)$$

001608

es decir que depende de la masa y material del cuerpo, pero no de sus cualidades de radiación.

La elevación límite de la temperatura  $P/\mathcal{L}A$  se alcanzaría en un tiempo

$$T = \frac{\sigma w}{\mathcal{L}A} \text{ seg.} \quad (2 - 43)$$

que se llama "Constante de tiempo de la temperatura" del cuerpo.

Cobre  $\sigma = 388$

Aceite  $\sigma = 197$

Hierro  $\sigma = 476$

## 2.6.- Descripción de un Transformador:

### 2.6.1.- Núcleo:

En la construcción de núcleos, se emplea en su mayoría láminas de acero con 4% de silicio; por la facilidad de manipulación, pérdidas pequeñas por histéresis y por corrientes circulantes y gran permeabilidad a inducciones magnéticas relativamente altas.

Existen dos clases de núcleos:

El tipo acorazado, en el cual las bobinas son abrazadas por el núcleo.

El tipo "núcleo", en el cual las bobinas abrazan al núcleo.

2.6.2.- Devanados:

Los devanados consisten en bobinas fabricadas sobre hormas, impregnadas en barniz aislante, y cubiertas de cinta aislante, tratadas al vacío. En los transformadores pequeños de baja tensión, se emplea hilo redondo, pero en los transformadores grandes, los conductores suelen ser barras rectangulares.

Los devanados van colocados sobre el núcleo, estando más próximo a la laminación el devanado de menor voltaje y sobre este el devanado de mayor voltaje; si la tensión es de algunos miles de voltios, suele emplearse bobinas en forma de disco circular separadas con material aislante para facilitar la refrigeración.

2.6.3.- Aislamiento:

El material empleado para aislar los elementos del núcleo, depende de la capacidad del transformador; así en transformadores pequeños es suficiente con una película de óxido por cada lado de la lámina; en transformadores grandes es necesario poner una capa de barniz.

Los elementos que sujetan mecánicamente la laminación, van aislados del núcleo por medio de tubos de micarta.

2.6.4.- Terminales:

Los terminales de conexión de los transformadores son generalmente de dos tipos:

- 1.- Las zapatas terminales, que son del tipo de placa y se emplean para baja tensión (menos de 600 V).
- 2.- Las boquillas terminales, se utilizan para altos voltajes. Estas boquillas se construyen de material cerámico, su interior es hueco en el cual se encuentra uno de los terminales de las bobinas; en el hueco suele ir alojada una lámina enrollada, con esto se tiene un condensador, lo que da lugar a un campo magnético uniforme en la boquilla.

#### 2.6.5.- Cambiador de Derivaciones (Taps):

Se emplea para suprimir o aumentar el número de espiras o bobinas de un devanado, con lo que se obtiene más o menos estable la tensión requerida; los derivadores son generalmente colocados en el devanado de alta tensión, por ser este el devanado exterior.

Pueden ser de dos tipos:

- 1.- Cambiador de derivaciones sin carga.

Se utilizan cuando el transformador puede desconectarse de la línea, su operación es generalmente manual.

- 2.- Cambiador de derivaciones con carga.

Estos cambiadores se diseñan para trabajar bajo carga, puesto que debe alimentar continuamente la carga aún en el período cuando el derivador está cambiando.

El mecanismo es accionado por un motor.

#### 2.6.6.- Tanque:

Los transformadores que emplean como medio refrigerante los líquidos, deben tener un núcleo y devanados necesariamente encerrados en tanques que alojen al refrigerante.

En transformadores grandes se monta sobre el tanque un tambor horizontal llamado "conservador de aceite", el cual se conecta al tanque por medio de un tubo; en la parte superior de este existe una abertura de respiración, el cual va equipado con un filtro químico "silica gel", que quita al aire impurezas y humedad.

También se provee al transformador de un tubo cerrado por un diafragma, que puede romperse evitando la explosión del tanque.

#### 2.6.7.- Medio Refrigerante:

En los transformadores pequeños, es relativamente grande la superficie frente al volúmen, por lo tanto la refrigeración por radiación y por convección natural suelen ser suficientes.

Sin embargo, al aumentar el tamaño de un objeto, el volúmen crece con el cubo de sus dimensiones lineales, mientras que el área lo hace con el cuadrado.

Por lo tanto hay que proveer medios artificiales para facilitar la refrigeración; esto se logra dotando de conductos de ventilación a los devanados, aumentando las dimensiones de radiación del tanque y adicioando líquidos que ayuden a una rápida disipación del calor.

2.6.8.- Detector de Presión de Gas:

Este dispositivo se emplea en transformadores que tienen tanque conservador de aceite, en caso de sobrecarga crítica se provoca un aumento de presión en el tanque, lo que detecta el relevador y hace sonar una alarma.

Si existe una falla, la presión será alta, entonces el relevador envía una señal al interruptor para que saque de servicio al transformador.

2.6.9.- Indicador de Flujo de Agua:

Se emplea en transformadores que tienen enfriamiento por circulación forzada de agua, su operación la realiza cuando no hay circulación de agua, haciendo sonar una alarma.

2.6.10.- Indicador de Flujo de Aceite:

Este dispositivo se emplea en transformadores, que como parte de su enfriamiento, tienen circulación forzada de aceite.

En ausencia de circulación de aceite, opera haciendo sonar una alarma.

2.6.11.- Indicador de Nivel de Aceite:

Se emplea para indicar si existe cantidad suficiente de aceite para el enfriamiento del transformador, permitiendo además, la detección de una falla en el sistema de bombeo o una rotura del tanque.

2.6.12.- Termómetro:

Se utiliza para conocer la temperatura del aceite, normalmente los termómetros tienen consigo una aguja de arrastre, la cual indica la temperatura máxima alcanzada en un cierto período.

## C A P I T U L O   I I I

### ACEITES AISLANTES Y GENERACION Y MEDIDA DE ALTAS TENSIONES

#### 3.1.- Aceites Aislantes:

##### 3.1.1.- Funciones y Características del Aceite Aislante:

*El aceite aislante de los transformadores cubre primordialmente las siguientes funciones:*

- a.- Proporciona un aislamiento eléctrico de y entre las partes energizadas.*
- b.- Permite transferir el calor generado en los devanados al medio refrigerante.*

*Por estos motivos debe tener:*

- 1.- Alta resistencia dieléctrica.*
- 2.- Libre de ácidos inorgánicos alcalis y azufre (para evitar daño al aislamiento de los conductores).*
- 3.- Baja viscosidad (para transferir bien el calor).*
- 4.- Buena resistencia a la emulsificación (para evitar el peligro que ocasionaría el agua en suspensión).*
- 5.- Que no cree lodos en condiciones normales de operación.*

*La alteración de alguna de estas características se reflejan cuando se somete el aceite a la prueba de rigidez dieléctrica.*

Las características más importantes de los aceites se dan a continuación en la tabla 3.1.

TABLA 3.1

Características de los Aceites Aislantes

Acidez	0,05 mg KOH/gr.
Rigidez dieléctrica (20°C)	15 KV/mm.
$\text{tg } \delta$ (50 c/s)	$10 \times 10^{-4}$
$\epsilon_r$ (20°C)	2.2
Resistividad (20°C)	$100 \times 10^{12} \Omega \text{ cm.}$
Peso Específico (20°C)	0.8 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de agua	$5 \times 10^{-3} \%$

3.1.2.- Pérdida de las Características de los Aceites Aislantes:

El aceite aislante es un compuesto orgánico muy complejo que puede perder sus características fundamentales como aislante por tres razones importantes que son: presencia de humedad, oxidación y contaminación.

3.1.2.1.- Presencia de Humedad:

La humedad en el aceite y en los devanados se presenta en suspensión o en solución.

En el primer caso no se mezcla en forma molecular con el aceite, pero ioniza los ácidos compuestos propios del aceite ocasionando en esta forma que baje su poder dieléctrico.

Por otra parte, el agua en solución que se mezcla con el aceite, tiene normalmente una concentración de 0,002% y el punto de saturación es de 0.005%.

Aún a la concentración del punto de saturación, el agua no influye en el poder dieléctrico del aceite, pero si la temperatura del aparato desciende, la humedad en la solución se precipita formando una suspensión que si puede influir en el poder dieléctrico.

Lo anterior indica que la presencia de pequeñas cantidades de agua en el aceite y en los devanados (cuyos aislamientos están impregnados de aceite), origina que decrezcan considerablemente sus propiedades como aislante.

### 3.1.2.2.- Oxidación:

Al combinarse el oxígeno del aire con el aceite se forman ácidos, dióxidos de carbono, peróxidos y un sedimento formado por productos gomosos con partes granuladas.

El dióxido de carbono escapa, y la parte en solución no afecta la composición del aceite. Los peróxidos son inestables y suelen descomponerse devolviendo el oxígeno, pero de cualquier forma no deterioran la composición básica del aceite ni sus propiedades.

El efecto más dañino de la oxidación del aceite es la formación de ácidos orgánicos, que atacan los aislantes y que se combinan con el propio aceite. Los primeros compuestos formados por la reacción de los ácidos con el aceite, permanecen en solución y los siguientes se van precipitando formando el llamado sedimento.

La rapidez con que se oxida un aceite, depende de su temperatura y existe aproximadamente la relación del doble de oxidación por cada 10° C de aumento de temperatura.

Los ácidos formados en el aceite atacan directamente los aislamientos hechos a base de celulosa, papel cartón y materiales orgánicos similares, los cuales van perdiendo poco a poco sus características. En resumen puede decirse que la presencia de ácidos en el aceite aislante acorta la vida de los aislamientos y por consiguiente la de los transformadores.

### 3.1.2.3.- Contaminación:

La contaminación del aceite suele ser accidental, por ejemplo puede suceder al manejarlo con mangueras de hule, o ponerlo en contacto con otros materiales o sustancias solubles en el aceite.

Podemos considerar también como una contaminación la formación de pequeñas partículas de carbón al producirse un arco eléctrico dentro del aceite como consecuencia de una falla de aislamiento. Estas partículas de carbón en suspensión bajan el poder dieléctrico del aceite.

### 3.1.3.- Disrupción en el Aceite:

Los fenómenos de perforación dieléctrica, es decir, la producción de chispas y arcos en el aceite, son parecidos a los de la descarga en el aire, en cuanto a la dependen-

oia que existe entre la tensión de perforación y la forma de los electrodos o la distancia entre ellos, de lo cual no debe, sin embargo, deducirse que se trate de un mismo fenómeno en ambos casos. Los conceptos físicos sobre la naturaleza de las descargas en un medio líquido no están aún perfectamente claros. Existen sobre el particular varias teorías, algunas de las cuales consideran que el proceso de la descarga se produce a causa de fenómenos de ionización, y otras que admiten una descarga de naturaleza térmica.

La hipótesis de INGE NIKURADSE supone una descarga de proceso térmico. Cuando la intensidad de campo eléctrico en una burbuja gaseosa alcanza cierto valor, ésta se ioniza y la superficie líquida envolvente se calienta. A determinada tensión el líquido hierve, se vaporiza y la burbuja aumenta de tamaño, de tal modo que al cabo de sucesivos incrementos de volumen del gas ionizado, se produce la descarga total.

De acuerdo con JOFFE', KURCHATOFF y SINJELNI - KOFF: cuando el líquido contiene burbujas de aire, las descargas de ionización por choque se presentan a partir de una intensidad de campo. El haz de partículas cargadas, así constituido, actúa como una punta metálica en cuyo extremo se presente una intensa concentración de campo, ionizando el líquido circundante, con lo cual aparece la descarga por chispas.

Todas las teorías actuales deben considerarse como meras hipótesis, ya que no consiguen explicar íntegramente el conjunto de fenómenos.

Prácticamente, el aceite contiene en suspensión fibras, humedad y gases, y, como consecuencia, la rigidez dieléctrica, en comparación con la del aceite puro, queda fuertemente reducida.

Numerosas experiencias han demostrado que, como era de esperar, las fibras sometidas a la acción del campo eléctrico se alinean en forma de puentes, siendo atraídas hacia las zonas de máxima intensidad de campo. Con distancias moderadas entre los electrodos, estos puentes pueden llegar a cubrir el espacio que los separa. La Fig. 3.1 muestra claramente un ejemplo.



Fig. 3.1 Puente de Fibras en el Aceite.

### 3.2. - Generación de Altas Tensiones:

Los altos voltajes son usualmente usados en instalaciones de prueba, en laboratorios de investigación especial, en ciertos procesos industriales y en la transmisión de energía a grandes distancias.

Aquí nos referiremos solamente al caso de laboratorios de prueba e instalaciones especiales. El objeto de estos laboratorios es hacer ensayos de transformadores, equipos de maniobra, bushings, cables, etc. con el objeto de determinar, de acuerdo a ciertas normas, la calidad y confiabilidad de un equipo específico.

También es importante el trabajo de investigación que puede hacerse en estos laboratorios, desarrollo de nuevos y mejores aislantes, física de las descargas, aceleración de las partículas, etc.

### 3.2.1.- Generación de Altas Tensiones Alternas:

El voltaje de prueba se genera usualmente mediante un transformador de elevación.

El transformador de prueba es de características especiales que lo diferencian notablemente de los transformadores de potencia.

El aislamiento requerido no es mucho mayor que el que se requiere para su tensión nominal pues nunca se verá sometido a sobretensiones atmosféricas o de maniobra pero en cambio la disposición de los arrollamientos de alta tensión deberá ser hecha de tal modo que soporte los esfuerzos mecánicos cuando se produce un corto-circuito (perforación o descarga en la muestra).

Usualmente este devanado es muy ancho y en capas horizontales.

El transformador de pruebas es usualmente monofásico y con uno de los extremos puesto a tierra. Casi todos los objetos de prueba son sometidos a una tensión con respecto a tierra. Esto facilita muchas veces el aislamiento, ya que este puede ser hecho en forma gradual.

Las conexiones de los transformadores varían notablemente de acuerdo a su utilización.

La más simple es indudablemente la de la Fig. 3.2 en la que se tiene un devanado primario para baja tensión y uno secundario para alta tensión.

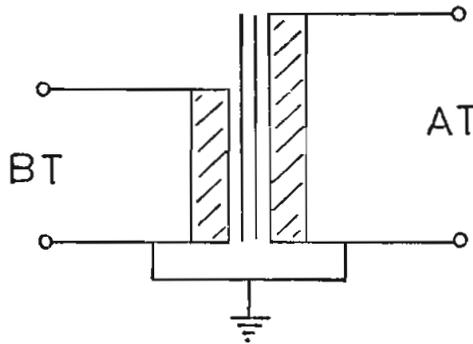


Fig. 3.2 Diagrama de Conexión.

La tensión de salida de un transformador de prueba debe poder regularse en pasos muy finos desde cero hasta el valor máximo, para esto se necesita regular la tensión primaria y se lo hace con transformadores de regulación o mediante grupos motor-generador sincrónico.

Los transformadores de regulación, tienen un censor con escobilla de carbón que se desplaza longitudinalmente a lo largo del devanado secundario consiguiéndose una regulación en pasos menores que 1% de la tensión nominal.

### 3.2.2.- Generación de Altas Tensiones Continuas:

El voltaje de prueba se produce generalmente por medio de rectificadores o generadores electrostáticos.

Antiguamente se usaban rectificadores mecánicos de agujas y tubos de vacío para obtener tensiones continuas, pero las complicaciones que estos dispositivos causaban han hecho que sean totalmente desplazados por elementos en estado sólido.

Actualmente se pueden obtener grandes eficiencias con rectificadores formados por células de selenio o cilicio.

Dependiendo de las necesidades de prueba se utilizan varios circuitos de generación de tensión continua. Estos están formados básicamente por un transformador elevador, el equipo de rectificación y condensador de aplanamiento.

A continuación se dá el diagrama de rectificación monofásica de media onda en la Fig. 3.3.

### 3.2.3.- Generación de Altas Tensiones de Impulsos:

Los equipos eléctricos que forman parte de una instalación pueden estar sujetos a sollicitaciones de carácter transitorio muy rápido provocadas por descargas atmosféricas.

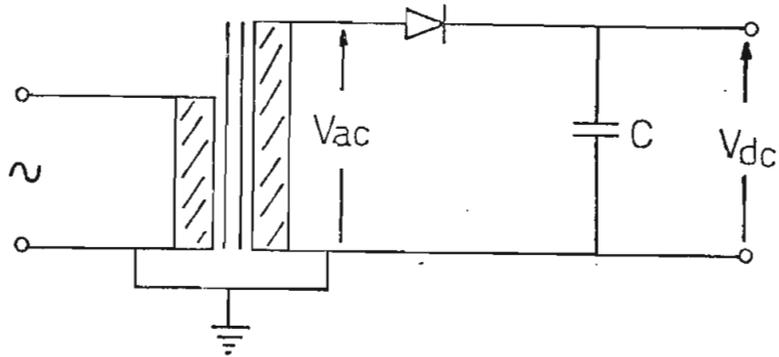


Fig. 3.3 Diagramo de Conección.

Desde el momento que se inicia la descarga hasta el momento en que llega a su valor más alto transcurre un tiempo de apenas unos microsegundos lo que supone gradientes de elevación de potencial sumamente grandes (KV/ $\mu$ seg.)

Para diseñar los aislamientos, proteger instalaciones, observar y estudiar el comportamiento de equipos etc. es necesario producir tensiones en el laboratorio que se asemejen a la que continuamente se producen en la realidad.

El impulso estándar es un impulso completo que tiene un tiempo de frente de onda de 1.2  $\mu$ seg. y un tiempo de amplitud media de 50  $\mu$ seg. Se describe como un impulso de 1.2/50.

La Fig. 3.4 muestra la forma de la onda de impulso.

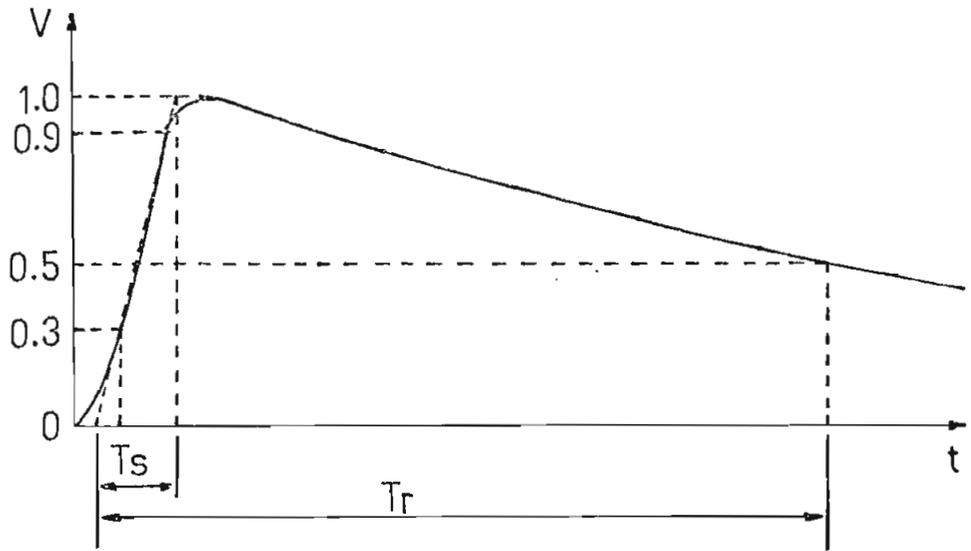


Fig. 3.4 Tensión de Impulso.

$T_s$  = tiempo de subida

$T_r$  = tiempo de bajada

Los generadores de impulsos en general se adoptan a uno de los dos siguientes circuitos básicos como se muestra en la Fig. 3.5.

$C_s$  = Capacitancia de impulso o de choque

$C_b$  = Capacitancia de carga

$L$  = Inductancia parásita del circuito

$R_d$  = Resistencia de amortiguamiento

$R_e$  = Resistencia de descarga

$F$  = Explosores de acoplamiento.

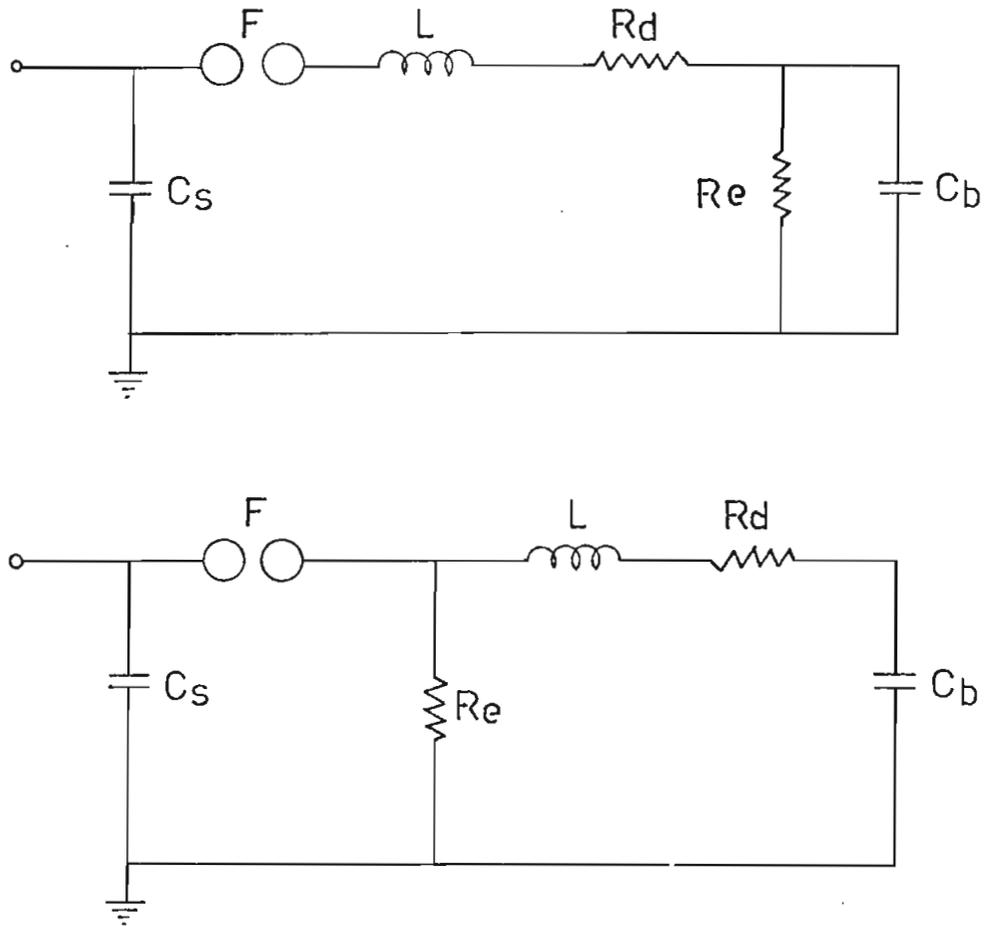


Fig. 3.5. Circuitos básicos de generación de impulsos.

### 3.3.- Medidas en Alta Tensión:

Las medidas en alta tensión (excepto en ciertos casos indirectos: espinterómetros), se realiza siguiendo los mismos procedimientos convencionales, o sea utilizando voltímetros, amperímetros y puentes o combinaciones de ellos. Lo que las hace singulares es el hecho de que se debe proveer de un aislamiento suficiente entre las partes que se encuentran a niveles de tensión altos y los circuitos de medida de baja tensión.

3.3.1.- Divisores de Tensión Capacitivos:

En forma relativamente sencilla y precisa puede medirse el valor eficaz o el valor de cresta de una tensión alterna usando divisores de tensión capacitivos. Su principio de funcionamiento es que la tensión se distribuye en un conjunto de condensadores en serie, en forma inversamente proporcional a la capacitancia, por lo tanto, la tensión total a medirse ( $V_1$ ), será igual a la tensión ( $V_2$ ) multiplicada por la relación de transformación del divisor.

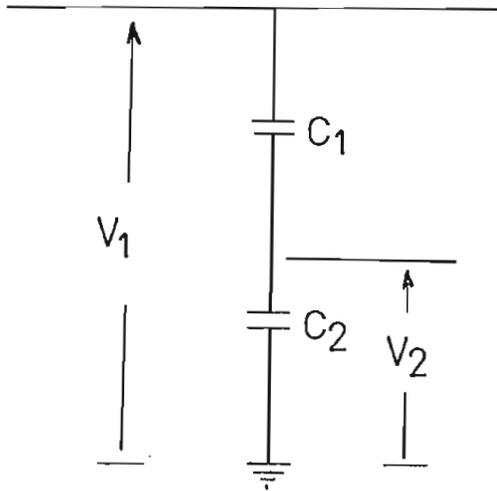


Fig. 3.6 Divisor de Tensión Capacitivo.

Entonces:

$$V_1 = KV_2$$

$$K = \frac{C_1 + C_2}{C_1}$$

3.3.2. - Medición Mediante Esferas Espinterométricas:

La utilización de espinterómetros (explosores) se halla ampliamente difundida para la medición de altas tensiones alternas, continuas y de impulso. El principio de funcionamiento se basa en que para un diámetro de esferas determinado, el voltaje de descarga es función del espaciamiento  $S$ .

Las mediciones se hacen por comparación con valores determinados en la Tabla 3.3, que dan la tensión disruptiva de espinterómetros de esferas, para esferas en disposición vertical y condiciones normales de presión y temperatura ( $20^{\circ}\text{C}$  y 760 Torr).

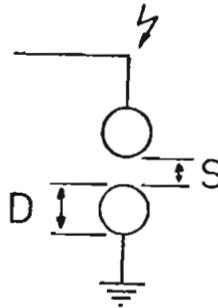


Fig. 3.7 Espinterómetro de Esferas.

Cuando se tienen condiciones de presión y temperatura diferentes de las normales, deberá hacerse correcciones. El voltaje disruptivo de las esferas varía en forma aproximadamente proporcional con la densidad relativa del aire, ésta depende de la presión  $b$  y de la temperatura  $t$  del aire de la manera siguiente:

$$\delta = 0.386 \frac{b}{273 + t}$$

En donde:

b está dado en mm. de Hg.

t está dado en °C

Los voltajes de descarga corregidos se obtienen multiplicando los valores de la Tabla 3.3. por el factor de conexión K que varía según  $\delta$  y están dados en la Tabla 3.2

TABLA 3.2

Factor de Conexión K

$\delta$	0,70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0	1.05	1.10	1.1
K	0.72	0.77	0.81	0.86	0.91	0.95	1.0	1.05	1.09	1.1

TABLA 3.3

Tensión disruptiva  $\hat{U}_d$  (valor de cresta en KV) para esferas empin-  
terométricas, una de ellas puesta a tierra, para 20 °C y 760 Torr

Para cada diámetro dado, la columna izquierda ( $\sim, -, \wedge$ ) es válida para tensiones: alterna, continua positiva y negativa, y de choque negativa. La de la derecha para tensión de choque positiva.

Distancia disruptiva cm	Diámetro de las esferas $d$ en cm.											
	2		5		10		15		25		50	
	$\sim(-)$	$\wedge(+)$	$\sim(-)$	$\wedge(+)$	$\sim(-)$	$\wedge(+)$	$\sim(-)$	$\wedge(+)$	$\sim(-)$	$\wedge(+)$	$\sim(-)$	$\wedge(+)$
0,05	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,10	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,15	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,20	8,0	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	9,6	-	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,30	11,2	11,2	11,2	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	14,4	14,4	14,4	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	17,4	17,4	17,4	17,4	16,8	16,8	16,8	16,8	-	-	-	-
0,60	20,4	20,4	20,4	20,4	19,9	19,9	19,9	19,9	-	-	-	-
0,70	23,2	23,2	23,4	23,4	23,0	23,0	23,0	23,0	-	-	-	-
0,80	25,8	25,8	26,3	26,3	26,0	26,0	26,0	26,0	-	-	-	-
0,90	28,3	28,3	29,2	29,2	28,9	28,9	28,9	28,9	-	-	-	-
1,0	30,7	30,7	32,0	32,0	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	-	-
1,2	(35,1)	(35,1)	37,6	37,8	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	-	-
1,4	(38,5)	(38,5)	42,9	43,3	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	-	-
1,5	(40,0)	(40,0)	45,5	46,2	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	-	-
1,6			48,1	49,0	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	-	-
1,8			53,0	54,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	-	-
2,0			57,5	59,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0
2,2			61,5	64,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5
2,4			65,5	69,0	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
2,6			(69,0)	(73,0)	74,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5
2,8			(72,5)	(77,0)	79,5	80,5	80,5	80,5	81,0	81,0	81,0	81,0
3,0			(75,5)	(81,0)	84,0	85,5	85,5	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0
3,5			(82,5)	(90,0)	95,0	97,5	98,0	98,5	99,0	99,0	99,0	99,0
4,0			(88,5)	(97,5)	105	109	110	111	112	112	112	112
4,5					115	120	122	124	125	125	125	125
5,0					123	130	133	136	137	138	138	138
5,5					(131)	(139)	143	147	149	151	151	151
6,0					(138)	(148)	152	158	161	163	164	164
6,5					(144)	(156)	161	169	173	175	177	177
7,0					(150)	(163)	169	178	184	187	189	189
7,5					(155)	(170)	177	187	195	199	202	202
8,0							(185)	(196)	206	211	214	214
9,0							(196)	(212)	226	233	239	239
10							(209)	(226)	244	254	263	263
11							(219)	(238)	261	273	286	287
12							(229)	(249)	275	291	309	311
13									(289)	(308)	331	334
14									(302)	(323)	353	357
15									(314)	(337)	373	380
16									(326)	(350)	392	402
17									(337)	(362)	411	422
18									(347)	(374)	429	442
19									(357)	(385)	445	461
20									(366)	(395)	460	480
22											489	510
24											515	540
26											(540)	(570)
28											(565)	(595)
30											(585)	(620)
32											(605)	(640)
34											(625)	(660)
36											(640)	(680)
38											(655)	(700)
40											(670)	(715)

1. La tabla no es válida para tensiones de impulso inferiores a aproximadamente 10 KV.
  2. En caso de tensiones de impulso, para mediciones repetidas, tienen el significado de tensiones de descarga de impulso del 50 %.
- Entre paréntesis deben evitarse, en lo posible.

## CAPITULO IV

### CONDICIONES Y DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS A QUE SE SOMETEN LOS TRANSFORMADORES

#### 4.1.- Alcance:

En el presente capítulo se describen recomendaciones que se pueden aplicar a transformadores de potencia, auto-transformadores, con excepción de:

Transformadores monofásicos de potencia nominal de menos de 1 KVA y transformadores polifásicos de potencia nominal menor que 5 KVA.

Transformadores de instrumentos.

Transformadores para convertidores estáticos.

Transformadores de arranque.

Transformadores de prueba.

Transformadores para soldar.

#### 4.2.- Condiciones de Servicio:

Los transformadores deberán ser para uso bajo las siguientes condiciones usuales:

##### 1.- Altitud:

Una altura sobre el nivel del mar que no exceda de 1.000 metros.

Para transformadores enfriados por aire diseñados para operación en altitudes mayores que 1.000 metros, pero probados para altitudes normales, los límites de elevación de temperatura dados en las tablas 4.4 y 4.5 serán reducidos por las siguientes cantidades por cada 500 metros que exceda los 1.000 metros.

Transformadores sumergidos en aceite enfriados por aire natural	2.0%
Transformadores tipo seco, enfriados por aire natural	2.5%
Transformadores sumergidos en aceite enfriados por aire forzado	3.0%
Transformadores tipo seco enfriados por aire forzado	5.0%

2.- Temperatura del Medio Refrigerante:

En aparatos enfriados con agua, la temperatura del agua de enfriamiento no excederá de  $25^{\circ}\text{C}$  a la entrada.

En aparatos enfriados por aire, la temperatura del aire no excederá de  $40^{\circ}\text{C}$ , o bajo  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Además para aparatos enfriados por aire, la temperatura no excederá los siguientes valores:

$30^{\circ}\text{C}$  promedio en cualquier día.

$20^{\circ}\text{C}$  promedio en cualquier año.

Si el transformador está diseñado para servicio don de la temperatura del medio de enfriamiento excede uno de los máximos valores dados, por no más de  $10^{\circ}\text{C}$ , la elevación de temperatura tolerable para los bobinados, núcleo y aceite, serán reducidas.

Por  $5^{\circ}\text{C}$  si el exceso de temperatura es menor o igual a  $5^{\circ}\text{C}$ .

Por  $10^{\circ}\text{C}$  si el exceso de temperatura es mayor que  $5^{\circ}\text{C}$  y menor o igual a  $10^{\circ}\text{C}$ .

### 3.- Forma de Onda:

La forma de onda del voltaje suministrado será aproximadamente sinusoidal.

### 4.3.- Potencia Nominal:

Los valores preferidos de potencias nominales para transformadores trifásicos están dados en la tabla 4.1.

TABLA 4.1

Valores preferidos de potencias, nominales para transformadores trifásicos

KVA	KVA	KVA
5	31,5	200
6.3	40	250
8	50	215
10	63	400
12.5	80	500
16	100	630
20	125	800
25	160	1.000

4.4.- Símbolos de Identificación:

Los transformadores serán identificados de acuerdo al método de enfriamiento empleado, por medio de letras y están dados en la tabla 4.2.

TABLA 4.2.

Letras Simbólicas

Clase del medio de enfriamiento	Símbolo
Aceite mineral	O
Askarel	L
Gas	G
Agua	W
Aire	A
Aislante sólido	S
Clase de circulación	
Natural	N
Forzada	F

4.5.- Arreglo de Símbolos:

Con excepción de transformadores tipo seco protegido, para los cuales los símbolos serán AN o AF, los transformadores serán identificados por cuatro símbolos para cada método de enfriamiento y una línea oblicua se usa para separar cada grupo de símbolos.

El significado de cada símbolo se da en la siguiente tabla:

TABLA 4.3  
Orden de Símbolos

1ª Letra	2ª Letra	3ª Letra	4ª Letra
Indica el medio de enfriamiento que está en contacto con los bobinados		Indica el medio de enfriamiento que está en contacto con el sistema externo de enfriamiento.	
Clase de medio	Clase de circulación	Clase de medio	Clase de circulación

Un transformador sumergido en aceite con circulación de aceite y aceite forzado será designado OFAF, mientras que un transformador tipo seco con ventiladores para el enfriamiento sería designado AF. Para transformadores sumergidos en aceite en los cuales son posibles las alternativas de enfriamiento natural o forzado, las designaciones típicas son:

ONAN/ ONAF

ONAN/OFAF

4.6.- Límites de Elevación de Temperatura:

La elevación de temperatura de los bobinados, núcleo y aceite de transformadores diseñados para operación a altitudes que no excedan a aquellas dadas en 4.2.1 y con temperaturas de los medios de enfriamiento descritos en 4.2.2., no excederán los límites dados en las tablas 4.4 y 4.5, cuando la prueba está de acuerdo con la cláusula 4.17.

TABLA 4.4

Límites de Elevación de Temperatura para Transformadores  
Tipo Seco

1	2	3	4
Parte	Método de En - friamiento	Clase de Tem - peratura	Elevación de Tem - peratura °C
Bobinados ( medidos por resistencia)	Aire, natural o forzado	A	60
		E	75
		B	80
		F	100
		H	125
Núcleo y otras partes: a) Adyacentes a los bobinados b) No adyacentes a los bobinados.	Todos		a) Los mismos valores como para los bobinados.  b) Un valor que no afecte a las partes aisladas que pueden estar en contacto con los bobinados.

4.7.- Niveles de Aislamiento:

Los niveles de aislamiento para transformadores tipo seco y transformadores sumergidos en aceite, aquellos en los que los bobinados y partes de conexión están diseñados para pruebas de voltaje de impulso, están dados en las tablas 4.6 y 4.7.

TABLA 4.5

Límites de Elevación de Temperatura para Transformadores del Tipo Sumergidos en Aceite

1	2	3	4
Parte	Método de Enfriamiento	Circulación del Aceite	Elevación de Temperatura °C
Bobinados- temperatura clase A (me- dida por re- sistencia)	Aire natural Aire forzado Agua (enfriado- res internos)	Natural	65
	Aire forzado agua (enfriado- res externos)	Natural	65
Aceite nivel superior (me- dido por ter- mómetro)			60, cuando el transfor- mador está sellado o e- quipado con conservador  55, cuando el transforma- dor no está sellado o e- quipado.
Núcleo y o- tras partes			La temperatura en nin- gún caso alcanzará un valor que dañará el nú- cleo mismo o partes a- dyacentes.

TABLA 4.6

*Niveles de Aislamiento para Bobinas y Partes de Conexión  
Diseñados para Pruebas de Voltaje de Impulso*

<i>Sistema de Alto Voltaje</i>	<i>Nivel de Aislamiento</i>			
	<i>Voltaje para prueba de impulso.</i>		<i>Voltaje para prueba de tensión aplicada y voltaje inducido</i>	
	<i>Standard 1</i>	<i>Standard 2</i>		
<i>KV r.m.s.</i>	<i>KV máx</i>		<i>KV r.m.s.</i>	
3.6	45		16	
7.2	60		22	
12	75		28	
17.5	95		38	
24	125		50	
36	170		70	
52	250		95	
72.5	325		140	
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1.050	900	460	395
300	-	1.050	-	460
420	-	1.425	-	630



TABLA 4.8  
Factor de Absorción

Megger manual Relación $\frac{60 \text{ seg}}{15 \text{ seg}}$	Megger motorizado Relación $\frac{10 \text{ minutos}}{1 \text{ minuto}}$	Condición del Aislamiento
Menor que 1	Menor que 1	Crítica
1.25 a 1.4	2 a 3	Aceptable
Mayor que 1.6	Mayor que 4	Excelente

La prueba de rigidez dieléctrica del aceite podemos realizar con diferentes electrodos, la tabla 4.9 nos indica los requerimientos que son necesario y los valores de tensión que debe soportar un buen aceite aislante.

TABLA 4.9  
Requerimientos para la Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite

Electrodos	Discos $\phi = 25.4 \text{ mm.}$	Hongos esféricos $\phi = 25 \text{ mm.}$	Esferas $\phi = 13 \text{ mm.}$
Separación	2.54 mm.	2.5 mm.	4 mm.
Nº de muestras	5	6	3
Subida de voltaje	3KV/seg. hasta la perforación	3KV/seg.	10-15 seg. hasta el valor fijado
Duración	-	-	1 minuto en 40 KV
Transformador	> 2 KVA	250 VA - 60KV	20 m.A. en c.c. ó 15 KV
Voltaje de ruptura	Promedio de cinco	Promedio de las últimas cinco	Dos de las tres muestras cumplen la condición de 1 minuto en 40 KV
Buen aceite	26 KV	50 KV ó 200KV/cm.	40 KV

TABLA 4.10

Tolerancias

	Tolerancia
<p>1. a) Pérdidas totales</p> <p>b) Pérdidas componentes</p>	<p><math>\pm 1/10</math> de las pérdidas totales</p> <p><math>\pm 1/7</math> de cada pérdida componente, siempre que no exceda la tolerancia para las pérdidas totales.</p>
<p>2. Relación de voltaje sin carga en el tap principal</p> <p>(relación de voltaje nominal)</p> <p>Nota: Las tolerancias para los taps serán acordadas entre el fabricante y el comprador.</p>	<p>El más bajo de los siguientes valores:</p> <p><math>\pm 1/200</math> de la relación declarada, o un porcentaje de la relación declarada igual a <math>1/10</math> del porcentaje actual del voltaje de impedancia a corriente nominal, cualquiera que sea el menor.</p>
<p>8. Voltaje de impedancia:</p> <p>a) Para el tap principal (voltaje de impedancia a corriente nominal)</p> <p>Transformadores de 2 bobinados.</p> <p>Transformadores de más de 2 bobinados.</p>	<p><math>\pm 1/10</math> del voltaje de impedancia declarado para este tap.</p> <p><math>\pm 1/10</math> del voltaje de impedancia declarado para un par de terminales especificado.</p> <p>Tolerancia para ser convenida y declarada para el par de bobinas más separadas.</p>
<p>b) Para otros taps que el principal</p>	<p><math>\pm 1/7</math> del valor declarado para cada tap dentro de <math>\pm 5\%</math> del tap principal.</p> <p>Para otros taps, la tolerancia será de acuerdo al fabricante y comprador.</p>
<p>4. Corriente sin carga.</p>	<p><math>\pm 3/10</math> de la corriente declarada sin carga.</p>

4.8. - Tolerancias:

Las tolerancias que pueden ser aplicadas, a menos que el fabricante garantice otras están dadas en la tabla 4.10.

4.9. - Requerimientos Generales para Pruebas Tipo y de Rutina:

Las pruebas serán hechas a cualquier temperatura ambiente entre 10°C y 40°C y con agua para enfriamiento si es necesario, a cualquier temperatura que no exceda 25°C.

El tap de los bobinados será conectado a su tap principal, a menos que en la prueba se requiera de otro modo o se pongan de acuerdo el comprador y fabricante.

La prueba básica para todas las características, distinta que el aislamiento, es la condición nominal, a menos que la cláusula de prueba se exprese de otro modo.

Donde se requiera que los resultados de las pruebas sean corregidos para una temperatura de referencia, estarán de acuerdo con la siguiente tabla:

TABLA 4.11

Temperaturas de Referencia

Clase de Temperatura	Temperatura de Referencia
A E B	75°C
F H	115°C

4.10. - Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite (Prueba de Rutina):

Esta prueba consiste en tomar una muestra de aceite del transformador, directamente de la válvula de muestreo, en recipientes de vidrio o de metal inoxidable sumamente limpios y secos.

La muestra se deposita en un aparato, que está formado por una probeta que contiene dos electrodos metálicos, con mecanismo de posición ajustable.

Los electrodos se conectan a un regulador de voltaje por medio del cual se incrementa la tensión aplicada, hasta el momento en que salta el arco entre los electrodos, anotándose el valor de la tensión en ese momento, luego se limpian los electrodos y se espera de 2 a 3 minutos, repitiéndose nuevamente la operación.

Para distintos electrodos, la tabla 4.9 nos indica los requerimientos y valores de tensión que debe soportar un buen aceite aislante.

- 4.11. - Medición de la Resistencia de Aislamiento (Prueba de Rutina):

Esta prueba se lo realiza con un medidor de aislamiento (Megger) que puede ser de operación manual o motorizado.

En general se realizan tres mediciones de resistencia que son:

- 1.- Entre el devanado de alta tensión y el de baja tensión
- 2.- Entre el devanado de baja tensión y tanque y tierra.
- 3.- Entre el devanado de alta tensión y tanque y tierra.

Se opera el Megger y se toman lecturas en cada una de las pruebas anteriores a los tiempos  $t_1 = 15$  seg. y  $t_2 = 60$  seg. en caso de que el Megger sea de operación manual, y a los tiempos  $t_1 = 1$  minuto y  $t_2 = 10$  minutos cuando el Megger es motorizado.

A partir de estos valores podemos calcular el factor de absorción por medio de la fórmula:

$$\text{Factor de absorción} = \frac{\text{Resistencia (tiempo } t_2)}{\text{Resistencia (tiempo } t_1)}$$

Las condiciones en que se encuentra el aislamiento a partir del factor de absorción se da en la tabla 4.8.

#### 4.12. - Medición de la Resistencia de los Bobinados (Prueba de Rutina):

Para la medición será usada corriente continua. La resistencia de cada bobina, los terminales entre los que se están midiendo y la temperatura de los bobinados serán anotados. En todas las medidas de resistencia serán cuidadosamente tomados en cuenta los efectos de la inducción, es decir el voltímetro debe permanecer desconectado hasta que la corriente llegue a ser estacionaria.

El tiempo en que la corriente llega a ser estacionaria durante la medición de la resistencia en frío, debería ser anotado y usado como guía en la prueba tipo de elevación de temperatura.

En transformadores tipo seco la temperatura registrada será el promedio de las lecturas de por lo menos 3 termómetros colocados sobre la superficie de las bobinas.

En forma simultánea serán medidas la resistencia de las bobinas y temperatura; y la temperatura de las bobinas, también medida por termómetro, será aproximadamente igual a la temperatura del medio ambiente.

En transformadores tipo sumergidos en aceite, el transformador deberá estar por lo menos 3 horas sin excitación para determinar la temperatura promedio del aceite y la temperatura de los bobinados se tomará la misma como la temperatura promedio del aceite.

La intensidad de corriente en el ensayo no debe ser mayor de 15% de la corriente nominal del devanado cuya resistencia se está midiendo.

4.13. - Medida de la Relación de Voltaje y Chequeo de la Polaridad o Símbolo del Grupo Vectorial (Prueba de Rutina):

La relación de voltaje será medida sobre cada tap. La polaridad de transformadores monofásicos y el símbolo del grupo vectorial de transformadores trifásicos será chequeado conectando los

terminales de alta y baja tensión, excitando la unidad a un valor de voltaje bajo y tomando lecturas de voltaje entre varios pares de terminales.

4.14. - Medida del Voltaje de Impedancia (Prueba de Rutina):

El voltaje de impedancia se medirá a frecuencia nominal, usando una onda aproximadamente sinusoidal, los bobinados serán conectados sobre el tap principal. La medida puede ser hecha a cualquier corriente entre el 25% y 100% de la corriente nominal.

El valor medido será corregido por aumento de ésta, en la relación de la corriente nominal a la corriente de prueba. El valor así obtenido será corregido a la temperatura apropiada de referencia dada en la tabla 4.11.

Para otros taps que no sea el principal, la medida se lo realizará al apropiado valor de corriente en vez de la corriente nominal.

En transformadores de 3 bobinados el voltaje de impedancia será medido entre bobinados tomados en pares, mientras que la otra se encuentra en circuito abierto.

Para transformadores con más de tres bobinados, el método anterior será aplicado.

4.15. - Medida de Pérdidas con Carga (Prueba de Rutina):

Esta prueba se lo realiza poniendo un devanado en corto - circuito y alimentando con tensión el otro.

La conexión de corto-circuito no debe introducir una impedancia o pérdida apreciable. Las pérdidas con carga serán medidas a frecuencia nominal con los bobinados conectados al tap principal. La medida puede ser hecha a cualquier corriente entre el 25% y 100% de la corriente nominal.

El valor de la medida será corregido por multiplicación de éste por el cuadrado de la relación de corriente nominal a corriente de prueba. El valor así obtenido será corregido a la temperatura de referencia apropiado como está dado en la tabla 4.11, tomando las pérdidas  $I^2R$  como variación directa con la resistencia. La resistencia será determinada como se especifica en la cláusula 4.12.

Para otros taps que no sea el principal la medida de las pérdidas con carga, será relacionado el valor apropiado de corriente en vez de la corriente nominal.

En transformadores de tres bobinados las pérdidas con carga serán medidas entre bobinas tomadas en pares, la otra bobina estará en circuito abierto.

Para transformadores con más de tres bobinados, el método será igual al indicado anteriormente.

f 4.16. - Medida de las Pérdidas y Corriente Sin Carga (Prueba de Rutina) :

Las pérdidas sin carga y la corriente sin carga será medidada a voltaje y frecuencia nominal, la forma de onda del voltaje aplicado será aproximadamente sinusoidal.

El voltaje será aplicado a los terminales de uno de los bobinados y el otro bobinado será dejado en circuito abierto. Bobinados en conexión delta abierto será cerrado durante la medida. Si es necesario conectar a un tap que no sea el principal, el voltaje aplicado será el apropiado al tap.

Para determinar las pérdidas sin carga cuando el voltaje aplicado no es completamente sinusoidal, se toman lecturas con el voltímetro de valor (medio) ( $E_a$ ), que consiste en un voltímetro d'Arsonval que tiene en serie internamente un rectificador de onda completa, este instrumento es generalmente graduado para dar la misma indicación numérica como un voltímetro RMS en onda sinusoidal; además se toma lectura con el voltímetro RMS ( $E_r$ ).

Las pérdidas se calculan por la fórmula:

$$P = \frac{P_m}{P_1 + KP_2}$$

donde:

$P_m$  = Pérdidas medidas en la prueba

$P_1$  = Pérdidas por histéresis (p.u), referido a  $P_m$ .

$P_2$  = Pérdidas por corrientes de Eddy (p.u), referido a  $P_m$ .

$$K = \left( \frac{E_r}{E_a} \right)^2$$

Para densidades de flujo normalmente usadas a 50 ó 60 Hz los valores de la tabla 4.12 serán tomados.

TABLA 4.12

Pérdidas por Histéresis y Corrientes de Eddy (p.u)

Tipo de Material	$P_1$	$P_2$
Acero al silicio laminado en caliente	0,8	0,2
Acero al silicio de grano orientado, laminado en frío	0,5	0,5

4.17.- Prueba de Elevación de Temperatura (Prueba Tipo):

4.17.1.- Medida de la Temperatura del Aire de Enfriamiento:

La temperatura del aire de enfriamiento será medida por lo menos por tres termómetros, colocados en diferentes puntos alrededor del transformador a una distancia de 1 a 2 metros, desde la superficie de enfriamiento.

Cuando el transformador tiene enfriamiento por aire forzado, la temperatura del aire será tomada a la entrada del enfriador.

El valor de la temperatura del aire de enfriamiento será el promedio de las lecturas tomadas sobre esos termómetros a iguales intervalos de tiempo durante el último cuarto del período de prueba. Los termómetros para medir la temperatura del aire de enfriamiento de ser posible serán insertados en cajas metálicas llenadas con aceite.

4.17.2.- Medida de la Temperatura del Agua de Enfriamiento:

La temperatura del agua de enfriamiento será medida a la entrada del enfriador y será la promedio de la menor de las tres lecturas tomadas aproximadamente a iguales intervalos no mayores que una hora.

Las lecturas serán tomadas en el último cuarto del período de prueba.

4.17.3.- Medida de la Temperatura de los Bobinados:

Las temperaturas de los bobinados serán encontradas por el método de la resistencia, usando la siguiente ecuación, válida para cobre y aluminio.

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + T_1) - 235$$

donde:

$T_2$  = Temperatura del devanado al final de la prueba

$T_1$  = Temperatura del devanado al inicio de la prueba

$R_2$  = Resistencia del devanado al final de la prueba

$R_1$  = Resistencia del devanado al inicio de la prueba.

$T_1$  y  $T_2$  están dados en °C.

La medida de la resistencia después de que la fuente ha sido desconectada, se lo debe hacer en 2 minutos, de ser posible y en ningún caso en más de 4 minutos, debiendo tomar en cuenta las correcciones indicadas en la sub-cláusula 4.17.8;

o sin interrupción de la fuente por aplicación del método de superposición, que consiste en inyectar dentro de las bobinas corriente continua de bajo valor superpuesta con la de la carga.

4.17.4.- Medida de la Temperatura del Nivel Superior del Aceite:

La temperatura del nivel superior del aceite será medida por un termómetro colocado aproximadamente 4 cm. bajo la superficie del aceite.

La elevación de temperatura así determinada no excederá el valor límite dado en la tabla 4.5.

4.17.5.- Duración de la Prueba:

La elevación más alta de temperatura no excederá los valores dados en las tablas 4.4 ó 4.5, aunque la prueba fuese continuada hasta que el equilibrio térmico sea alcanzado.

La prueba puede ser considerada como completa, cuando cumple una de las condiciones siguientes:

1.- Cuando la elevación de temperatura no se incrementa por más de  $3^{\circ}\text{C}$  en 1 hora.

El método que se indica en la Fig. 4.1 será empleado para la determinación de la elevación de temperatura final.

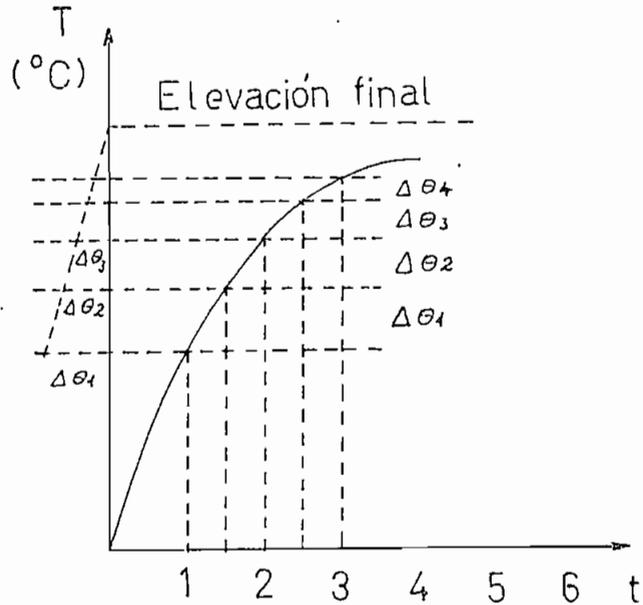


Fig. 4.1. Determinación de la Elevación de Temperatura Final.

2.- Cuando la temperatura del nivel superior del aceite no varía más de  $1^{\circ}\text{C}$  por hora durante 4 horas con seculivas.

4.17.6.- Elevación de Temperatura:

1.- Transformadores Tipo Seco:

La elevación de temperatura (por resistencia) de las bobinas sobre la temperatura del aire de enfriamiento, para condiciones de carga nominales, cuando la corriente no es la nominal pero no menor a 90% de este valor, se calcula así:

$$T_r = T_t \left( \frac{I_r}{I_t} \right)^q$$

donde:

$T_r$  = Elevación de temperatura para condiciones nominales.

$T_t$  = Elevación máxima de temperatura con  $I_t$ .

$I_r$  = Intensidad de corriente nominal.

$I_t$  = Intensidad de corriente de prueba.

El valor de  $q$  es:

Transformadores AN = 1.6

Transformadores AF = 1.8

## 2. - Transformadores Tipo Sumergidos en Aceite:

La elevación de temperatura del nivel superior del aceite será obtenida sustrayendo la temperatura del medio de enfriamiento durante la prueba, de la medida de la temperatura del nivel superior del aceite.

Si las pérdidas totales no pueden ser obtenidas, se permitirá suministrar éstas con un rango de  $\pm 20\%$  y se aplicará el siguiente factor de conexión:

$$\left( \frac{\text{Pérdidas Totales}}{\text{Pérdidas Suministradas}} \right)^X$$

El valor de  $X$  es:

Para circulación natural del aceite = 1.6

Para circulación forzada del aceite = 1.8

La temperatura promedio del aceite puede ser determinada por sustracción de la mitad de la caída de temperatura en el equipo de enfriamiento, de la temperatura del nivel superior del aceite. La caída de temperatura será tomada como la diferencia entre la temperatura de la superficie superior e inferior del elemento radiador.

#### 4.17.7.- Métodos de Prueba:

Uno de los siguientes métodos a elección del fabricante puede ser empleado.

##### 1.- Directamente cargado:

Se lo realiza aplicando la carga nominal al transformador. En este método no se necesita aplicar corrección de temperatura promedio del aceite para la elevación de temperatura de los bobinados.

##### 2.- Método de Espalda à Espalda:

Se aplica al transformador corriente y voltaje de excitación nominales. No se necesita aplicar corrección de temperatura promedio del aceite para la elevación de temperatura de los bobinados.

##### 3.- Método de Corto-circuito:

En este método son suministradas al transformador; la suma de las pérdidas sin carga y con carga a 75°C

a frecuencia nominal, uno de sus bobinados es excitado y el otro se pone en corto-circuito. La elevación de temperatura del aceite del nivel superior y la temperatura promedio del aceite son anotados.

Luego reducimos la alimentación hasta obtener el valor de corriente nominal y este valor lo mantene-mos por 1 hora. La temperatura de los bobinados será luego determinada por el método de resistencia. La caída de temperatura promedio del aceite durante esta hora es tomada en cuenta cuando calculamos la elevación de temperatura de los bobinados, sobre la temperatura promedio del aceite.

La elevación de temperatura de los bobinados sobre la temperatura promedio del aceite, determinada en la segunda parte de la prueba, sumando a la elevación de temperatura promedio del aceite, determinada en la primera parte de la prueba, dará la elevación de temperatura de los bobinados sobre la temperatura del medio de enfriamiento para las pérdidas totales a co-rriente nominal, frecuencia nominal y voltaje nominal.

4.17.8. - Corrección de Temperatura por el Enfriamiento de Trans-  
formadores Después de Terminada la Prueba:

La corrección de la elevación de temperatura medida por resistencia al instante de la desconexión de la fuente será efectuada por medio de una serie de medidas de re-sistencia, con extrapolación posterior de las curvas tiem-po/resistencia, al instante de la parada.

Cuando las pérdidas con carga de transformadores sumergidos en aceite, con bobinas de cobre no exceden de 66 Watts/Kg. ó 20 Watts/Kg. con bobinas de aluminio, la corrección en °C puede ser tomada como el producto de las pérdidas de Watts/Kg. multiplicado por el factor dado en la tabla 4.12.

TABLA 4.12

Factor de Corrección de Temperatura

Tiempo desde la parada hasta la medida	Factor	
	W / Kg.	
1	0.09	0.032
1.5	0.12	0.045
2	0.15	0.064
3	0.20	0.091
4	0.23	0.113

Nota: Para tiempos intermedios los valores dados en la tabla 4.12 serán obtenidos por interpolación.

4.18.- Prueba de Voltaje Inducido (Prueba de Rutina):

La prueba se lo realiza aplicando voltaje alterno a los terminales de un bobinado del transformador, debiendo ser éste tan cercanamente como sea posible a una onda sinusoidal y a una frecuencia conveniente, mayor que la nominal.

El valor máximo del voltaje de prueba inducido en las bobinas de alto voltaje será medido y éste, dividido por  $\sqrt{2}$ , estará de acuerdo con la tabla apropiada.

La prueba se iniciará a un voltaje no mayor que un tercio del valor de prueba y será incrementado tan rápidamente como sea posible al valor exacto que será indicado por el instrumento de medida. Al final de la prueba, el voltaje se reducirá rápidamente a menos de la tercera parte del valor máximo, antes de abrir el interruptor.

La duración de la prueba será de 60 seg. para cualquier frecuencia de prueba hacia arriba, incluyendo el doble de la frecuencia nominal. Cuando la frecuencia de prueba excede el doble de la frecuencia nominal, la duración de la prueba en segundos será 120 veces la frecuencia nominal dividido para la frecuencia de prueba; o 15 seg. para cualquier más grande.

En la tabla 4.13 se dan algunos valores de frecuencia y tiempo que debe durar la prueba, para transformadores de frecuencia nominal igual a 60 c.p.s.

TABLA 4.13  
Frecuencias y Tiempo de Duración de la Prueba

Frecuencia (c.p.s.)	Duración (seg.)
120 o menos	60
180	40
240	30
360	20
400	18

El voltaje desarrollado en el lado de alta tensión será el voltaje de prueba dado en la tabla 4.6 ó 4.7, preve<sup>en</sup>do que el voltaje entre las diferentes partes del bobinado no exceda 2 veces el voltaje que aparece cuando el voltaje nominal es aplicado a los terminales de línea.

El núcleo, estructura, tanque o cubierta serán conectados a tierra.

En transformadores trifásicos se puede aplicar el voltaje de prueba a fases individuales sucesivamente.

4.19. - Prueba de Voltaje Aplicado (Prueba de Rutina):

Esta prueba se realizará con voltaje alterno monofásico tan cercano como sea posible a la forma de onda sinusoidal y de una frecuencia no menor que el 80% de la frecuencia nominal.

El valor máximo del voltaje de prueba será medido y este valor dividido por  $\sqrt{2}$  estará de acuerdo con la tabla a apropiada.

La prueba se comenzará a un voltaje no mayor a la tercera parte del valor de prueba y será incrementado hasta el valor de prueba dado en las tablas 4.6 ó 4.7, tan rápidamente como sea posible al valor exacto, que será indicado por el instrumento de medida. Al final de la prueba, el voltaje se reducirá rápidamente a un valor menor que la tercera parte de su valor máximo antes de que se abra el interruptor.

El voltaje será aplicado por 60 seg. a cada bobina sucesivamente, el núcleo, estructura y tanque o cubierta serán conectados a tierra.

Para bobinados de diferente voltaje nominal que están interconectados dentro del transformador, el voltaje de prueba estará basado en el alto voltaje del sistema o de los circuitos a los cuales los bobinados van a ser conectados, la prueba será realizada con las bobinas interconectadas como para servicio.

4.20. - Prueba de Voltaje de Impulso de Onda Completa (Prueba Tipo)

El voltaje de prueba de impulso se aplicará al terminal de línea de la bobina o ser probada, en transformadores polifásicos la prueba será aplicada sucesivamente a cada terminal de línea.

El tap a ser usado para la prueba estará de acuerdo entre el fabricante y el comprador, el valor máximo del voltaje aplicado será especificado en la tabla 4.6 ó 4.7.

La forma de onda será de 1.2/50  $\mu$ seg. permitiéndose una tolerancia de no más de  $\pm 30\%$  en la duración del frente de onda y  $\pm 20\%$  en el tiempo para llegar al valor medio de la cola de la onda; pero donde las características del transformador bajo prueba sean tales que es impracticable obtener la forma de onda standard dentro de las tolerancias anteriores, por acuerdo entre el fabricante y comprador una tolerancia mayor puede ser permitida.

4.20.1.- Preparación del Transformador para la Prueba:

El tanque del transformador será eficazmente pues to a tierra, directamente o a través de una impedancia de bajo valor.

Un terminal de línea de la bobina bajo prueba será conectado al generador de impulso y su otro terminal de línea será conectado a tierra directamente o a través de una impedancia de bajo valor. Si el fabricante especifica que el transformador puede operar en servicio con el neutro conectado a tierra, será así conectado para la prueba; en caso contrario puede ser dejado sin conectar a tierra.

Todos los terminales de las bobinas que no están bajo prueba serán conectados a tierra directamente o a través de resistencias.

Los descargadores pueden ser quitados o sus aberturas incrementadas.

4.20.2.- Procedimiento de Prueba:

Conectado el generador de impulso o los terminales de la bobina del transformador bajo prueba y con los aparatos de medida del voltaje y aparatos registradores, se ajustan los parámetros del circuito a un voltaje reducido, para dar la forma de onda requerida de 1.2/50 u seg.

Luego a un voltaje entre 50% y 75% del voltaje de onda completa, se obtienen los oscilogramas de la aplicación del voltaje entre la línea terminal bajo prueba y tierra, además se pueden tomar registros adicionales de la corriente que fluye a tierra desde el tanque, o del voltaje transferido que aparece en las otras bobinas; es decir la cantidad que es considerada por el fabricante como la más apropiada será registrada.

A menos que se pongan de acuerdo el fabricante y el comprador, el voltaje de prueba será de polaridad negativa. El generador de impulso será el encargado de enviar el voltaje de prueba correspondiente al nivel de onda completa al terminal de la bobina del transformador bajo prueba. Dos ondas completas serán aplicadas.

#### 4.20.3.- Interpretación de los Resultados:

Una evidencia de falla del aislamiento durante la prueba será dada por:

- 1.- Variaciones significativas de la forma de onda, aparte de cambios de amplitud, indicado por los registros de voltaje aplicado y de corriente o voltaje suplementarios para la aplicación de onda completa, al nivel de prueba y a un reducido nivel.

*Si hay cualquier duda en la interpretación de los registros, tres ondas serán aplicadas al 100% del valor de prueba. Si las dudas se despejan por estas pruebas, se concluirá que la prueba de impulso ha sido soportada.*

*2.- Un ruido interno en el transformador durante la prueba.*

*4.21.- Regulación y Eficiencia:*

*La regulación y la eficiencia de un transformador depende de la carga a la cual está conectado, por lo tanto en la actualidad es más práctico especificar las pérdidas sin carga y a plena carga en lugar de la regulación y eficiencia para una carga dada.*

## C A P I T U L O V

### JUSTIFICACION ADECUADA DE LOS ASPECTOS NORMA TIVOS ELEGIDOS PARA CADA PRUEBA

#### 5.1.- Intraducción:

Un transformador es probado para cerciorarse hasta donde es posible, de que ha sido adecuadamente diseñado y construído a fin de soportar la carga homologada, mientras que al mismo tiempo resiste todas las situaciones peligrosas a que puede esperarse que esté expuesto durante un período de veinte años o más.

Estas pruebas no deben tener un costo superior al de la seguridad que suministran. El valor de esta seguridad es difícil determinar, pero ciertamente para un gran transformador de potencia pueden justificarse pruebas más complicadas y costosas que para un pequeño transformador de distribución. La selección de las pruebas adecuadas debe, en consecuencia, depender en gran parte del buen juicio y la experiencia.

El orden de las pruebas no es el de la importancia de las mismas, sino el orden de un posible efecto sobre las características del transformador. Por lo tanto, como ejemplo digamos que las mediciones de resistencia deben hacerse antes que las de temperatura, por razones conocidas.

### 5.2. - Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite:

La prueba de rigidez dieléctrica nos da el grado de pureza del aceite, es decir nos indica hasta qué punto su aislamiento eléctrico se halla afectado.)

La muestra se lo debe tomar directamente de la válvula de muestreo del transformador, en recipientes completamente limpios y secos para evitar la pérdida de las características del aceite, descritas en el capítulo III.

Después que el arco salta entre los electrodos se limpian los mismos para quitar posibles partículas de carbón, que nos darían un valor erróneo de voltaje de ruptura. Además se espera de 2 a 3 minutos para repetir nuevamente la operación, hasta que el aceite esté nuevamente en reposo.

### 5.3. - Medición de la Resistencia de Aislamiento:

Las cualidades del aislamiento son probablemente las más importantes en la construcción de un transformador. Su falla casi siempre ocasiona la salida de servicio de los equipos, provocando generalmente fallas costosas de reparar.

Este ensayo se lleva a cabo para ayudar en la determinación de si el aislamiento es adecuado para asegurar un buen funcionamiento del transformador. Esta prueba tiene la gran ventaja de que puede efectuarse con tensiones bajas, evitándose así el deterioro del aislamiento; además el aparato de medida (Megger) es portátil y se pueden efectuar los ensayos en transformadores emplazados en lugares apartados.

Las tres mediciones se lo realizan para descubrir posibles corto-circuitos entre los devanados o entre un devanado y el tanque del transformador.

Un aislamiento limpio, seco y en buen estado, al aplicársele un voltaje continuamente, el valor de su resistencia crece a medida que pasa el tiempo, justamente a base de estos datos obtenemos el factor de absorción, que es una medida del estado en que se encuentra el aislamiento.

#### 5.4. - Medición de la Resistencia de los Bobinados:

La resistencia de los bobinados se usa para calcular las pérdidas  $I^2R$  en el cobre y para determinar la temperatura de los bobinados durante el ensayo de elevación de temperatura.

Utilizamos corriente continua porque ésta tiene una magnitud prácticamente constante, por lo que el efecto inductivo desaparece al cabo de pocos segundos y la corriente llega a ser estacionaria. Este tiempo debería ser usado como guía en la prueba de elevación de temperatura, ya que la temperatura durante esos segundos disminuirá cierto valor. El voltímetro debe permanecer desconectado para evitar que se dañe por el elevado voltaje transitorio que se produce.

En transformadores tipo seco la temperatura de los bobinados será el promedio de por lo menos tres termómetros, para obtener la temperatura más cercana a la real.

En transformadores tipo sumergidos en aceite, deberá estar sin excitación por lo menos tres horas antes de determinar la temperatura promedio del aceite, porque en ese tiempo la temperatura ya se habrá estabilizado.

La intensidad de corriente de ensayo no debe ser mayor del 15% de la nominal del arrollamiento, a fin de evitar aumentos de temperatura en el cobre lo que conduciría a resultados erróneos.

#### 5.5. - Medida de la Relación de Voltaje y Chequeo de la Polaridad o Símbolo del Grupo Vectorial:

La medida de la relación de voltaje se lleva a cabo en todas las derivaciones a fin de comprobar si las respectivas tensiones concuerdan con las marcadas en la placa de características del transformador.

Los ensayos de la polaridad de transformadores monofásicos y el símbolo del grupo vectorial de transformadores trifásicos se llevan a cabo para comprobar si el transformador, tal como ha sido construido y conectado, cuenta con la polaridad prevista y con las relaciones vectoriales de tensión, que se deducen de las mediciones realizadas.

Dichas relaciones son de gran importancia en muchos casos, siendo su conocimiento imprescindible cuando se trata de acoplar dos o más transformadores en paralelo, además por el hecho de tener que alimentar eléctricamente algunas fuentes motrices de mecanismos o sistemas mecánicos que admiten un solo sentido de movimiento.

#### 5.6. - Medida del Voltaje de Impedancia:

Se efectúa esta medida como comprobación de los valores garantizados, así como también para obtener datos para el cálculo de rendimiento.

Este voltaje se mide a frecuencia nominal ya que el voltaje inducido es función de la frecuencia y con una onda aproximadamente sinusoidal que es con la que trabajará el transformador.

Se podrá realizar la medida con una corriente que no sea la nominal, en aquellos casos en que no se pueda obtener dicha corriente. La corrección de temperatura se realizará toda vez que la temperatura de trabajo de los devanados será más alta y por lo tanto su resistencia mayor que al momento de la medición.

Cuando los devanados no estén conectados al tap o derivación principal la corriente no será la nominal ya que al aumentar o disminuir espiras la reactancia varía.

En transformadores de tres o más devanados el voltaje de impedancia será medido entre bobinados tomados en pares, mientras que los demás se encuentran en circuito abierto ya que de no ser así el voltaje medido sería más alto es decir erróneo.

#### 5.7. - Medida de las Pérdidas con Carga:

Este ensayo nos sirve para comprobar si el transformador no tiene más pérdidas con carga que las garantizadas.

Además éstas pérdidas demuestran la habilidad del transformador para soportar su carga sin pérdida excesiva de potencia en sus devanados.

El corto-circuito debe ser lo más perfecto ya que de lo contrario, la pérdida medida será mayor que la real. Se mide a frecuencia nominal ya que las pérdidas con carga, comprenden, además de las pérdidas óhmicas puras, las pérdidas en la carga producidas por la desigual distribución de la densidad de corriente en los conductores. Dicha desigualdad puede suponerse que obedece a las corrientes parásitas superpuestas a la densidad de corriente teóricamente uniforme.

El valor de la corriente de prueba, la temperatura de referencia a que debe ser corregido, lo relacionado a las derivaciones así como el caso de transformadores de tres o más devanados, está descrito en la cláusula 5.6.

#### 5.8.- Medida de las Pérdidas y Corriente sin Carga:

Este ensayo se lleva a cabo para verificar las pérdidas sin carga garantizadas por el fabricante, además estas pérdidas nos indican la calidad de hierro empleado en la fabricación del núcleo del transformador.

Se realiza la medición a voltaje y frecuencia nominal ya que la densidad de flujo es función del voltaje aplicado y las pérdidas tanto por histéresis como por corrientes parásitas son función de la densidad de flujo, además de la frecuencia y frecuencia al cuadrado respectivamente.

La forma de onda de la tensión aplicada será aproximadamente sinusoidal ya que la densidad máxima de flujo en el núcleo de un transformador varía con la forma de la onda para una tensión eficaz dada, por lo tanto las pérdidas en vacío y la corriente de excitación también varían. Una onda de tensión de cresta (con un factor de forma mayor de 1.11 para una onda sinusoidal) producirá menos pérdidas sin carga que una sinusoidal de igual tensión eficaz.

En consecuencia, si la onda de tensión aplicada difiere de una sinusoidal, deberá procederse a corregir la medida utilizando un voltímetro adecuado para medida de valores medios.

#### 5.9.- Prueba de Elevación de Temperatura:

La prueba de elevación de temperatura la efectuaremos para verificar si el transformador soporta su carga sin excesivo calentamiento. Las temperaturas que alcanza un transformador son importantes para la determinación de la cantidad de sobrecarga y el lapso de tiempo que ésta puede aplicarse.

Se efectúa la medida de la temperatura del aire de enfriamiento por lo menos con tres termómetros, para obtener un valor más exacto, y a una distancia de uno a dos metros ya que en esa zona prácticamente se va a irradiar el calor. Las lecturas se toman durante el último cuarto del período de prueba porque la temperatura en ese lapso va a ser la más crítica por ser la mayor.

Las temperaturas de los bobinados lo encontramos por resistencia porque es sumamente difícil medir por otros métodos; esta medida se debe hacer en menos de cuatro minutos ya que la temperatura decrece una vez que se ha desconectado la fuente a la velocidad de más de  $1^{\circ}\text{C}$  por minuto, por esta razón debemos realizar las correcciones adecuadas.

La prueba durará hasta que la elevación de temperatura no se incremente por más de  $3^{\circ}\text{C}$  en una hora o cuando la temperatura del nivel superior del aceite no varíe más de  $1^{\circ}\text{C}$  por hora durante cuatro horas consecutivas, porque se considera que en estas condiciones prácticamente el equilibrio térmico ha sido alcanzado.

Tanto para transformadores tipo seco como para sumergidos en aceite, se dan factores de corrección para la elevación de temperatura en aquellos casos en los que no se puede suministrar la corriente nominal o las pérdidas totales.

Los diferentes métodos de prueba serán aplicados de acuerdo a la disponibilidad de equipo que tenga un determinado laboratorio.

En el método de corto-circuito, se suministran las pérdidas sin carga y con carga a  $75^{\circ}\text{C}$  ya que la resistencia de los bobinados varía con la temperatura y a frecuencia nominal por lo expuesto en las cláusulas 5.6 y 5.7.

Se reduce luego la alimentación a corriente nominal y se mantiene por una hora ya que la disminución de temperatura de los bobinados no es igual a la del aceite por el gran volúmen de éste; por esta razón este valor tomamos en cuenta para la determinación de la elevación de temperatura de los bobinados sobre la temperatura del medio de enfriamiento.

#### 5.10. Prueba de Voltaje Inducido:

Esta prueba tiene por objeto verificar el estado del aislamiento de los bobinados.

*El voltaje aplicado será alterno, aproximadamente sinusoidal y a una frecuencia mayor que la nominal, a fin de mantener el flujo en el núcleo por debajo del límite de saturación, evitándo así la circulación de una corriente excesiva durante la prueba.*

La duración de la prueba será fijada de acuerdo a la frecuencia empleada ya que la ruptura del aislamiento puede deberse cuando menos a: erosión por efecto corona, formación de burbujas de gas por efecto de corona, pérdida en el dieléctrico; siendo cada uno de estos factores afectado por la frecuencia del voltaje.

La prueba se iniciará y terminará a un voltaje no mayor que un tercio del valor de prueba antes de abrir el interruptor, por seguridad, ya que el arco producido puede ser muy destructivo.

Se debe preveer que el voltaje que aparece en las diferentes partes del bobinado no exceda del doble que cuando se aplica el nominal porque puede ser peligroso. Así mismo se pone a tierra el núcleo, estructura y tanque para evitar la aparición de voltajes altos de mucho peligro.

#### 5.11. Prueba de Voltaje Aplicado:

Esta prueba indica la habilidad del aislamiento para soportar cambios bruscos del voltaje nominal.

El voltaje aplicado será alterno manofásico porque la prueba será aplicada a cada bobina sucesivamente y será la onda a proximadamente sinusoidal, de una frecuencia no menor que el 80% de la nominal y durará 60 seg., porque la ruptura del aislamiento como anotamos en la cláusula 5.9 está afectada por la frecuencia del voltaje y el tiempo de aplicación.

La prueba se iniciará y terminará a un voltaje no mayor que un tercio del valor de prueba antes de abrir el interruptor, por seguridad, ya que el arco producido puede ser muy destructivo. El núcleo, estructura y tanque serán conectados a tierra para evitar la aparición de voltajes peligrosos.

Para bobinados de diferente voltaje nominal el voltaje de prueba estará basado en el voltaje del sistema, porque serán esas las condiciones reales de trabajo.

5.12. - Prueba de Voltaje de Impulso de Onda Completa:

Esta prueba demuestra la resistencia del aislamiento a los voltajes de impulso que los pararrayos y el blindaje de la línea permiten llegar al transformador.

Los transformadores deben ser diseñados para oponer ciertas resistencias tipo a la impulsión, llamados niveles básicos de aislamiento a impulso (BIL). En la prueba misma, la onda plena representa una onda viajera causada por una descarga atmosférica a cierta distancia del transformador.

La prueba se aplicará a cada terminal de línea de la bobina, porque en realidad la descarga puede producirse en cualquiera de ellas. La forma de onda será de 1.2/50 u seg. con tolerancias grandes, esto porque tratándose de tiempos tan pequeños es un poco difícil obtenerlos con tanta precisión.

Un terminal de línea de la bobina se conectará al generador de impulso y su otro terminal será conectado a tierra directamente o a través de una impedancia de bajo valor si se desean hacer mediciones de corriente a tierra. El tanque del transformador también será conectado a tierra directamente o a través de una impedancia de bajo valor por la misma razón anterior.

Todos los terminales de las bobinas que no estén bajo prueba, serán conectados a tierra directamente o a través de resistencias con el objeto de limitar el voltaje que aparezca sobre ellos a menos del 75% del nivel de onda completa de prueba de las bobinas asociadas. Los descargadores deben ser quitados o sus aberturas incrementadas, para prevenir una descarga por allí durante la prueba.

En transformadores diseñados para servicio con neutro conectado a tierra, el terminal del neutro de los devanados en Y, generalmente es de capacidad inferior a la de los terminales de línea, el aislamiento es por lo tanto de un BIL inferior.

Son aplicadas dos ondas a cada terminal de línea, la una entre el 50 y 75% del voltaje de onda completa y la otra del 100%, para el estudio de las variaciones de la forma de onda en los oscilogramas obtenidos.

La polaridad es negativa ya que en esta clase de tensiones la polaridad de los electrodos tiene su influencia; siendo el voltaje de descarga de polaridad negativa mayor que el de polaridad positiva para una distancia de electrodos determinada.

C A P I T U L O VI

PRUEBAS EFECTUADAS A UN TRANSFORMADOR DE  
"ECUATORIANA DE TRANSFORMADORES CIA. LTDA!"

6.1. - Generalidades:

Las pruebas fueron realizadas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional.

El transformador bajo prueba corresponde a las siguientes características:

Serie N<sup>o</sup> 67717463 DY5  
 Trifásico Potencia = 100 KVA  
 Frecuencia = 60 Hz Tipo = ONAN  
 % IZ a 75° C = 3.0 Clase = DA  
 Voltaje baja tensión = 210/121 V Elevación = 55° C  
 Voltaje alta tensión = 22.000 V Peso Total = 980 Kg.

Conecciones Tap Alta Tensión			
Volt.	Amp	Pos.	Conm.
23 100		1	1 - 2
22 550		2	2 - 3
22 000	2.63	3	3 - 4
21 450		4	4 - 5
20 900		5	5 - 6

6.2.- Pruebas y Resultados de las Mismas:

6.2.1.- Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite:

Circuito Utilizado..- Se muestra en la Fig. 6.1.

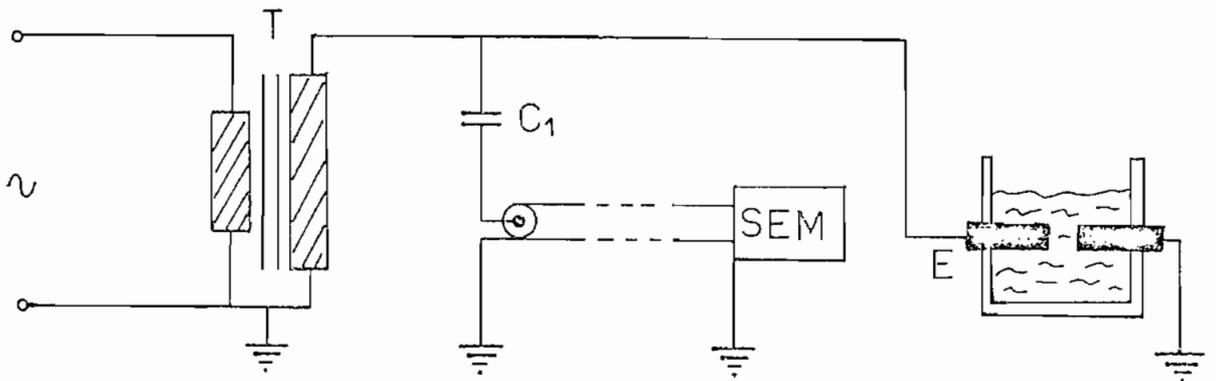


Fig. 6.1.- Diagrama para la prueba de rigidez dieléctrica del aceite.

Características del Equipo..-

Transformador de pruebas (T) .-

MESSWAN DLER - BAV

6 MBH BAMBERG

Potencia = 5 KVA

Voltaje primario = 220 V

Voltaje secundario = 100 KV

Corriente primaria = 22.7 A

Corriente secundaria = 0.005 A

Frecuencia = 60 Hz.

Voltímetro (SEM) .-

Clase = 1

Voltaje = 150 V (con la escala graduada de 0 a 100 KV)

Condensador ( $C_1$ ) .-

Capacidad = 100 p.F.

Electrodos (E) .-

Tipo = Cilíndricos

Diámetro = 25.4 m.m.

Separación = 2.54 mm.

Resultado. .-

Se realizaron 5 pruebas a la misma muestra cuyos voltajes de disrupción fueron:

25.5 KV

22 KV

20 KV

21 KV

23 KV

Promedio = 22.3 KV.

Análisis. .-

Se ha considerado un valor mínimo crítico de 22 KV de voltaje de disrupción del aceite aislante, para poder continuar con las pruebas.

En realidad para esta clase de electrodos el voltaje de disrupción para un buen aceite aislante es 26 KV.

6.2.2.- Medición de la Resistencia de Aislamiento:

Circuitos Utilizados..- Aparecen en las Figs.: 6.2, 6.3 y 6.4.

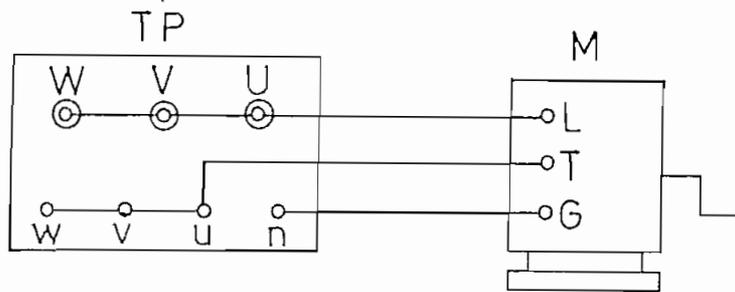


Fig. 6.2.- Aislamiento entre el Devanado de Alta, contra el de Baja Tensión.

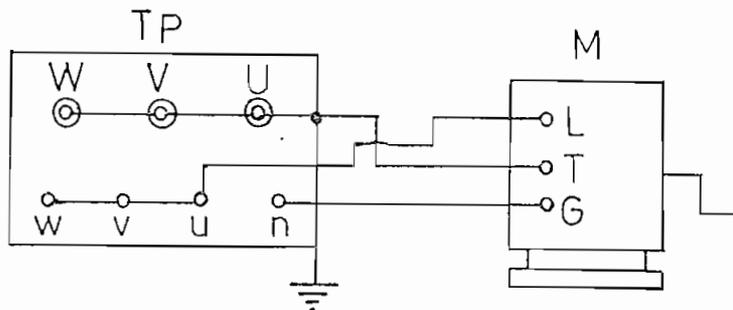


Fig. 6.3.- Aislamiento entre el Devanado de Baja Tensión contra Tanque y Tierra.

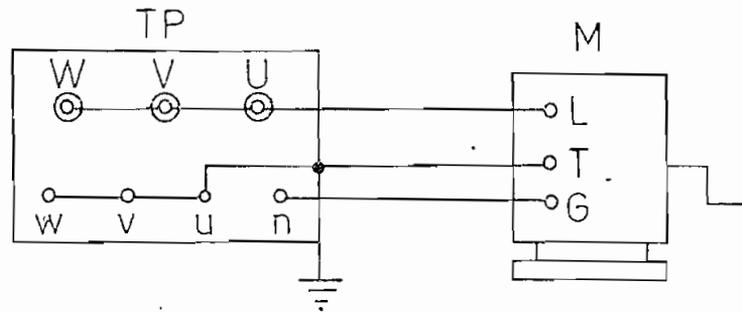


Fig. 6.4.- Aislamiento entre del Devanado de Alta Tensión contra Tanque y Tierra.

Características del Equipo:

Transformador bajo prueba (TP).- Características dadas en 6.1.

Medidor de resistencia de aislamiento (Megger M).-

YEW

Voltaje = 2 000 V.

Resistencia = 5 000 M $\Omega$

Resultado.-

Las lecturas obtenidas fueron las siguientes:

Devanado a alta contra el de baja tensión.

$t = 15 \text{ seg.}$                        $R = 1\,600 \text{ M}\Omega$

$t = 60 \text{ seg.}$                        $R = 2\,000 \text{ M}\Omega$

Factor absorción = 1.25

*Devanado de Baja Tensión Contra Tanque y Tierra*

$t = 15 \text{ seg.}$                        $R = 4\,600 \text{ M}\Omega$

$t = 60 \text{ seg.}$                        $R = 6\,100 \text{ M}\Omega$

*Factor absorción = 1.34*

*Devanado de Alta Tensión Contra Tanque y Tierra*

$t = 15 \text{ seg.}$                        $R = 5\,000 \text{ M}\Omega$

$t = 60 \text{ seg.}$                        $R = 7\,000 \text{ M}\Omega$

*Factor absorción = 1.4*

Análisis:-

*El aislamiento se encuentra en estado aceptable.*

6.2.3.- Medición de la Relación de Voltaje:

Circuito utilizado.- Se indica en la Fig. 6.5

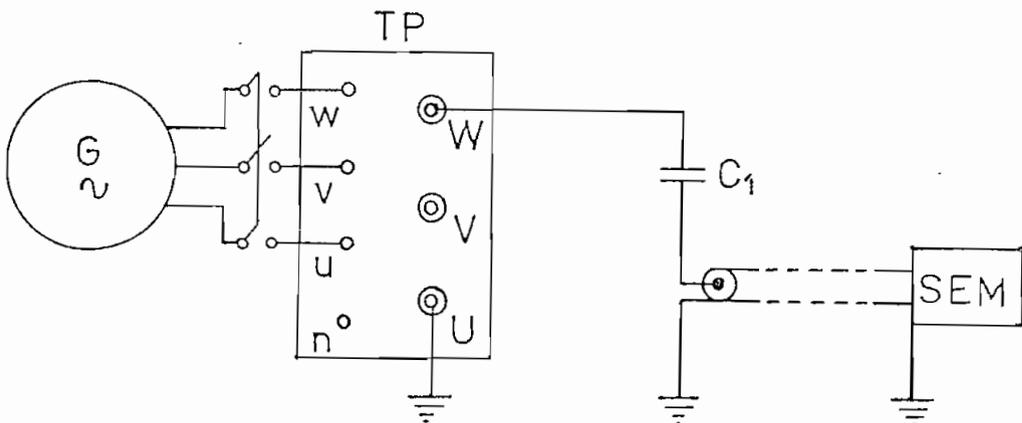


Fig. 6.5.- *Relación de Transformación.*

Características del Equipo.-

Regulador doble de inducción (G).-

SIEMENS

Trifásico

Potencia	=	88 KVA
Voltaje primario	=	220 V
Voltaje secundario	=	0 ..... 506 V
Intensidad primaria	=	2 X 88 A.
Intensidad secundaria	=	100 A
Frecuencia	=	60 Hz.

Transformador bajo prueba (TP) .- Características dadas en 6.1.

Voltímetro (SEM).- Características dadas en 6.2.1.

Condensador (C1).- Características dadas en 6.2.1.

Resultado.-

Voltaje aplicado = 210 V.

$$\text{Voltaje medido} \left\{ \begin{array}{l} \text{Fases U - V} = 20.9 \text{ KV} \\ \text{Fases V - W} = 21 \text{ KV} \\ \text{Fases W - U} = 21 \text{ KV} \end{array} \right.$$

Análisis.-

La norma de una tolerancia de  $\pm \frac{.1}{200}$  de la relación declarada por el fabricante.

El transformador en realidad tiene una tolerancia de  $-\frac{1}{22}$  en el caso más desfavorable.

6.2.4.- Símbolo del Grupo Vectorial:

Circuito Utilizado..- Se ilustra en la Fig. 6.6

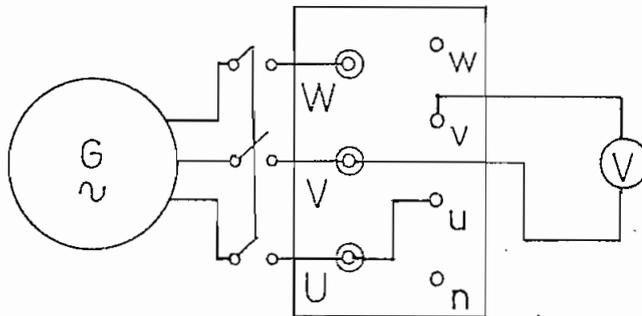


Fig. 6.6.- Grupo de Conección.

Características del Equipo..-

Transformador bajo prueba (TP) .- Características dadas en 6.1.

Regulador doble de inducción (G) .- Características dadas en 6.2.3.

Voltímetro (V).-

SIEMENS

Clase 1

Frecuencia = 15 ..... 5 000 Hz.

Voltaje = 3 ..... 600 V

Resultado.-

Voltaje aplicado = 400 V

Voltajes medidos  $\left\{ \begin{array}{l} Vw = 404 \text{ V} \\ Vv = 404 \text{ V} \\ VU = 400 \text{ V} \\ VW = 401 \text{ V} \\ Ww = 403 \text{ V} \end{array} \right.$

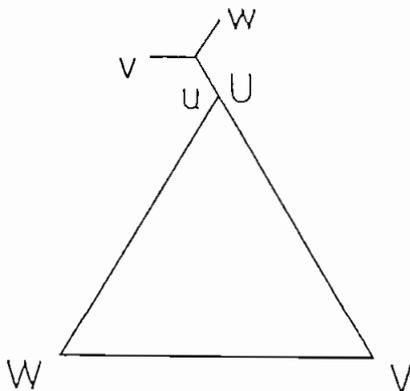


Fig. 6.7.- Diagrama para la Medición.

Análisis. -

El grupo de conexión es DY5

6.2.5.- Medida de las Pérdidas y Corriente sin Carga:

Circuito Utilizado. - Se muestra en la Fig. 6.8.

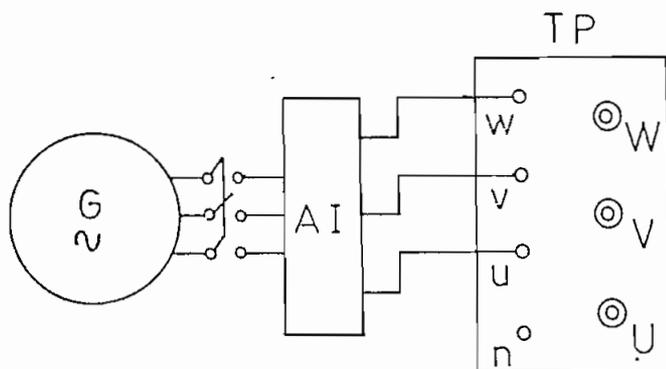


Fig. 6.8.- Pérdidas y Corriente Sin Carga.

Características del Equipo. -

Analizador Industrial (AI). -

SIEMENS

Clase 1

Potencia activa = 0 .... 200 KW

Potencia reactiva = 0 .... 200 KVAR

Voltaje = 125 ..... 500 V

Intensidad = 2.5 .... 250 A

Frecuencia = 45 ..... 65 Hz.

*Transformador bajo prueba (TP).*.- Características dadas en 6.1.

*Regulador doble de inducción (G).*.- Características dadas en 6.2.3.

Resultado..-

<i>Voltaje aplicado</i>	=	210 V
<i>Intensidad fase U</i>	=	16 A
<i>Intensidad fase V</i>	=	10.5 A
<i>Intensidad fase W</i>	=	16 A
<i>Potencia activa</i>	=	790 W
<i>Potencia reactiva</i>	=	4 820 VAR

Análisis..-

*El fabricante no declara pérdidas en el núcleo, ni corriente sin carga.*

6.2.6.- Medida de las Pérdidas con Carga:

Circuito Utilizado..- Aparece en la Fig. 6.9

Características del Equipo..-

*Regulador doble de inducción (G).*.- Características dadas en 6.2.3.

*Analizador industrial (AI).*.- Características dadas en 6.2.5.

*Transformador bajo prueba (TP). - Características dadas en 6.1.*

Resultado. -

<i>Voltaje aplicado</i>	=	474 V
<i>Intensidad fase U</i>	=	1.65 A
<i>Intensidad fase V</i>	=	1.7 A
<i>Intensidad fase W</i>	=	1.65 A
<i>Potencia activa</i>	=	552 W
<i>Potencia reactiva</i>	=	1 232 VAR
<i>Potencia activa real</i>	=	1 458 W

Análisis. -

*El fabricante no declara pérdidas en los devanados.*

6.2.7. - Prueba de Elevación de Temperatura y Medición del Voltaje de Impedancia:

Circuito Utilizado. - *Está dado en la Fig. 6.10.*

Características del Equipo. -

*Transformador (TE) .-*

<i>Trifásico</i>	DY5
<i>Potencia</i>	= 50 KVA
<i>Voltaje primario</i>	= 231.13 V
<i>Voltaje secundario</i>	= 6 150 V
<i>Intensidad primaria</i>	= 125.2 A
<i>Intensidad secundaria</i>	= 4.82 A
<i>Frecuencia</i>	= 60 Hz.

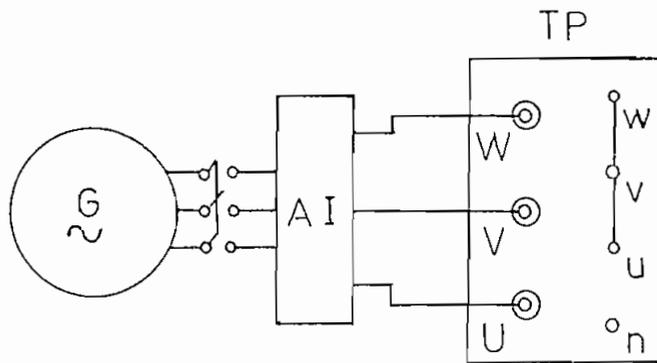


Fig. 6.9.- Pérdidas con Carga.

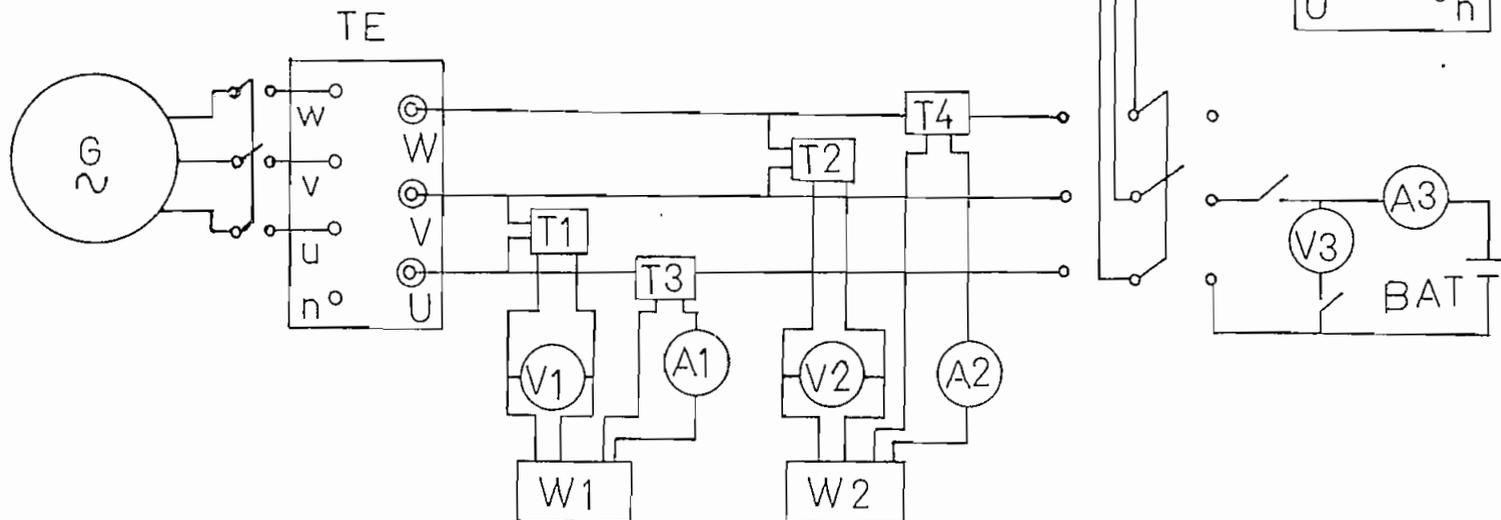


Fig. 6.10.- Elevación de Temperatura y Voltaje de Impedancia

*Transformadores de Intensidad (T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>).*-

*NORMA*

*Potencia = 5 VA*

*Voltaje = 2 KV*

*Corriente = 5 10 25 50 600 A*

*Frecuencia 50 Hz*

*Voltímetros (V<sub>1</sub> y V<sub>2</sub>).*-

*NORMA*

*Clase 0.5*

*Voltaje 65 130 260 V.*

*Amperímetros (A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub>).*-

*NORMA*

*Clase 0.5*

*Intensidad 5 20 A*

*Watímetros (W<sub>1</sub> y W<sub>2</sub>).*-

*AEG*

*Clase 0.5*

*Potencia 0 ..... 2.400 W*

*Voltaje 48 ..... 480 V*

*Intensidad 5 A*

*Frecuencia 40 ..... 400 Hz.*

*Voltímetro (V<sub>3</sub>).*-

*NORMA*

*Clase 0.5*

*Voltaje 0 ..... 30 V*

Amperímetro (A<sub>3</sub>).-

NORMA

Clase 0.5

Intensidad 0. . . . . 5A

Banco de baterías (BAT).-

Voltaje = 12 V

Termómetro (MT).-

De mercurio

Escala - 10° C a 120° C

Transformador bajo prueba (TP).- Características dadas en 6.1.

Regulador doble de inducción (G).- Características dadas en 6.2.3.

Resultado.-

TABLA 6.1

Datos de la Prueba de Elevación de Temperatura

Voltaje aplicado = 850 V

Intensidad = 3.2 A

Potencia total = 2 240 W

Hora	Temp. Ambiente (°C)	Temp. Aceite (°C)	Voltaje cc. (V)	Intensid. cc. (A)	Resisten. ( )	Temp. bobinados (°C)
9:5	20	21	11.5	0.172	67	21
9:45	21	27	11.7	0.158	74.1	49
10:10	21.8	32	11.9	0.156	76.6	57
10:40	22	35	11.6	0.148	80.5	72.9
11:10	22	38	11.9	0.146	81.6	76.5
11:40	22.1	40	11.9	0.144	82.6	80.5
12:10	22.2	41.8	11.9	0.142	84	85
12:30	22.4	43	11.6	0.138	84	85
13:10	22	45	11.7	0.14	84	85
13:30	22	45.9	11.8	0.14	84	85

Reduciendo la alimentación a:

Voltaje aplicado = 780 V.

Intensidad = 2.63 A

Potencia total = 1544 W.

Hora	Temp. Ambiente (°C)	Temp. Aceite (°C)	Voltaje cc. (V)	Intensid. cc. (A)	Resisten.	Temp. bobinados (°C)
14:30	22	45	11.8	0.142	83.4	83

La temperatura del aceite se midió en el conservador. La temperatura de los bobinados se obtuvo a partir del método de la resistencia.

Análisis. -

Para elevación de temperatura cumple la norma.

En lo relacionado con el voltaje de impedancia, la norma da una tolerancia de  $\pm \frac{1}{10}$  del voltaje de impedancia declarado por el fabricante. El transformador en realidad tiene una tolerancia de  $+\frac{2}{10}$ .

6.2.8.- Prueba de Voltaje Inducido:

Circuito Utilizado. - Se indica en la Fig. 6.11

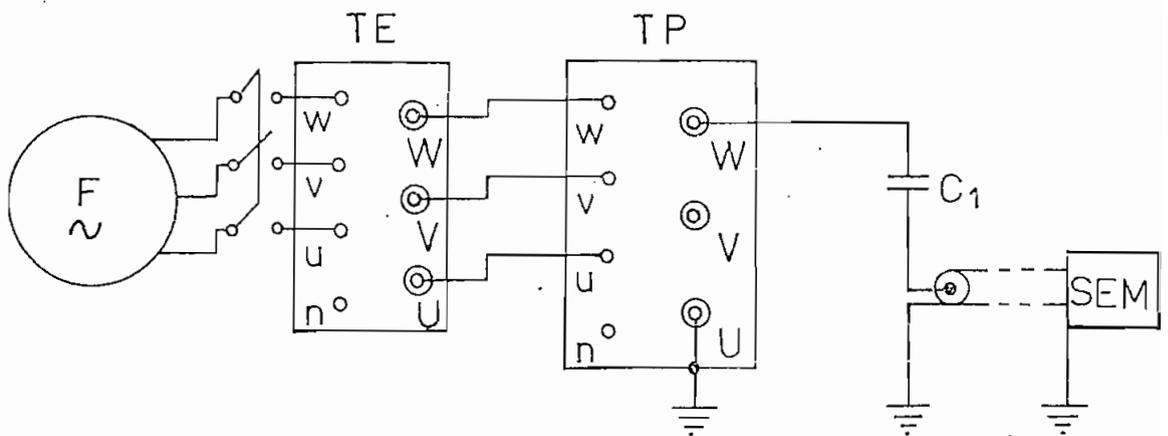


Fig. 6.11 Esquma para la prueba de Voltaje Inducido.

Características del Equipo. -

Generador (F)

WESTINGHOUSE

Potencia = 18.75 KVA  
Voltaje = 180 - 220 V  
Corriente = 60 - 49 A  
Fases = 3  
Velocidad = 1 200 RPM  
Frecuencia = 440 Hz.  
Voltaje exc. = 250 V  
Corriente exc. = 18 A

Transformador (TE).- Características dadas en 6.2.7

Transformador Bajo Prueba (TP).- Características dadas en 6.1.

Voltímetro (SEM).- Características dadas en 6.2.1.

Condensador (C<sub>1</sub>).- Características dadas en 6.2.1.

Resultado.-

Voltaje aplicado = 448 V.  
Corriente = 2.8 A.  
Voltaje medido = 47 KV  
Tiempo = 18 seg.  
Frecuencia = 440 Kz.

Análisis.-

El transformador no presenta signos de alteración o de falla. Cumple la norma.

6.2.9.- Prueba de Voltaje Aplicado:

Circuito Utilizado.- Se ilustra en la Fig. 6.12

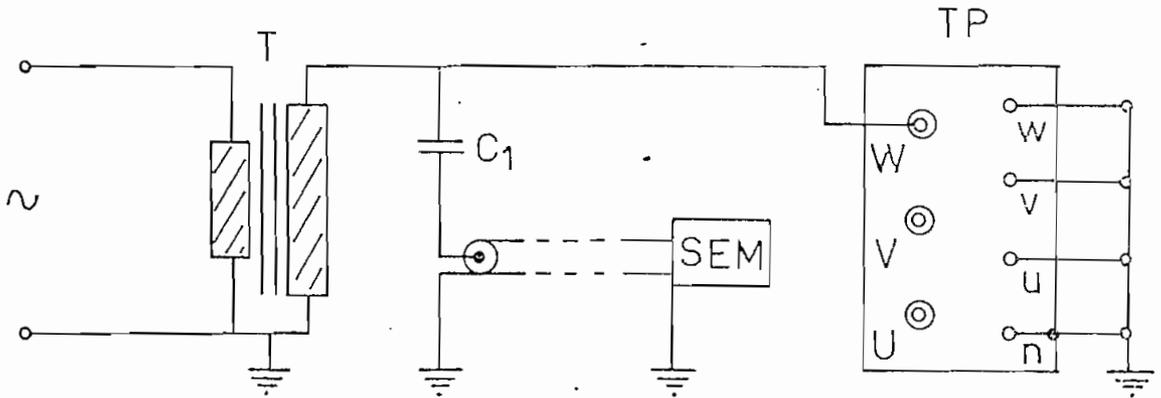


Fig. 6.12 Diagrama para la Prueba de Voltaje Aplicado.

Características del Equipo.-

Transformador de pruebas (T).- Características dadas en 6.2.1.

Condensador ( $C_1$ ).- Características dadas en 6.2.1?

Voltímetro (SEM).- Características dadas en 6.2.1.

Transformador bajo prueba (TP).- Características dadas en 6.1.

Resultados.-

Voltaje aplicado = 50 KV (sucesivamente a cada fase)  
Tiempo = 1 minuto.

Análisis.-

El transformador no presenta signos de alteración o de falla. Cumple la norma.

6.2.10.- Prueba de Impulso de Onda Completa:

Circuito utilizado.- Está dado en la Fig. 6.14.

Características del Equipo.-

$R_S = 10 M\Omega$	$C_S = 6.000 pF$
$R_L = 50 K\Omega$	$C_B = 1.200 pF$
$R_E = 9.500 \Omega$	$C_T = 487.3 nF$
$R_D = 416 \Omega$	$R_T = 150 \Omega$
$R_M = 140 M\Omega$	

Kilo-voltímetro (V<sub>DC</sub>) .-

En realidad este aparato es un mili-amperímetro con la escala graduada en KV.

GOSSEN

Clase 0.5

Voltaje 0 . . . . 140 KV

(0.5 mA 300 mV)

Osciloscopio (ORC).-

TEKTRONIC INC.

Tipo 564 B Serie 031811

Vertical - Amplificador de doble trazo 3A72

Canal 1

Horizontal - Base de tiempo 2B67

Cámara fotográfica.-

TEKTRONIC INC.

POLAROID

Serie 125 - f1.9 - 1:0.85 MAG

Cálculo del factor de multiplicación del divisor de tensión capacitivo.-

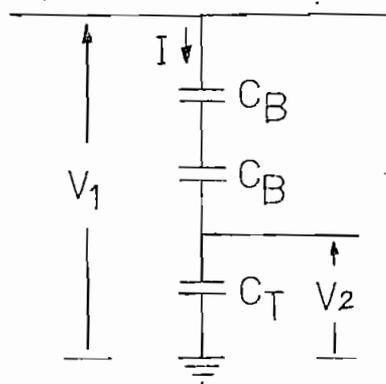


Fig. 6.13. - Divisor de Tensión

$$V_1 = IX_1 \qquad C_1 = \frac{C_B \cdot C_T}{2C_T + C_B}$$

$$X_1 = \frac{1}{WC_1} = \frac{2C_T + C_B}{WC_B \cdot C_T}$$

$$V_1 = I \frac{2C_T + C_B}{WC_B \cdot C_T}$$

$$V_2 = IX_2 \qquad C_2 = C_T$$

$$X_2 = \frac{1}{WC_2} = \frac{1}{WC_T}$$

$$V_2 = I \frac{1}{WC_T}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{2C_T + C_B}{C_B} = \frac{2 \times 487.3 + 1.2}{1.2}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = 813.17$$

Rendimiento del Sistema.-

$$C'_S = 3000 \text{ p}^F$$

$$C'_B = 600 \text{ p}^F$$

$$N = \frac{C'_S}{C'_B + C'_S} \times 100 = 83.4\%$$

Medida de  $V_1$  con el Osciloscopio.-

$$V_{DC} = 100 \text{ KV.}$$

$$V_1 = \frac{813.17}{1000} \times \frac{\text{Volt.}}{\text{Div.}} \times \text{Div.} \quad [\text{KV}]$$

$$\text{Escala} = 20 \frac{\text{Volt.}}{\text{Div.}}$$

$$\text{Div.} = 4.7$$

$$V_1 = 76.53 \text{ KV.}$$

Para comprobar si el osciloscopio está calibrado, realizamos la medida con esferas esferométricas de 10 cm. de diámetro.

La disrupción se produce a una distancia de 4 cm. entre esferas.

Consultando la tabla 3.3 obtenemos un valor de:

$$V_1 = 105 \text{ KV.}$$

para condiciones normales.

Realizando la corrección para:

$$b = 540 \text{ mm. Hg.}$$

$$t = 22^\circ \text{ C.}$$

Tenemos:

$$\delta = 0.386 \frac{b}{273 + t} = 0.386 \frac{540}{273 + 22}$$

$$\delta = 0.705$$

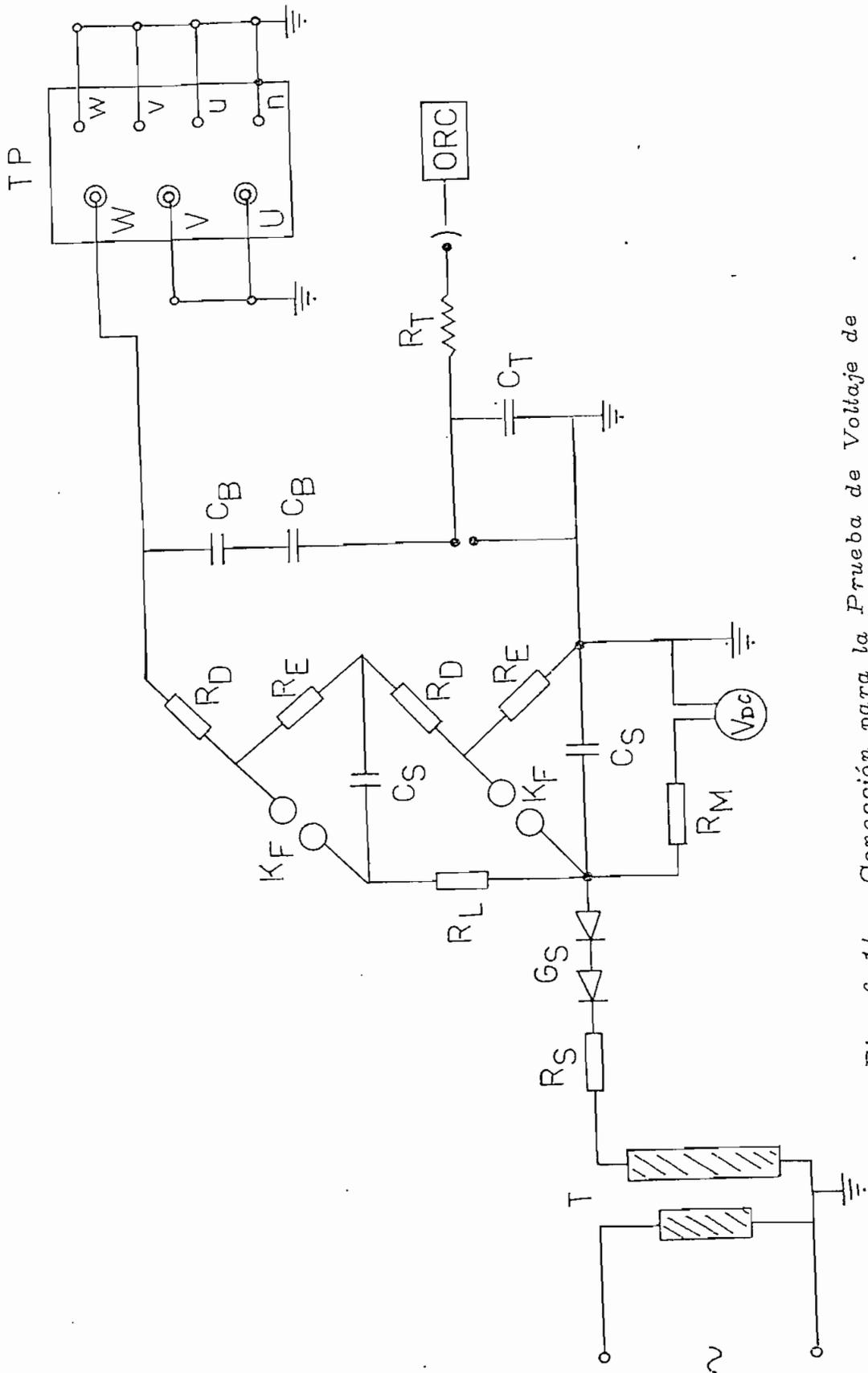


Fig. 6.14.- Conexión para la Prueba de Voltaje de Impulso.

que corresponde a:

$$K = 0.72 \quad (\text{en la tabla 3.2}).$$

Entonces:

$$V_1 = 105 \times 0.72 = 75.6 \text{ KV.}$$

El error entre la medida por medio del osciloscopio y por las esferas espirométricas de 10 cm. de diámetro es 1.23%, por lo que concluimos que la medida en el osciloscopio es correcta.

El disparo de la señal en el osciloscopio se lo realiza por medio de una antena.

Resultado:-

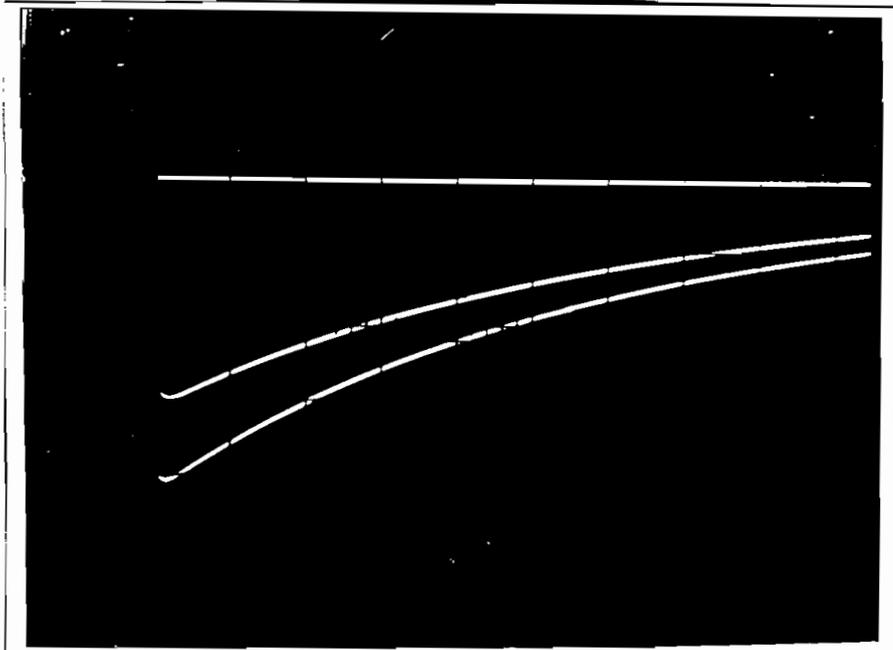
Se aplicaron don ondas a cada fase obteniéndose los resultados dados en la tabla 6.2.

TABLA 6.2

Resultados de la Prueba de Impulso

V real %	VDC (KV)	Divis. ORC	V real (KV)
75	124	97.75	5.76
100	162		7.68

El oscilograma corresponde a la fase W, siendo similares los de las fases U y V.



Análisis.

Del análisis de los oscilogramas se deduce que el transformador no presenta signos de alteración o de fa lla. Cumple la norma.

6.3.- Conclusiones y Recomendaciones:

La sencillez aparente del transformador, oculta en rea lidad fenómenos al menos tan complejos como los que se pro ducen en las máquinas rotativas. Como ejemplo podemos re ferirnos a los fenómenos de alta tensión, peculiaridad exclu siva de los transformadores, que, conectados a redes que

tienen cientos de kilómetros de longitud, hacen tan laboriosa su perfecta ejecución y su buena permanencia en servicio.

Estos fenómenos obligan al constructor a estudiar ques tiones que no se presentan en otras máquinas. El estudio tan complejo de los aislantes es igualmente más peculiar de los transformadores que de las otras máquinas.

El proyecto de normas para pruebas de transformadores, que se ha descrito en capítulos anteriores; puede eventualmen te ser tomado en cuenta especialmente por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, el mismo que con su mayor y mejor experiencia, podría adaptarlo, introduciendo las reformas que creyere conveniente para su mejor aplicación.

En todo caso el presente proyecto es un primer paso dado en este campo en nuestro país.

La utilización de procedimientos adecuados para la rea lización de las pruebas, traerá a las empresas interesadas varias ventajas que deben ser tomadas muy en cuenta para la mejor marcha económica y técnica de las mismas. Los tra bajos serán realizados en mejor forma y con mejores resul tados si se posee un perfecto conocimiento del trabajo a rea lizarse, del equipo adecuado y de la secuencia de realización de cada una de las pruebas a realizarse.

El cumplimiento cabal de las especificaciones técnicas que deben cumplir los transformadores, traerá como consecuencia un mejor funcionamiento del sistema eléctrico, que redundaría en beneficio económico y técnico de las Empresas Eléctricas del país.

B I B L I O G R A F I A

- *La Normalización Técnica y el Control de Calidad.*  
Ingeniero Raúl Estrada  
Director Técnico del Instituto Ecuatoriano de Normalización.
  
- *Electric Machinery*  
A. E. Fitzgerald  
Charles Kingsley, Jr.  
Second Edition  
Mc Graw - Hill Book Company, Inc. Tokio.
  
- *Transformer Engineering*  
L. F. Blume, A. Boyajian, G. Camili  
T. C. Lennov, S. Minneci, V. M. Montsinger  
John Wiley Sons, Inc. New York.
  
- *Transformadores Para la Industria Eléctrica*  
Richard L. Bean, Nicholas Chackan, Harold R. Moore y  
Edward C. Wentz.  
Compañía Editorial Continental, S. A. México.
  
- *National Electrical Manufacturers Association*  
Dry-type Transformer For General Applications  
Pub. Nº ST20 - 1972.
  
- *Código de Pruebas A.S.A. C57 - 12.90*

- *Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna*  
*Alexander S. Langsdorf, M. M. E. D. Sc. 1967*  
*Mc Graw - Hill Book Company*
  
- *Transformadores*  
*Ingeniero Héctor M. Pacheco Valencia*  
*E. S. I. M. E. México 1972*
  
- *International Electrotechnical Commission.*  
*Power Transformer. Publication 76*
  
- *Técnica de la Alta Tensión.*  
*Dr. Ing. Arnold Roth*  
*Editorial Labor S.A. 1966.*
  
- *Los Ensayos de Transformadores Industriales*  
*Ingeniero Manuel Oliveira Reyes*  
*Editorial Tecnos S.A. Madrid.*
  
- *Manual de Ingeniero Electricista*  
*Harold Pender, Ph. D, Sc. D.*  
*William A. Del Mar, A. C. G. I.*  
*Editorial Hispano Americana S.A.*  
*Buenos Aires.*
  
- *Prueba de Transformadores para la "Empresa Eléctrica*  
*Quito S.A."*

*Informe Presentado por el Ingeniero Paúl Ayora y Señor Carlos Narváez. Aprobado por el Ingeniero Remigio Maldonado, Jefe del Departamento de Potencia E. P. N.*

- *Alta Tensión*

*Ingeniero Alfredo Mena*

*· Poligrafiados Año Lectivo 1973 - 1974.*