

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION
Y DISEÑO DE UNO TIPO COLUMNA.**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:**

FERNANDO BARRERA PALAFOX

Director de Tesis: Ingeniero Antonio Herrera Mejía



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

	Pagina
<u>INTRODUCCION:</u>	1
CAPITULO PRIMERO.	
I. A.- CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRANSFORMADOR.	
a).- Definición del transformador.	3
b).- Diagrama representativo.	4
c).- Partes constitutivas.	5
B.- CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES.	
a).- Por la forma de su núcleo.	7
b).- Por el número de fases.	
c).- Por su medio refrigerante.	
d).- Por el tipo de regulación.	
e).- Por el tipo de operación.	
f).- Por el tipo de instalación.	
g).- Por el tipo de enfriamiento.	8
CAPITULO SEGUNDO	
II. A.- PRINCIPIOS DE OPERACION.	
a).- Principio de operación.	10
b).- Secuencia de funcionamiento.	
c).- Relación de transformación.	11
B.- DETALLES DE CONSTRUCCION.	
a).- Núcleo.	15
b).- Tipos de devanados.	
c).- Partes secundarias.	
C.- SECUENCIA DE OPERACIONES PARA EL TRANSFORMADOR, ENSAMBLE GENERAL.	
a).- Operaciones para construcción de transformadores.	17

CAPITULO TERCERO.

III. A.- INSTALACION.

a).- Recepción de transformadores.	18
b).- Montaje.	
c).- Conexiones principales.	
d).- Condiciones para conectar en paralelo.	22
e).- Pruebas antes de la instalación.	26

CAPITULO CUARTO.

IV. A.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.

a).- Definición de mantenimiento.	26
b).- Definición de mantenimiento preventivo.	
c).- Definición de mantenimiento correctivo.	28
d).- Equipo para cuadrillas de mantenimiento.	31
e).- Formatos para reporte de mantenimiento preventivo y correctivo.	32
f).- Reparaciones menores en transformadores.	34
g).- Reparaciones mayores en transformadores.	
h).- Tipos de transformadores en aceite.	35
i).- Regeneración de aceite de transformadores.	39

CAPITULO QUINTO.

V. A.- ASPECTOS TECNICOS DE LOS TRANSFORMADORES.

a).- Información general.	43
b).- Descripción técnica de accesorios.	46
c).- Preservación del aceite.	52
d).- Protección de los transformadores.	53

CAPITULO SEXTO

VI. A.-- PRINCIPALES PROEBAS DE LABORATORIO PARA TRANSFORMADO- RES DE DISTRIBUCION.

- a).- Objetivo de las pruebas. 63
- b).- Tipos de pruebas.
- Prueba de prototipo.
 - Prueba de rutina.
 - Prueba opcional.
- c).- Pruebas dieléctricas. 64
- Prueba de rigidez dieléctrica del aceite.
 - Prueba de resistencia de aislamiento.
 - Prueba de potencial aplicado
 - Prueba de potencial inducido.
- d).- Prueba de relación de transformación. 70
- Prueba de polaridad.
 - Prueba de desplazamiento angular.
- e).- Pruebas para determinar los parámetros de un -
transformador. 75
- Medición de la resistencia óhmica de los deva-
nados.
 - Obtención de las características de saturación
del circuito magnético.
 - Medición de pérdidas en vacío.
 - Medición de pérdidas con carga.
 - Regulación.
 - Eficiencia.
 - Impedancia.
- f).- Prueba de impulso. 88
- g).- Prueba de hermeticidad.
- h).- Prueba de temperatura.

CAPITULO SEPTIMO

VII. A.- DISEÑO ELECTRICO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION-TIPO COLUMNA.

CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DEL TRANSFORMADOR.

a).- Cálculos de los volts espiras.	99
b).- Cálculos de las corrientes en los devanados.	101
c).- Cálculos de los conductores de los devanados.	102
d).- Cálculos de los voltajes para las derivaciones - de 2.5% cada una.	
e).- Cálculo del número de espiras para cada posición.	104
f).- Cálculo de la relación de transformación.	105
g).- Distribución de devanados.	107
h).- Cálculo de diámetros de devanados de baja y alta tensión.	110
i).- Cálculo del peso del cobre de baja y alta tensión.	111
j).- Cálculo de las pérdidas totales en los devanados	112
k).- Cálculo del peso del núcleo.	116
l).- Cálculo de las pérdidas del núcleo	120
B.- CALCULO DE LA IMPEDANCIA.	122
C.- CALCULO DE LA EFICIENCIA.	125
D.- CALCULO DE LA REGULACION.	126
E.- CALCULO DEL PORCIENTO DE LA CORRIENTE DE EXITACION	127

CAPITULO OCTAVO.

VIII. A.- CONCLUSIONES.	130
B.- BIBLIOGRAFIA.	131

INTRODUCCION

Actualmente la energía más utilizada es la energía eléctrica, por su facilidad de generación, de transportación y de transformación. Conforme la industria eléctrica fué teniendo un mayor crecimiento, la dificultad de trasladar la energía eléctrica de un lugar a otro fué haciéndose más evidente, -- pues los circuitos eléctricos trabajaban a base de corriente directa y bajo voltaje, lo cuál los hacía sumamente ineficientes para la transmisión. Se vió la necesidad de elevar el voltaje entre el centro de generación a las cargas y básicamente el transformador vino a llenar ésta necesidad junto con el necesario cambio a corriente alterna.

En cualquier circuito eléctrico tendremos por lo menos tres partes fundamentales:

CIRCUITO DE GENERACION

Generalmente a un voltaje no muy alto (10 Kv).

CIRCUITO DE TRANSMISION

A un alto voltaje, con el objeto de hacer ésta transmisión -- más eficiente y menos costosa, pudiendo así transmitir la -- energía a largas distancias, ya que generalmente los centros de consumo se encuentran alejados de los grandes centros de -- generación.

CIRCUITO DE UTILIZACION

En éste circuito el voltaje está a un nivel propio de su utilización, Industrial, Comercial o residencial.

De nuevo es el transformador el encargado de reducir -- el voltaje a su nivel utilizable, cabe mencionar que se há -- simplificado un poco el sistema, ya que tanto la elevación como la disminución del voltaje generalmente se efectúan en varios pasos de circuitos de transmisión, subtransmisión y distribución.

Conociendo la utilidad del transformador y ser parte importante en una subestación es esencial contar con un sistema de instalación, operación y mantenimiento de éste equipo para

asegurar una buena operación; a un nivel profesional que esté al alcance de Ingenieros, Maestros, Técnicos y alumnos interesados en el ramo eléctrico.

El presente tema cubre los principios de operación construcción e instalación de los transformadores, para tener una idea clara del mantenimiento preventivo como correctivo.

También se hace conocimiento de los tipos de conexión y condiciones para conectar en paralelo.

Posteriormente tenemos el diseño de un transformador de distribución tipo columna, aunando las diferentes pruebas eléctricas a que son sometidos los transformadores, para después ser inspeccionados y aprobados por la Comisión Federal de Electricidad.

Finalmente se presenta las conclusiones y la bibliografía que se utilizó para la elaboración de éste tema.

CAPITULO PRIMERO

A.- CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRANSFORMADOR.

a).- Definición del Transformador.

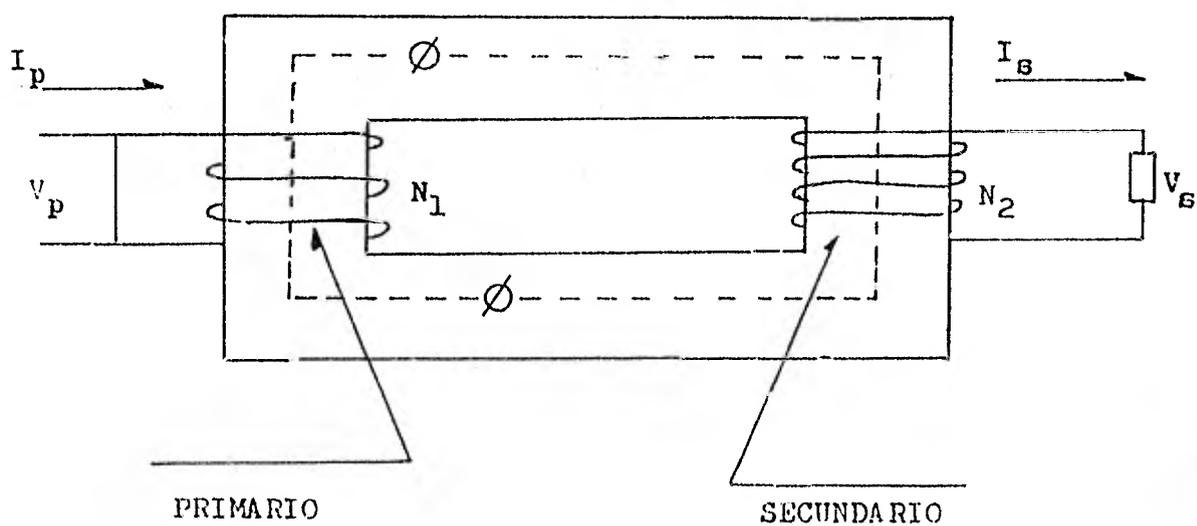
El Transformador es un dispositivo eléctrico estático que por inducción magnética puede transferir energía eléctrica de uno ó más circuitos, a la misma frecuencia, esta transferencia vá generalmente aunque no siempre, acompañada de una variación en la tensión. Si un Transformador recibe energía a una tensión y la devuelve a otra superior a la de entrada se le denomina Transformador elevador.

Análogamente el que recibe energía a determinada tensión y la reexpide a otra inferior se le denomina Transformador Reductor. Por último el Transformador que recibe energía y la devuelve a la misma tensión se denomina Transformador uno a uno.

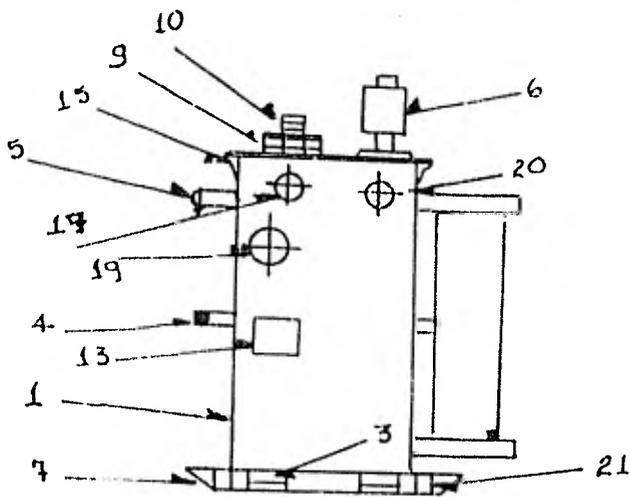
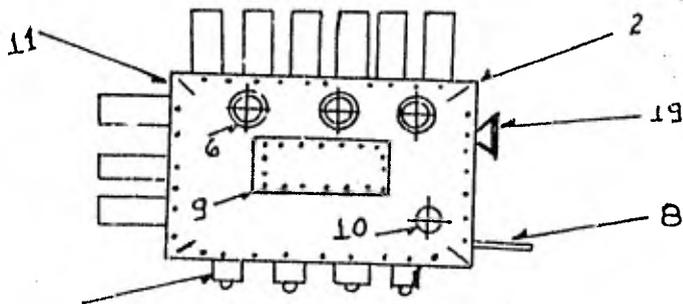
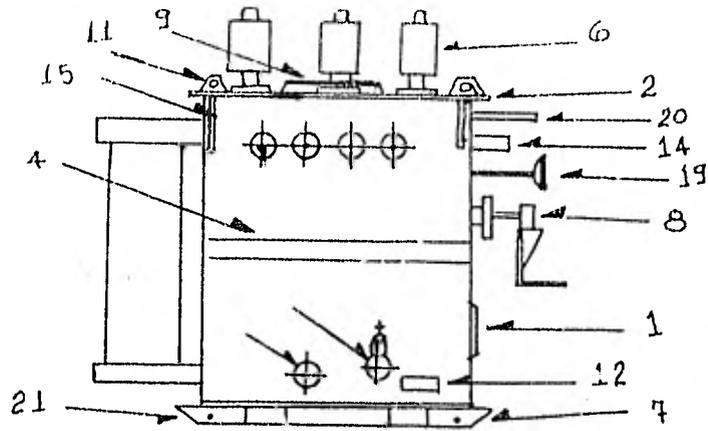
Una de las ventajas del Transformador es que el costo por kilowatt, es muy bajo en comparación con otros aparatos y eficiencia mucho mayor. Y como es una máquina estática sin parte giratoria y en donde los embobinados pueden ir inmersos en aceite aislante siguiendo un estado ideal para su enfriamiento y para emplear elevados voltajes.

Debido a éstas excelentes características, el Transformador es un aparato muy empleado, efectuando económicamente la transformación de baja tensión en alta y viceversa, origen principal del uso amplísimo de la corriente alterna, por ejemplo, los Transformadores pueden elevar la tensión a valores aptos para el transporte, con los que se consigue un ahorro de cobre y puede reducirse su magnitud de tensión hasta el apropiado para su uso, en el funcionamiento del extenso campo de los motores, alumbrado y todo sistema eléctrico en general.

b).- Diagrama representativo del transformador.



c).- Partes constitutivas del transformador.



Partes constitutivas del transformador.

- 1.- Tanque
- 2.- Tapa del tanque
- 3.- Fondo del tanque
- 4.- Refuerzos del tanque
- 5.- Boquillas de Baja tensión
- 6.- Boquillas de Alta tensión
- 7.- Base deslizable
- 8.- Cambiador de derivaciones
- 9.- Registro de la tapa
- 10.- Conexión superior del filtro prensa
- 11.- Oreja para levantar la tapa
- 12.- Conexión a tierra
- 13.- Placa de características
- 14.- Nivel de aceite
- 15.- Orejas para levantar conjunto
- 16.- Válvula de muestreo
- 17.- Válvula de sobrepresión
- 18.- Válvula de drenaje
- 19.- Termómetro.
- 20.- Provisión para manómetro
- 21.- Refuerzos para palanqueo.

B.- CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES.

ESTOS PUEDEN CLASIFICARSE:

a).- Por la forma de su núcleo.

Tipo Columna.

Tipo Acorazado.

Tipo Envolvente.

Tipo Radial.

b).- Por el número de fases.

Monofásicos.

Trifásicos.

c).- Por el medio refrigerante.

Aire

Aceite

Líquido inerte.

d).- Por el tipo de regulación.

Regulación fija.

Regulación variable sin carga.

Regulación variable con carga.

e).- Por el tipo de operación.

Potencia arriba de 500 kilovoltsampers (KVA)

Distribución abajo de 500 KVA.

Instrumento, Medición y protección.

Especial, Hornos eléctricos, Bancos de tierra.

f).- Por el tipo de instalación.

Montaje en poste

Compacto

Montaje en estación

Convencional

Tipo subterráneo.

Tipo sumergible.

Tipo jardín.

Tipo subestación móvil.

g).- Por el tipo de enfriamiento.

OA = Sumergido en aceite con enfriamiento natural

OA/FA = Sumergido en aceite con enfriamiento propio y enfriamiento con aire forzado.

OA/FA/FOA = Sumergido en aceite con enfriamiento con aire forzado y enfriamiento doblemente con -- aire y aceite forzado.

FOA = Sumergido en aceite con enfriamiento por -- aceite forzado con enfriadores de aire forzado.

OW = Sumergido en aceite con enfriamiento por -- agua.

FOW = Sumergido en aceite con enfriamiento de -- aceite forzado con enfriadores de agua forzada.

AA = Tipo seco con enfriamiento propio.

AEA = Tipo seco con enfriamiento por aire forzado

AA/FA = Tipo seco con enfriamiento natural, con -- enfriamiento por aire forzado.

CAPITULO SEGUNDO

A.- PRINCIPIO DE OPERACION.

a).- Principio de funcionamiento.

Se basa en la Ley de Faraday de Inducción, la cual nos dice: " Si el flujo magnético eslabonado por un circuito eléctrico cerrado varía con respecto al tiempo, -- una fuerza electromotriz es inducida en el circuito que tiene por valor:

$$E = -N \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{Volts} \quad E = 4.44 N\phi F \times 10^{-8} \text{Volts.}$$

Donde:

N= Relación de vueltas ϕ = Flujo magnético
E= Fem de Inducción t= Tiempo
F= Frecuencia

En un generador el flujo es substancialmente constante en magnitud; el que atraviesa las bobinas del inducido varía por el movimiento relativo mecánico de flujo y bobinas. En el transformador las bobinas y el circuito magnético son estacionarios cada uno con respecto al otro; las fem se inducen por variación en magnitud del flujo con el tiempo como lo demuestra el circuito equivalente, Figura No. 1.

b).- Secuencia de funcionamiento.

Al aplicarse un voltaje e, entre las terminales -- del devanado del primario, empieza a circular por las -- vueltas de la bobina, I_0 , ocasionando con ella la aparición de una fuerza motriz (FMM)=NI, Amperes -- vuelta que provoca una circulación de flujo magnético, -- a travez del núcleo de hierro; éste flujo varía en forma senoidal al pasar el tiempo, induciendo con ello una fuerza electromotriz en los devanados confirmandose la ecuación de campo eléctrico.

Esto tiene como antecedentes las Leyes de Faraday y Lenz que a continuación se describen:

LEY DE FARADAY: Establece que una fuerza electromotriz, es -- inducida en un circuito eléctrico, cuando el eslabonamiento de flujo está variando con -- respecto a el tiempo.

LEY DE LENZ: Establece que la dirección de la fuerza electromotriz es tal que tiende a inducir una --- corriente que prevenga el cambio de la forma del flujo que la produce. Esto significa que la fuerza electromotriz inducida tiende a un sentido inverso a la corriente que la produjo. La Magnitud de la fuerza electromotriz -- inducida en cada uno de los devanados, puede deducirse en la forma siguiente:

Analizando en el devanado primario la relación entre la fuerza electromotriz aplicada y el flujo magnético resultante, $\phi = FMM = NI$, -- se tendrá en forma gráfica: Figura No.2.

Relacionando las leyes de Faraday - Lenz, se tiene que la --- fuerza electromotriz inducida en una espira de cualquiera de los devanados dá un voltaje

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad - - - - \text{Ecuación No.1.}$$

Por otro lado analizando los términos de la ecuación se observa que el flujo varía de (0 - ϕ máximo - 0) y vemos que el flujo (ϕ) es máximo en los puntos a y b de la figura - No.3. así mismo, que éstos (2) puntos máximos alcanzan un semiciclo, sustituyendo estos valores en la ecuación No. 1. -- se tiene:

$$e = (4F\phi \text{ máximo }) \times 1.11 \text{ de:}$$

$$e = - \frac{d\phi}{dt} = \frac{2\phi \text{ máximo}}{T/2} = - 4F\phi \text{ máximo}$$

Ecuación No.2.

Considerando que el voltaje e de alimentación es senoidal y por lo tanto la fuerza contramotriz y/o flujo resultante también lo será, podemos afectar la ecuación -- No.2, del factor de forma; para éste tipo de onda (factor de forma = 1.11) por tener cualesquiera de los devanados un número de espiras (N), se determina que la -- Fem tendrá un valor de:

$$e = (- 4F\phi \text{ máximo }) \times 1,11 N.$$

$$e = - 4.44F\phi \text{ máximo} = - 4.44NFAB \text{ máximo Volts.}$$

Ecuación No.3.

Donde:

F= Frecuencia de la fuente de alimentación (Hz.)

ϕ máximo= No. Máximo de líneas de flujo magnético - (Webbers).

A= Sección Transversal del núcleo (M²).

B máximo= Densidad de flujo magnético (WB/m²).

N= Número de espiras.

c).- Relación de Transformación.

Relación de tensiones con respecto al número de vueltas de los devanados primario y secundario.

Partiendo de;

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = 1 \text{ ---}$$

ECUACION No. 4

Voltaje primario en función del número de vueltas de los devanados y del voltaje secundario, será igual a:

$$E_1 = \frac{N_1 \times E_2}{N_2} \text{ Volts.} \text{-----} \text{ Ecuación No. 5.}$$

Voltaje secundario, en función del número de vueltas de los devanados y del voltaje primario, será igual a:

$$E_2 = \frac{N_2 \times E_1}{N_1} \text{ Volts.} \text{-----} \text{ Ecuación No. 6.}$$

Relación de corrientes con respecto al número de vueltas de los devanados primario y secundario.

Partiendo de:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{-----} \text{ Ecuación No. 7.}$$

Corriente que circula en el devanado primario en función del número de vueltas de los devanados y de la corriente circulante en el devanado secundario.

$$I_1 = \frac{N_2 \times I_2}{N_1} \text{ Amperes} \text{-----} \text{ Ecuación No. 8.}$$

Corriente que circula en el secundario en función del número de vueltas de los devanados y de la corriente circulante en el devanado primario.

$$I_2 = \frac{N_1 \times I_1}{N_2} \text{ Amperes} \text{-----} \text{ Ecuación No. 9.}$$

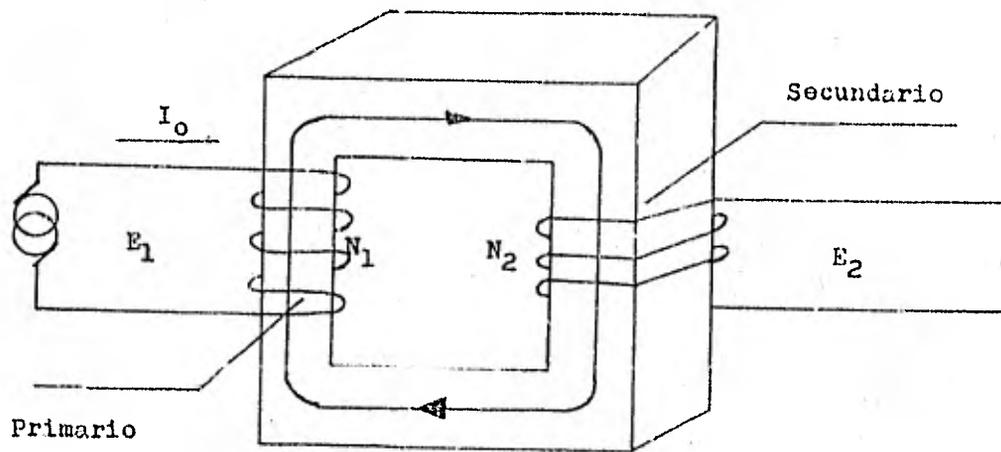


Figura No. - 1 Transformador sencillo con el secundario en circuito abierto.

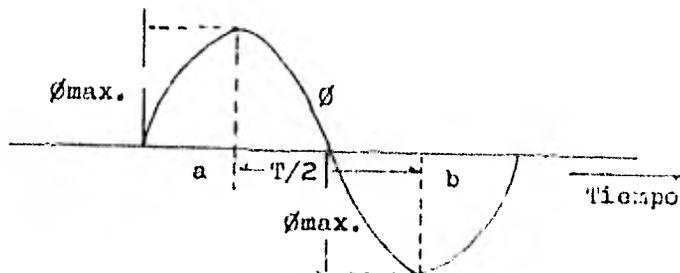
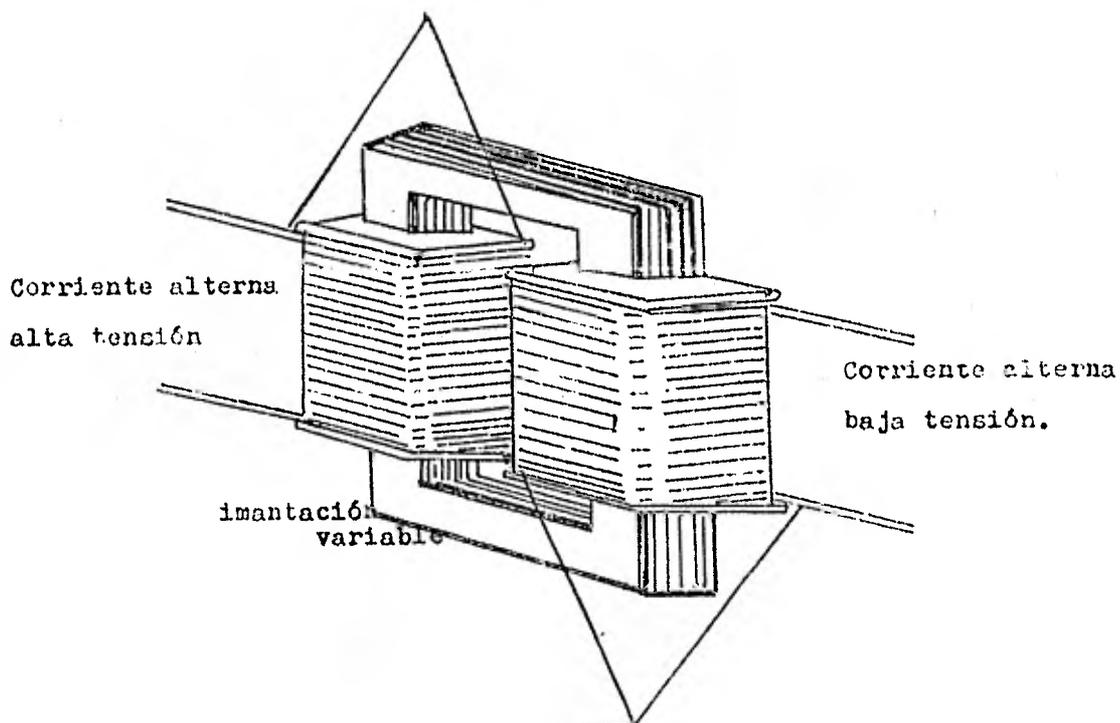


Figura No. 3 Variación sinusoidal del flujo con el T .

Un embobinado recorrido por una corriente alterna
origina una imantación variable.



Una imantación variable produce en un embobinado
una corriente alterna.

Figura No. 2.

B.- DETALLES DE CONSTRUCCION DE SUS PARTES PRINCIPALES.

a).- Núcleo.

Constituye el circuito magnético que transforma energía eléctrica de un circuito a otro, cuya finalidad es la de conducir el flujo magnético activo. El núcleo se lamina para evitar corrientes circulantes que causan pérdidas y bajan la eficiencia del transformador; ésta corriente se reduce debido al aislamiento en cada lámina. La lámina es de acero al silicio y comúnmente se le denomina al núcleo junto con los devanados de baja y alta tensión " Parte viva ".

El núcleo debe ser lo suficientemente compacto para evitar al máximo vibraciones y ruidos con el consiguiente calentamiento, para lo cual debe estar sumamente apretado por medio de herrajes.

b).- Embobinados.

Estos constituyen los circuitos eléctricos de alimentación y carga, los cuales pueden ser monofásicos y trifásicos. Los devanados de baja y alta tensión de N_2 y N_1 vueltas respectivas de cobre electrolítico que es el material disponible de menor resistividad, se instalan de la siguiente manera:

El devanado de baja tensión generalmente sobre la pierna del núcleo separado de éste, por las debidas barreras eléctricas y anillos de cartón aislante.

El devanado de alta tensión sobre el de baja tensión y se caracteriza por tener los conductores más gruesos.

c).- Partes Secundarias.

Tanque.- Es el recipiente que protege y contiene el núcleo y bobinas contra interperismos y vapores industriales, el área del recipiente debe de ser tal

que permita la correcta disipación del calor generado en su interior por pérdidas magnéticas y resistivas, - de no ser así se tendrá que proveer de radiadores y - disipadores.

En el caso de que el transformador esté sumergido en Aceite el tanque debe estar perfectamente sellado para evitar fugas y contaminaciones del aire exterior - sobre todo del aire húmedo, éste sellado se realiza - por medio de empaques adecuados en todas las juntas, - tapas, registros, bushings, etc., con el fin de realizar una prueba hidroestática para detectar fugas; - - - - - consistiendo en introducirle presión de aire aproximadamente de 1.5 Kg/cm².

Bornes.- Se utilizan para conectar las bobinas de baja y alta tensión a sus circuitos respectivos; se seleccionan de acuerdo al voltaje y la corriente de operación.

Cambiador de Derivaciones.- Es el elemento destinado para variar la relación de tensión de entrada y salida con el objeto de regular la tensión de un sistema.

Indicadores.- Son aparatos que registran el estado -- del transformador, (nivel del líquido, temperatura - presión, etc.).

Cabezales.- Estos se utilizan para reforzar los devanados que sufren grandes esfuerzos mecánicos durante un eventual corto circuito.

Boquillas.- Constituye el medio que permite el paso - de la corriente a través del transformador sin ocasionar escapes de corriente.

Herrajes.- Sirven para sujetar el núcleo y bobina se diseñan para resistir esfuerzos severos.

C.- SECUENCIA DE OPERACIONES PARA EL TRANSFORMADOR.
ENSAMBLE GENERAL.

- a).- Operaciones para la construcción de transformadores
- 1o.- Corte y dobléz de la lámina negra de varios --
grososres y dimensiones.
 - 2o.- Acoplamiento de los cortes y dobleces para for
mar el tanque.
 - 3o.- Prueba Hidroestática para detectar fugas en el
tanque.
 - 4o.- Rebabeo y pintado del tanque.
 - 5o.- Ensamble total.

Se inicia con la limpieza del tanque como de la parte vi
va, introduciéndose ésta para enseguida conectar boqui -
llas, aisladores, barras y hacer un vacío para llenarse-
de aceite refrigerante y después cerrar totalmente. Colo
cando un medidor de presión para someter al tanque a una
cierta presión de gas argón durante 20 Minutos, probando
así su hermeticidad.

6o.- Inspección visual de todos sus componentes ex-
teriores, aisladores, boquillas despostilladas, pintura-
rasgada, soportes de sujección fisurados, aisladores flo
jos, soldadura etc.

7o.- Pruebas finales eléctricas en el laboratorio --
de pruebas.

CAPITULO TERCERO.

A.- INSTALACION.

a).- Recepción de los transformadores.

debe inspeccionarse minuciosamente las siguientes partes:

Datos de placa (Voltajes primario y secundario, - capacidad, temperatura, conexiones.), fugas de - aceite por boquillas de baja y alta tensión y empaques.

Golpes en sus componentes.

Varilla ó placa de tierra localizadas.

Existencia de válvula de muestreo y drenaje.

b).- Montaje en poste.

Debe proveerse de ganchos adecuados para levantar el transformador cuando sea por medio de cables.

La Mayoría de los transformadores se montan directamente al poste por medio de soportes para éste propósito. Hay casos donde se montan sobre cruce-tas y conviene asegurarlos por medio de los ganchos tipo " T " si no se dispone de brazos secundarios ó cruce-tas atravezadas deben usarse plataformas y así montarse sobre ellas.

Los transformadores siempre deben colocarse con suficiente espacio entre ellos, separados de paredes ó divisiones a manera de permitir la libre -- circulación de aire y deben estar protegidos contra sobrecargas, sobretensiones severas, utilizando dispositivos de protección adecuados.

c).- Conexiones principales de los transformadores.

ESTRELLA	-	ESTRELLA	$Y-Y$
DELTA	-	DELTA	$\Delta-\Delta$
DELTA	-	ESTRELLA	$\Delta-Y$
ESTRELLA	-	DELTA	$Y-\Delta$
EN V	-		V
SCOTT	ó	TIPO " T "	T

La Figura No. 4. Muestra una batería de transformadores conectados en Estrella - Estrella, que se puede usar como elevadora ó reductora de tensión.

Aunque con este tipo de conexión no pueden aplicarse al secundario cargas no equilibradas en el conductor neutro sin producir un fuerte desequilibrio en las tres tensiones secundarias.

La Figura No. 5. Es una batería Delta - Delta y es la más usada principalmente para tensiones moderadas. Su ventaja más notable es que, si uno de los transformadores resulta dañado el sistema puede operar íntegramente en V. En ambas conexiones, la razón entre tensión es de línea de primario y secundario es igual a la relación individual del transformador.

La Figura No. 6. Es una conexión de transformadores Delta - Estrella; esta conexión se usa mucho para elevar tensiones.

Una de las ventajas sobre la conexión Delta - Delta es que el aislamiento que se precisa para el secundario es mucho menor, lo que resulta particularmente ventajoso para el caso de altas tensiones secundarias.

La Figura No. 7. No presenta la conexión en V ó conexión Delta abierta.

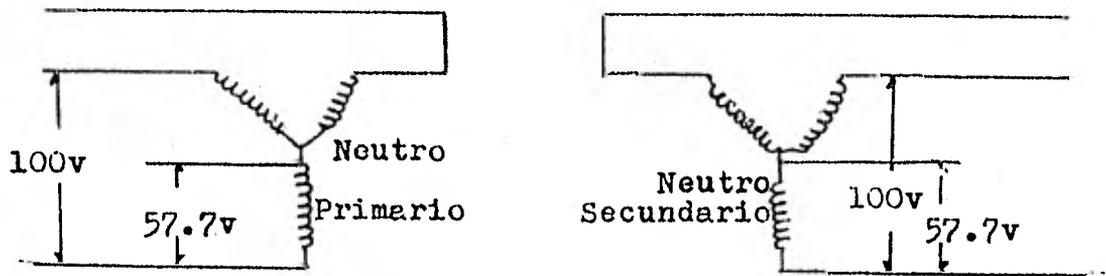


Figura No. 4 Conexión (Y-Y).

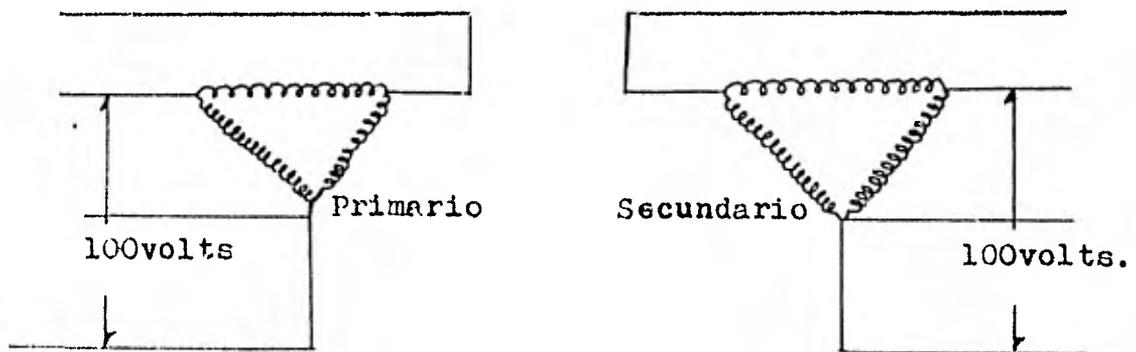


Figura No. 5 Conexión Delta-Delta.

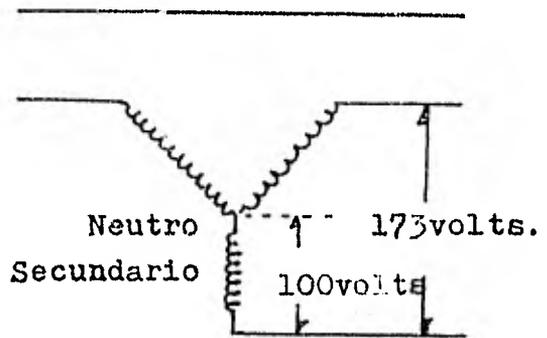
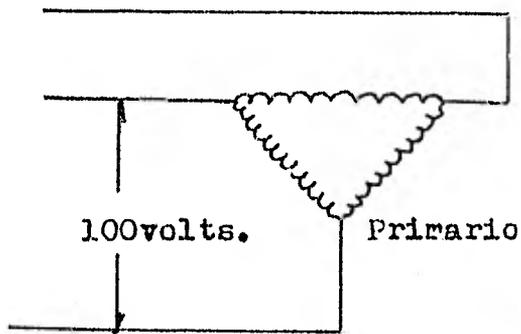


Figura No. 6 Conexión Delta - Estrella.

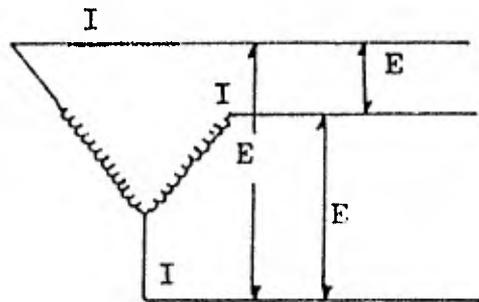
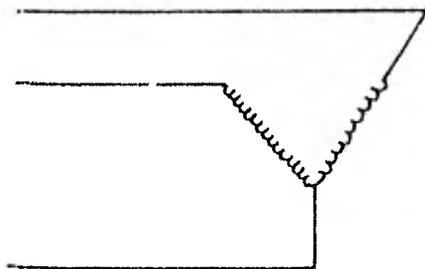


Figura No. 7 Conexión en V.

Esta nos indica que debe existir una tensión entre - dos extremos abiertos de las dos bobinas de la Delta an - tes de conectar la tercera bobina, no habiendo carga con - solo transformadores, hay en los secundarios tres tensio - nes iguales trifásicas y por lo tanto es posible la trans - formación trifásica con sólo dos transformadores.

La Figura No. 8. Es la conexión tipo "T", ó Scott.

Por medio de ésta conexión es posible no sólo transformar corriente trifásica por medio de dos transformadores, si - no incluso la trifásica en bifásica ó la bifásica en tri - fásica. Sin embargo ésta conexión se usa raramente para - la transformación trifásica - trifásica. El método para - transformar corriente trifásica en bifásica se expone en - ésta figura. Se usan dos transformadores de primarios ad - y bc, y secundarios a'd' y b'c'. El punto medio d de embo - binado bc debe ser accesible. Un extremo d del arrolla - miento primario ad se conecta al punto medio d del prima - rio bc. Los extremos de las tres bobinas primarias están - conectados a la fuente trifásica abc, como se vé en la -- figura excepto que es la terminal a, en lugar de a₁ el -- que primero se conecta al embobinado A.

El transformador bc se denomina principal, y el ad - se le denomina excitador.

d).- Condiciones para conectar en paralelo transformadores.

Los transformadores deberán tener la misma relación - de transformación; el no cumplimiento de ésta condición - tiene como consecuencia la aparición de corrientes circu - lantes entre los transformadores. Los voltajes de placa - de ambos transformadores deben ser iguales; el hecho de - conectar en paralelo los transformadores de igual rela - ción de voltaje en la posición nominal del cambiador, pe -

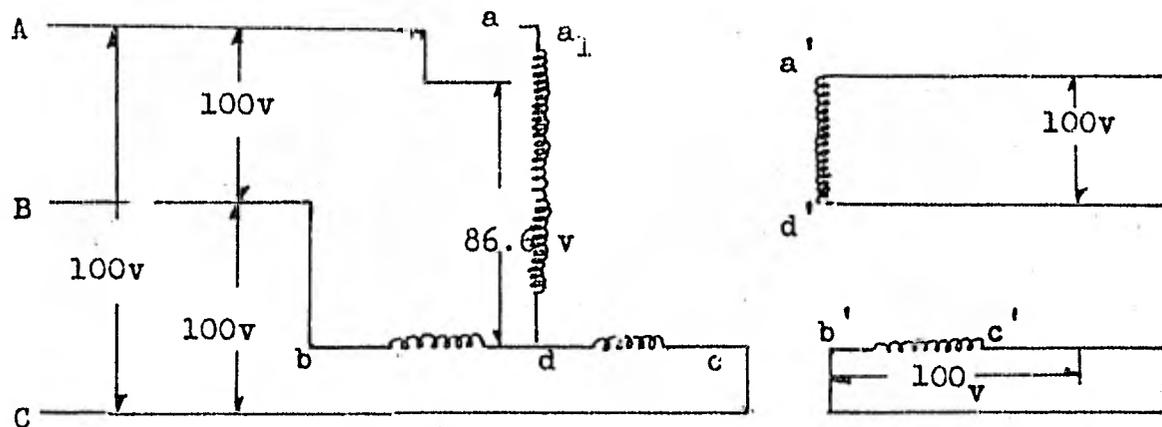


Figura No. 8 Conexión Scott ó T de corriente trifásica a bifásica.

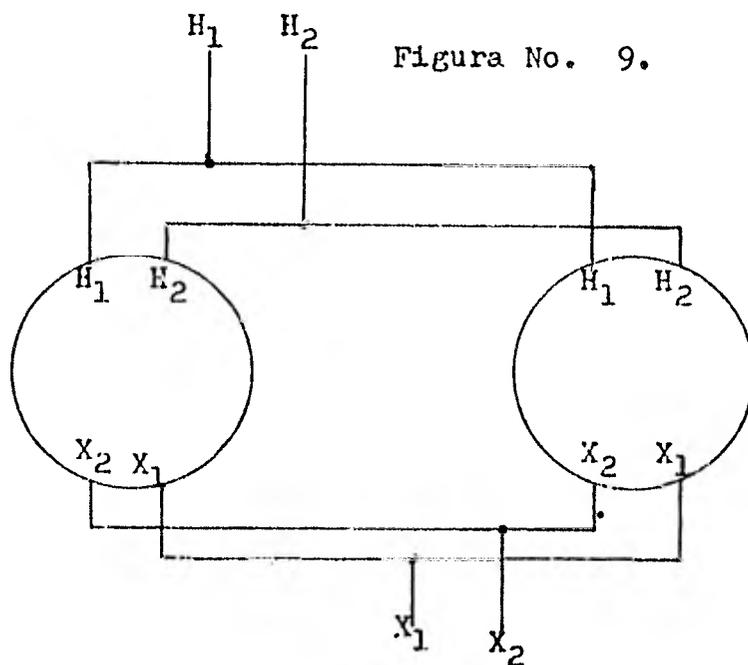


Figura No. 9.

ro con diferente rango de derivación puede traer conse - cuencias como la descrita anteriormente.

Deben estar diseñados para la misma frecuencia de fase. Deben tener el mismo desplazamiento angular en baja y - alta tensión y el mismo sentido de rotación, esto signi - fica que en los transformadores trifásicos sólo es posi - ble conectar las siguientes combinaciones:

COMBINACION A:

Banco No. 1.	Conectados en	$Y - Y$
Banco No. 2.	Conectados en	$Y - Y$

COMBINACION B:

Banco No. 1.	Conectados en	$Y - Y$
Banco No.2.	Conectados en	$\Delta - \Delta$

COMBINACION C:

Banco No.1.	Conectados en	$Y - \Delta$
Banco No. 2.	Conectados en	$Y - \Delta$

COMBINACION D:

Banco No. 1.	Conectados en	$Y - \Delta$
Banco No. 2.	Conectados en	$\Delta - Y$

COMBINACION E:

Banco No.1.	Conectados en	$\Delta - \Delta$
Banco No.2.	Conectados en	$\Delta - \Delta$

COMBINACION F:

Banco No. 1.	Conectados en	$\Delta - Y$
Banco No. 2.	Conectados en	$Y - \Delta$

En transformadores monofásicos la condición es tener la - misma polaridad y también el mismo porcentaje de impedan - cia, con el mismo desplazamiento angular. Como se vé en - las figuras No. 9, 9a, 9b.

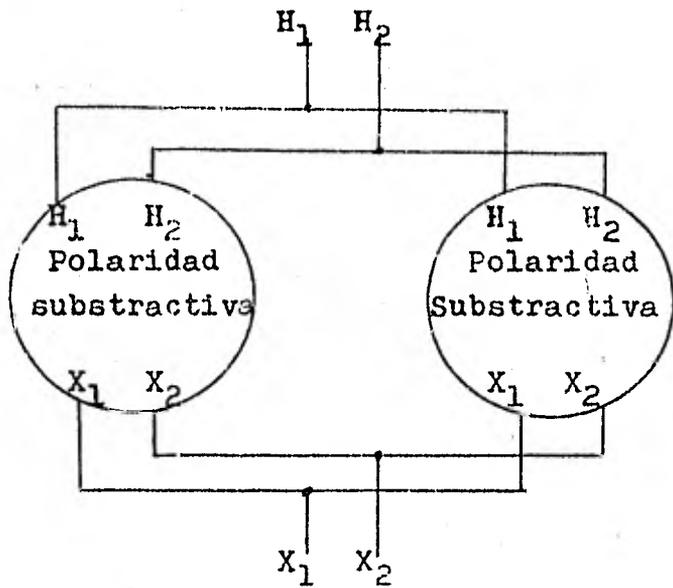


Figura No. 9a

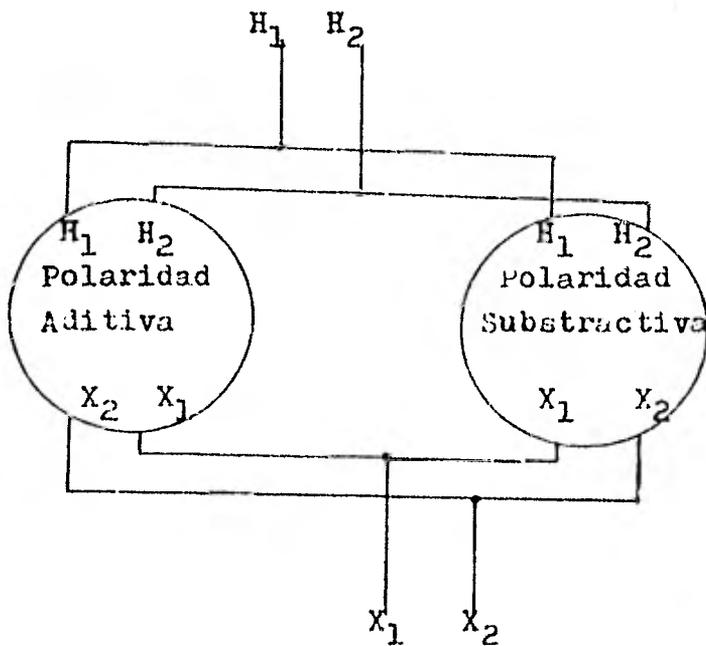


Figura No. 9b.

e).- Pruebas que deben verificarse antes de instalarlo.

Prueba de relación de transformación.

Prueba de resistencia dieléctrica del líquido aislante, el cuál debe tener una tensión mínima de ruptura dieléctrica de 23Kv, cuando sea probado con el probador de discos de 2.54 cm. de diametro.

Prueba de detección de fugas de aceite. Esto es inyectando presión de nitrógeno aproximadamente de -- 0.07 kg/cm², y cubrir el tanque con una solución líquida de jabón en las partes que puedan ocurrir fugas.

CAPITULO CUARTO

A.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.

a).- Definición de mantenimiento.

Es el conjunto de acciones que se ejecutan en equipos para prevenir daños ó para repararlos cuando ya se hubiera producido, a fin de lograr su buen funcionamiento.

b).- Mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento consiste en la ejecución periódica de ciertos trabajos en los equipos con el fin de prevenir desperfectos hasta donde sea posible, ya que no se puede eliminarlos por completo. El mantenimiento preventivo incluye la lectura de los instrumentos de medición, para obtener principalmente curvas de cargas específicas de la planta y la operación del equipo. La frecuencia con que se hagan éstas lecturas dependerá exclusivamente de la forma que esté operando el transformador así como el tipo de carga.

La inspección visual está dentro de éste mantenimiento y en ella se comprueba lo siguiente:

Inspección mensual.

Comprobar la corriente de carga por fase.

Comprobar que el marcador de temperatura máxima está -- abajo de 80° c, para equipos con elevación de temperatura de 55° c, sobre ambiente promedio de 30° c, para equipos con elevación de temperatura de 65° c, sobre ambiente promedio de 30° c,. Después de la cuál deberá colocarse -- la aguja con el imán en posición de que pueda volver a -- operar.

Comprobar que no existan fugas de aceite por empaques, -- válvulas o instrumentos de medición etc., verificar el -- nivel de aceite.

revisar el estado físico de los accesorios.

revisar que no haya corrosión u oxidación.

Comprobar que no existan signos de calentamiento en las-- conexiones eléctricas exteriores.

observar que no existan ruidos ó condiciones anormales.

Relacionar la lectura del termómetro con la del monova-- cuómetro para comprobar si el sello es perfecto.

Aceitar el mecanismo de la bandera de la válvula de ali-- vio cuando no haya tanque conservador.

Asegurarse que los enfriadores estén operando, si la par-- te superior del enfriador está caliente la inferior más-- fría hay circulación de aceite por lo tanto su operación es normal.

Comprobar que la sílica-gel, en unidades que lleven dese-- cador en el tanque conservador, esté de color azul y si-- no fuera así lavarla y activarla en un horno a 100° c.

Comprobar las conexiones a tierra, asegurandose que la -- zapata del cable de tierra esté conectado correctamente-- y en buen estado, evitando falsos contactos y verificar-- la continuidad del cable de tierra.

Cuándo haya alarmas de nivel y termómetro verificar su -
operación.

Es necesario tener presente, el no tener que operar el -
cambiador de derivaciones cuándo el aparato esté energiz-
ado.

c).- Mantenimiento Correctivo.

Definición de mantenimiento correctivo.

Consiste en la reparación más ó menos completa de cual -
quier daño que sufran los aparatos ó equipos. En éste --
mantenimiento debe incluirse todas las pruebas que reco-
mienda el fabricante, como por ejemplo del medio refrige-
rante empleado en el equipo y la frecuencia aconsejable-
para realizar ésta prueba, deberá hacerse cuando menos -
anualmente, en condiciones normales de operación del --
equipo.

En éste mismo mantenimiento, deberá realizarse pruebas -
de aislamiento al equipo así como una revisión a los --
accesorios ó indicadores exteriores del mismo.

La revisión de la conexión en las terminales de transfor-
madores así como la verificación de la conexión a tierra
del tanque, es conveniente realizarla en períodos más --
cortos que los mencionados.

El cambiador de derivaciones deberá ser checado con espe-
cial atención tomando las lecturas de relación de trans-
formación en cada una de las posiciones, las cuales se -
rán comprobadas con el reporte de pruebas completas rea-
lizadas en la fábrica antes de que el equipo se embarque
y el cual deberá guardarse en el archivo correspondiente
del usuario.

A continuación se mencionan ideas más generales al -
respecto de un mantenimiento completo y recomendaciones-
especiales para contar con una operación satisfactoria -
de los transformadores eléctricos.

Prueba dieléctrica del aceite cada seis meses.

Analisis químico del aceite cada cinco años.

Prueba de resistencia de aislamiento cada año, comparando valores mínimos indicados con el reporte de pruebas efectuadas al equipo en el laboratorio del fabricante.

Revisar el diafragma de la válvula de alivio cada seis meses.

Revisar el estado general de la pintura para evitar corrosión.

Inspeccionar la distancia entre cuernos de arco cada año ó después de una descarga eléctrica en ellos.

Verificar cada año que la conexión del relevador bu - - cholz al interruptor de alta tensión opere correctamente.

Analizar cada año que las protecciones de sobrecarga ó diferenciales de los interruptores de alta y baja tensión estén en buenas condiciones. Si se observa alguna anomalía a los puntos específicos antes mencionados, -- deberá desconectarse el transformador en la primera -- oportunidad y corregir el defecto, a menos que se trate de un desperfecto que implique sacarlo de servicio inmediatamente y someterlo a una inspección completa, como a continuación se indica:

Causas que requieren inspección completa:

Aumento excesivo en la temperatura de operación, sin -- que haya un aumento correspondiente en la carga.

Nivel de aceite anormalmente bajo; esto puede indicar -- que hay una fuga, lo cuál es una condición peligrosa.

Ruidos extraños; tales como arcos eléctricos, burbujeos de aceite ó ruidos magnéticos muy intensos.

Rotura de un diafragma de la válvula de alivio; esto in dica circuito corto interno ó daño externo que es causa de una desconexión inmediata.

Pruebas bajas de resistencia de aislamiento.

Resultado insatisfactorio de una prueba de aceite (resistencia dieléctrica), abajo de 25 Kv, con 2.54 cms, - de distancia entre electrodos de 25.4 mm, de diámetro - en copa normal.

Para líquido no combustible (askarel) abajo de 30 Kv- Precauciones para sacar de servicio un transformador -- eléctrico.

En caso de que por alguna causa haya necesidad de desco- nectar el transformador, se recomienda seguir el proce- dimiento siguiente:

Desconectar los dispositivos de protección, asegurándo- se que el transformador esté aislado tanto en el Prima- como en el Secundario, verificando que el zumbido ha de desaparecido.

Conectar las terminales a tierra, comprobando que no -- hay energía eléctrica en el equipo.

Poner avisos sobre el equipo, de que ha sido librado -- eléctricamente.

Puntos que deben comprobarse durante la salida de un -- transformador eléctrico:

Para desarmar un transformador procédase en la siguien- te forma:

Destorníllese la tapa principal,

Desconectar las terminales de las boquillas que están sobre dicha tapa, a través del agujero de inspe - ción.

Bájese el nivel de aceite al herraje superior - utilizando un recipiente limpio.

Desconéctese las boquillas que están en el cuer- po del tanque así como los accesorios.

Destorníllese el transformador del cuerpo del - tanque, levantando el transformador con cadenas que se- sujeten en los ganchos del herraje superior y déjese es currir el aceite sobre una charola ó en el mismo tanque.

Cuándo se saque el transformador de su tanque lávese con -
aceite filtrado y soplasteese con pistola de aire.

Asegurese que los ductos de circulación de aceite de las -
bobinas no se encuentren obstruidos.

Comprobar que no haya partes quemadas ó falsos contactos.

Cambiar los empaques que se hayan desmontados.

Ajustar todas las abrazaderas, Terminales, amarre y acuña-
mientos.

Asegurese que el transformador no tenga humedad, para lo -
cuál después de inspeccionado y reparado deberá ser sometido a secado en horno y armarlo posteriormente en su tan --
que.

Comprobar que el funcionamiento de los accesorios, sea el-
correcto.

En caso de mover el cambiador de derivaciones verificar en
vacío el equilibrio de las tensiones de salida.

Comprobar las buenas condiciones del aceite analizado y re-
generarlo si es necesario.

Someter al transformador ya ensamblado a pruebas eléctri -
cas completas, según las normas correspondientes, aplican-
do los factores para los transformadores usados.

d).- EQUIPO PARA LA CUADRILLA DE MANTENIMIENTO

- Personal especializado en mantenimiento eléctrico y capa-
citado regularmente.
- El equipo depende de la magnitud de las instalaciones, -
sin embargo debe contar con:
- Filtro prensa para aceite.
- Filtro prensa para askarel.
- Megóhmetro.
- Probador de rigidez dieléctrica.
- Bombas de vacío.
- Horno para secado de cartón para el filtro.
- Bornes de B.T y A.T.
- Caja de herramienta y empaques.
- Probador de relación de transformación (T.T.R.).

e).- FORMATO PARA REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

NOMBRE DEL CLIENTE _____

FECHA _____

UBICACION _____

MARCA DEL TRANSFORMADOR _____ SERIE _____

CAPACIDAD _____ KVA FASES _____

FRECUENCIA _____ HZ SERVICIO INT _____ EXT _____

TIPO DE ENFRIAMIENTO _____ ALTURA DE OPERACION _____ MSNM

I NOMINAL DE A.T. _____ AMPS I MINIMA DE A.T. _____ AMPS

DEVANADO PRIMARIO

TENSION _____ VOLTS CONEXION _____ DERIVACIONES _____

DEVANADO SECUNDARIO

TENSION _____ VOLTS CONEXION _____ DERIVACIONES _____

POLARIDAD _____ DESPLAZAMIENTO ANGULAR _____

ADITIVA _____ SUBSTRACTIVA _____

TEMPERATURA PROMEDIO _____ I CARGA _____

ESTADO DEL ACEITE _____ NIVEL DE ACEITE _____

ESTADO DE ACCESORIOS NORMALES _____ ESPECIALES _____

OBSERVACIONES

FORMATO PARA REPORTE DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

NOMBRE DEL CLIENTE _____

FECHA _____

UBICACION _____

MARCA DEL TRANSFORMADOR _____

CAPACIDAD _____ KVA FASES _____

FRECUENCIA _____ HZ SERVICIO INT. _____ EXT. _____

TIPO DE ENFRIAMIENTO _____ ALTURA DE OPERACION _____ MSNM

I NOMINAL DE A.T. _____ AMPS. I MINIMA DE A.T. _____ AMPS

DEVANADO PRIMARIO

TENSION _____ VOLTS CONEXION _____ DERIVACIONES _____

DEVANADO SECUNDARIO

TENSION _____ VOLTS CONEXION _____ DERIVACIONES _____

POLARIDAD ADITIVA _____ SUBSTRACTIVA _____

DESFLAZAMIENTO ANGULAR _____

TEMPERATURA PROMEDIO _____ I CARGA _____ AMPS

ESTADO DE ACCESORIOS NORMALES _____ NIVEL DE ACEITE _____

ESPECIALES _____ CONEXION A TIERRA _____

DAÑOS FISICOS _____ CORROSION _____ PINTURA _____

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (MEGGER A °C) _____

A.T. Vs B.T. _____ A.T. Vs Tierra _____ B.T. Vs Tierra _____

RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

1a.LECT. _____ 2da.LECT. _____ 3ra.LECT. _____ 4ta.LECT. _____

5ta.LECT. _____

RELACION DE TRANSFORMACION

FASE "A" _____ FASE "B" _____ FASE "C" _____ MAXIMA _____ MINIMA _____

CONEXIONES A TIERRA _____

DAÑOS FISICOS _____ CORROSION _____ FUGAS _____

OBSERVACIONES _____

f).- Reparaciones menores de transformadores.

Se consideran reparaciones menores tales como:

Ajuste del cambiador de derivaciones.

Conexión de terminales rotas.

Reemplazo de conectores.

Reemplazo de accesorios.

En este caso se recomienda seguir los pasos siguientes:

Desconectar y desenergizar el transformador.

Reemplazar la pieza averiada por otra similar

Revisar los trabajos y operar el equipo.

g).- Reparaciones mayores de transformadores.

Son reparaciones mayores tales como:

Reemplazo de Bornes.

Reemplazo de bobinas.

Reemplazo de enfriadores.

Recomendándose para éste caso:

Desconectar y energizar el equipo.

Determinar con toda precisión el problema que se tenga en el equipo y precizar los trabajos que se realizarán.

Sacar el líquido aislante, depositándolo en un recipiente apropiado limpio y seco.

Desensamblar con mucho cuidado quitando bornes, tapa y accesorios.

Extraer el núcleo y bobinas, cuidando de no golpear éstas partes y colocarlas en un lugar donde no se humedezcan.

Fabricar las partes que serán reemplazadas, utilizando materiales del mismo tipo preferentemente.

Reemplazar la parte averiada.

Armar el conjunto, hornear, ensamblar el transformador y llenarlo de líquido a vacío.

Hacerle las pruebas que recomiendan las normas, como - potencial inducido, potencial aplicado, resistencia de aislamiento, rigidez dieléctrica del líquido.

h).- Tipos de fallas en transformadores en aceite.

Las posibilidades de falla casi son nulas, sin embargo por protecciones inadecuadas, mantenimiento retardado, sobrecargas continuas, sufren fallas como las siguientes:

Se clasifican de la siguiente manera.

Fallas en el aceite aislante y equipo auxiliar.

Fallas en el devanado.

Fallas en el aceite.

El aceite aislante se deteriora por la acción de la humedad del oxígeno, por la presencia catalizadora - (Cobre) y por la temperatura. La combinación de estos elementos, efectúan una acción química en el - - aceite, que dá como resultado entre otros, la generación de ácidos que atacan intensamente los aislamientos y a las partes mecánicas del transformador. De - ésta acción química resultan los lodos que se precipitan al transformador y que impiden la correcta disipación de calor, acelerando por tanto el envejecimiento de los aisladores y su destrucción.

La humedad presente en el aceite, se puede originar por el aire que inhala el transformador durante su proceso de trabajo, por fugas en sus juntas y en general, también se genera por descomposición propia - del aceite y de los aislamientos. El contenido de -- agua en el aceite se define en partes por millón; -- 1000, partes por millón es: (ppm)= 1% de humedad. Se dice que un aceite está en equilibrio, cuando su contenido de humedad es igual a 40 ppm. Bajo esta -- condición, ni el aceite cede su humedad a los aislamientos ni estos lo ceden al aceite.

Al romperse la condición de equilibrio, es decir, -- aumentarse el valor de contenido de humedad en el -- aceite, se obtiene los siguientes resultados:

El aceite cede su humedad a los aislamientos, lo cual dá por resultado que se incremente su valor de factor de potencia y sus pérdidas, lo que se traduce en un rápido envejecimiento.

El incremento de humedad en el aceite, dá por resultado una disminución en su valor de voltaje de ruptura ó rigidez dieléctrica. Con valores de contenido de agua 60 ppm; el valor de rigidez dieléctrica se disminuye en un 13 %

El aceite se satura, cuando su contenido de humedad es de 100 ppm (0.1%). Bajo ésta condición cualquier adición en humedad será absorbida por los materiales fibrosos del transformador como son cartones, papel aislante y maderas.

De lo antes expuesto se concluye, que la inspección de un aceite aislante, debe abarcar al menos:

Contenido de humedad

Acides

Rigidez dieléctrica

Presencia de lodos

Un aceite muy contaminado es aquel que presente los siguientes valores:

Contenido de humedad igual ó mayor de 80 ppm

Acides igual ó mayor que 0.2 mg., del número de neutralización de la potasa cáustica

Rigidez dieléctrica, menor ó igual a 22 Kv

Presencia de lodos

Bajo tal condición de contaminación, es recomendable sugtituir el aceite, para lo cual se debe dispncer lo siguiente:

Sacar parte viva

Desechar el aceite

Limpiar el tanque, parte viva y secarla

Sellar y llenar a vacío con aceite nuevo

Fallas en el equipo auxiliar.

Falsos contactos.

Circuitos cortos externos.

Circuitos cortos entre espiras.

Sobretensiones por descargas atmosféricas.

Sobretensiones por transitorios.

Sobrecargas.

Falsos contactos.

De no detectarse a tiempo, éste tipo de falla deteriora el aislamiento y contamina el aceite produciendo gasificación, carbono y abombamiento del transformador.

Esta falla se manifiesta por presencia de carbón en las terminales carcomidas ó de una coloración intensa en -- aislamientos y conductor.

Circuitos cortos externos.

Esta falla, como su nombre lo indica es producida por -- un corto externo al transformador. El daño que produzca al transformador dependerá de su intensidad y del tiempo de duración. La alta corriente que circula durante -- el corto, se traduce en esfuerzos mecánicos que distorsionan los devanados y hasta los ponen fuera de lugar. Si el corto es intenso y prolongado, su efecto se reflejará en una degradación del aceite, sobrepresión ar -- queos y abombamiento del tanque.

Después de una falla de éste tipo y antes de poner en -- servicio el transformador, se debe tener la certeza de -- que se ha eliminado el corto y revisar exhaustivamente -- el transformador para determinar si está dañado ó no.

Circuitos cortos entre espiras.

Este tipo de fallas, son el resultado de que los aislamientos pierden sus características por exceso de humedad, por sobre calentamientos continuados por exceso de voltaje, etc... Estas fallas tardan tiempo para poner -- fuera de servicio al transformador y se manifiestan por

un devanado regular excepto en el punto de falla. Su ionización degrada el aceite y debe haber rastros -- de carbón en el tanque.

Sobretensiones por descarga atmosférica.

Para prevenir en lo que cabe, éste tipo de falla, se -- recomienda el uso de apartarrayos lo más cercano al -- transformador. Si la subestación es convencional y de -- instalación exterior, se disminuye la incidencia de -- descarga atmosférica con el uso del hilo de guarda. En -- caso de que la descarga atmosférica rebase los límites -- de nivel de impulso del transformador el devanado suje -- to a éste esfuerzo fallará.

La manifestación de éste tipo de fallas, son bobinas -- deterioradas en la parte más cercana al transformador -- ó sea a los herrajes. Como el tiempo de duración de la -- falla es mucho muy corto, no se produce deterioro en -- el aceite, ni gasificación del mismo por tanto no se -- observa por regla general fallas o abombamientos en el -- tanque.

Sobretensiones por transitorios.

Este tipo de sobretensiones son producidas por falsas -- operaciones de encendido, por puesta de servicio y des -- conexión de bancos de capacitores etc...

Los sobrevoltajes que se producen son del orden de has -- ta dos veces el voltaje de operación, su resultado de -- daño es a largo plazo y se define en algunas ocasiones -- como un circuito corto entre espiras. Si ya el aisla -- miento estaba deteriorado, se manifiesta la falla como -- por un disparo de bala expansiva. La ionización genera -- da contamina el aceite, lo gasifica y se observa un -- abombamiento en el tanque.

Sobrecargas.

Si las sobrecargas a que se sujeta el transformador no

han sido tomadas en cuenta durante el diseño del aparato, éste se sujetará a un envejecimiento acelerado que destruirá sus aislamientos y su falla se definirá por un corto circuito entre espiras.

Por lo tanto, del análisis de fallas, podemos determinar que salvo en caso de sobretensiones ocasionadas por rayos, todas las demás fallas se pueden preveer con un buen mantenimiento y si la falla está en proceso, una buena revisión podrá detectarlas.

i).- Regeneración de aceite en transformadores.

Dentro de la secuela de operaciones de mantenimiento reviste capital importancia el definir si el aceite está en buenas condiciones para cumplir con su cometido de dieléctrico y medio refrigerante.

A continuación damos a conocer un seguimiento para el muestreo del aceite, valores característicos del mismo y como lograr su regeneración.

Operación de muestreo y características principales de un buen aceite.

Utilizar un recipiente de vidrio ó metal a fin de recibir el aceite de muestra.

Limpiése el recipiente con tetracloruro de carbono y séquese de preferencia en hornos temperatura de 105°C , y por una hora, a fin de eliminar toda la humedad de su atmósfera húmeda y afectar seriamente sus propiedades aislantes.

De preferencia la humedad relativa del ambiente no debe exceder de 75%, y nunca se debe tomar una muestra bajo la lluvia.

Abrase la válvula de muestreo, dejando escurrir una cantidad adecuada, a fin de que se limpie la válvula de cualquier impureza que haya adquirido con el tiempo, ésta válvula se encuentra situada en la parte inferior

Del tanque del transformador, pués ahí donde se encuentra el aceite más contaminado.

La cantidad a muestrear debe de ser de dos litros, para contar con una cantidad suficiente para efectuar -- pruebas de rigidez dieléctrica, físicas y químicas. Selle perfectamente el recipiente a fin de impedir su-contaminación, antes de efectuar las pruebas.

Características principales de un buen aceite:

Acidez 0.04 mg KOH/g de valor máximo.

Tensión interfacial 36 dinas de valor máximo.

Rigidez dieléctrica de 26 kv de valor mínimo.

Factor de potencia a 25^oc, 0.1% de valor máximo.

Contenido de humedad 40 ppm, de valor máximo.

En aceites con valores diferentes a los arriba mencio-nados, se recomienda regeneración.

Para aceites con valores tales como:

Acidez igual ó mayor que 0.2 mg KOH/g.

Tensión interfacial, menor ó igual a 16 dinas/cm.

Rigidez dieléctrica, menor ó igual a 22 kv.

Contenido de humedad, igual ó mayor que 80 ppm.

Se recomienda sustitución.

El proceso de regeneración de aceite hay que efectuarlo en varios pasos de filtrado, centrifugado y desgasificado y todo ello bajo un precalentamiento del aceite.

La operación anterior se hace en un moderno equipo de -tratamiento de aceite, el cuál se encuentra instalado - en una sola unidad. Sin embargo y por su alto costo, dificultad de transporte, se realiza la regeneración con- un filtro prensa ó filtro centrífugo, dando éste equipo buen resultado si se siguen las siguientes instruccio - nes.

En la figura no. 10. se muestra la conexión del filtro- centrífugo al transformador cuyo aceite se vá filtrar,-

y el sentido de circulación del aceite.

La carga de papel filtro para utilizar, debe ser previamente secado en horno a temperatura de 105°c, y -- por un período de 8 horas, a fin de eliminar la humedad del papel y asegurar un secado efectivo del - - - aceite.

El proceso de filtrado consistirá en pasar por el filtro prensa ó centrífugo tres veces, la cantidad total del aceite del transformador. Efectuando lo anterior, tomaremos una muestra de aceite y la analizaremos: si las condiciones del aceite no son adecuadas, repeti - mos el proceso hasta obtener la regeneración del - -- aceite.

En ningún caso es recomendable hacer éste proceso de-refiltrado estando energizado al transformador.

Si el transformador cuenta con un relevador Bucholz, - recordar que se debe purgar antes de ponerse en servi - cio.

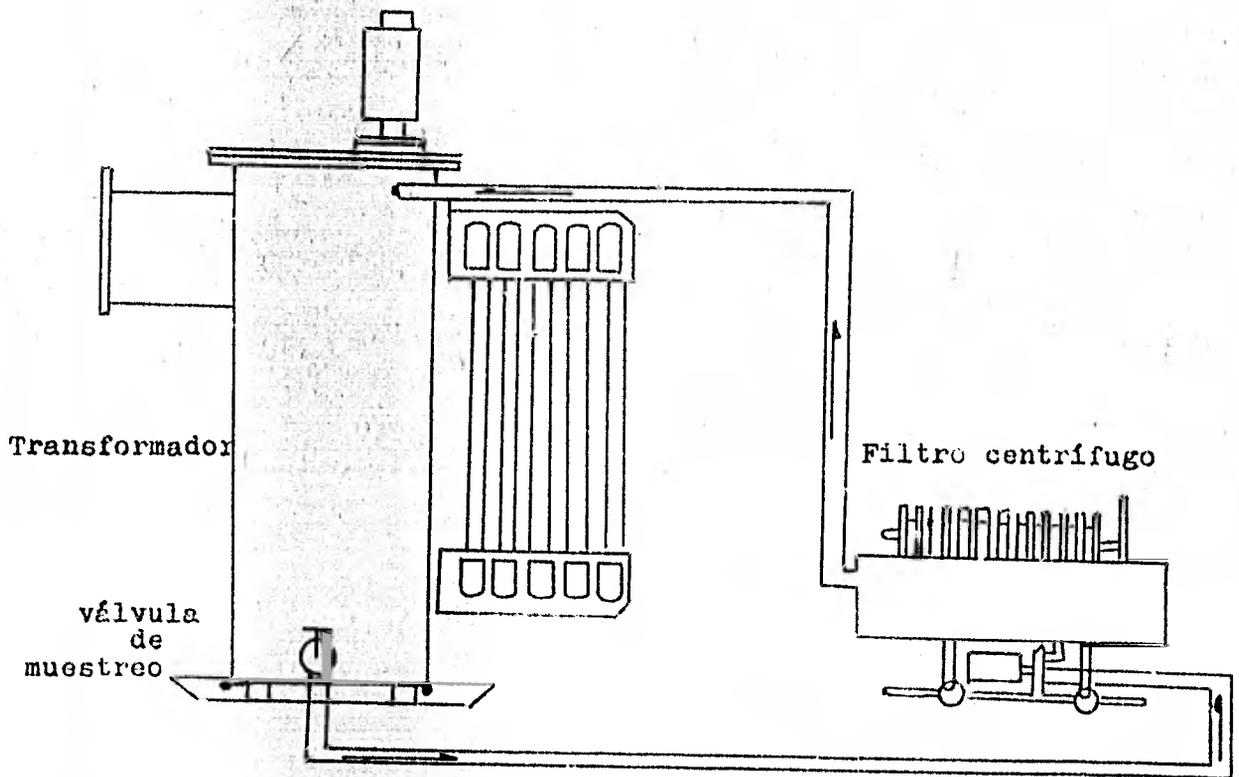


Figura No. 10 Regeneración de aceite y proceso de filtrado.

CAPITULO QUINTO.

A.- ASPECTOS TECNICOS DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.

a).- INFORMACION GENERAL.

Efecto de la altitud en la elevación de temperatura y en la rigidez dieléctrica del aire.

El transformador de distribución es aquél que tiene una capacidad hasta de 500 KVA; hasta 67000 volts, en alta tensión y hasta 15000 volts, en baja tensión, su frecuencia de operación debe ser de 60 Hertz y debe ser diseñado para una altura mínima de 1000 metros sobre el nivel del mar ya que ésta surte efecto en la elevación de primera temperatura como a continuación se explica:

El aumento en la altitud produce disminución en la densidad del aire, lo cuál a su vez incrementa la elevación de temperatura en los transformadores que dependen del aire para su disipación de calor.

Por lo tanto debemos considerar lo anterior para operar los transformadores en las siguientes formas:

OPERACION A CAPACIDAD NOMINAL.

Los transformadores contruidos para altitudes de 1000 metros pueden operarse a capacidad nominal a mayores altitudes, siempre que la temperatura ambiente promedio máxima, no exceda los valores indicados en la Tabla No. 1.

OPERACION A CAPACIDAD REDUCIDA.

Si la temperatura ambiente promedio máxima excede de los valores indicados en la tabla anterior, pero sin exceder la temperatura promedio de 30°C, durante 24 horas se puede operar a capacidad reducida en el por-

centaje que se indica por cada 100 metros. En exceso de 1000 metros en la tabla no. 2.

EFEECTO DE LA ALTITUD EN LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL-AIRE.

El aumento produce disminución en la densidad del aire, lo cuál a su vez disminuye la tensión de flameo.

La rigidez dieléctrica de algunas partes de un transformador, que dependen total ó parcialmente del aire para aislamiento, disminuye conforme la altitud aumenta. Para una clase de aislamiento, dada la rigidez dieléctrica a 1000 metros de altitud, debe multiplicarse por el factor de corrección apropiado para la nueva altitud a fin de obtener la nueva rigidez dieléctrica a la altitud específica, ver Tabla No. 3.

La altitud de 4500 metros se considera la máxima para transformadores normales.

OPERACIONES A TENSIONES SUPERIORES A LA NOMINAL.

Los transformadores deben ser capaces de operar:

Con 5% arriba de la tensión nominal del secundario a capacidad nominal kva, sin exceder los límites de sobre elevación de temperatura. Este requisito se aplica cuando el factor de potencia de la carga es de 30% ó mayor.

Con 10% arriba de la tensión nominal del secundario en vacío sin exceder los límites de sobre elevación de temperatura.

Para cualquier derivación se aplican los mismos requisitos anteriores.

NOTA.- La rigidez dieléctrica del aceite nuevo no debe ser menor de 28 kv.

Capacidades nominales preferentes en kva, para transformadores de distribución monofásicos; 5, 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 175, 250, 333, y 500 kva.

Capacidades nominales preferentes para transformadores de distribución trifásicos; 15, 30, 45, 75, 112.5, 150, 225, 300 y 500 kva.

Especificaciones de nivel de ruido.

Los transformadores deben estar contruidos para que el promedio de nivel de ruido no exceda los decibeles especificados adelante, cuando el transformador sea excitado a tensión nominal, sin carga y sea medido en las condiciones indicadas en el método de prueba.

Los valores en decibeles irdicados en la Tabla no.4, corresponden a los kva, nominales equivalentes a un transformador de dos devanados con la elevación de temperatura permitida para cualquier frecuencia hasta 60 Hertz.

Bancos Delta - Delta.

Para poder tener cargas equilibradas en los transformadores todas las unidades deben:

Estar conectadas en la misma posición de las derivaciones.

Tener la misma relación de tensión.

Tener la misma impedancia.

Un banco de tres transformadores pueden hacerse funcionar a potencia reducida con una pequeña carga desequilibrada si dos de las unidades tienen la misma impedancia y la tercera unidad tiene una impedancia comprendida entre $\pm 25\%$ de las unidades iguales. En la Tabla No. 5, se indica la distribución de la carga según la relación de desequilibrio (Z_1 = Impedancia de la unidad distinta, Z_2 = Impedancia de unidades iguales).

(&). Con cargas desequilibradas, debe comprobarse que ningún transformador quede sobrecargado.

Bancos Estrella- Estrella.

Si el neutro del lado de alta tensión del banco de transformadores se conecta al neutro del sistema, el banco puede quemarse por los siguientes razonamientos:

Se producirán corrientes circulantes en la estrella que traten de equilibrar cualquier carga desequilibrada conectada a la línea del primario.

Actuará como un banco de puesta a tierra suministrando corriente de circuito corto a cualquier corto circuito del sistema al cuál está conectado.

El devanado en estrella forma un circuito cerrado por el que circulan las corrientes de la tercera armónica.

Puede sobrecargarse si se quema un fusible en caso de corto circuitos a tierra, dejando al banco con la capacidad de un banco conectado en estrella abierta- estrella abierta.

El resultado de todos estos efectos es que el banco se vé forzado a conducir corrientes adicionales a su corriente normal de carga. La suma de las corrientes es, en muchas ocasiones, suficiente para quemar el banco. Cuando se utilizan conexiones en Estrella- Delta y el neutro del lado de alta tensión del transformador no se conecta al neutro del circuito, un conductor desconectado en el circuito del primario trifilar convierte el banco en un conjunto con entrada y salida monofásica. Si el banco alimenta circuitos de motores trifásicos. La corriente que pasa por los dos de los conductores del circuito alimentador será de igual magnitud, mientras que la del tercer conductor será igual a la suma de dichas corrientes.

b).- Descripción técnica de accesorios.

Cambiador de derivaciones externa. Figura No. 11.

Para operar el cambiador se debe tener la seguridad de que el transformador está sin carga y desenergizado.

Quite el tornillo " A " y levante el pestillo " B ", -- gire el maneral " C " hasta la posición requerida y ponga el tornillo " A " nuevamente en su posición.

Partiendo de cualquier posición, se obtiene voltaje menor si se gira el maneral en el sentido que se mueve en las manecillas del reloj; girándose en el sentido contrario se obtienen voltajes mayores.

Termómetro sin contactos de alarma. Figura No. 12.

Observación:

Al poner el transformador en servicio y después de tomar cada temperatura máxima use el imán para regresar la aguja " B ", hasta donde se encuentra la " A ".

Termómetro con contactos de alarma. Figura No. 13.

El termómetro tiene dos micro-interruptores, cada uno con dos contactos normalmente abiertos que se cierran cuando la temperatura alcanza el límite considerado.

El rango de los contactos es como sigue:

De:	10 Amperes	a	125 Volts.	de	C.A.
"	10 "	"	250 "	"	"
"	10 "	"	460 "	"	"
"	0.25 "	"	250 "	"	C.D.
"	0.50 "	"	125 "	"	"

Tomar en cuenta la misma observación anterior.

NIVEL DE ACEITE SIN CONTACTOS DE ALARMA. Figura No.14

El transformador se llena hasta su nivel normal en fábrica y a una temperatura de 25°C antes de ponerlo en servicio la aguja del instrumento ligeramente debe ó marcará arriba ó abajo del nivel a 25°C, según la temperatura del lugar de instalación.

Cuando el aparato entre en servicio, la temperatura del aceite aumentará y por supuesto aumentará su volumen; entonces la aguja indicará un nivel superior al inicial.

La expansión del aceite se calcula en fábrica y el instrumento la indicará adecuadamente, así como cuando haya bajo nivel.

NIVEL DE ACEITE CON CONTACTOS DE ALARMA. Figura No.15

Este instrumento está previsto con contactos "Normalmente cerrados (NEGRO Y BLANCO)", figura 2, cuando el transformados contiene aceite a su nivel correcto.

Si la aguja marca LO (LOW OIL = Aceite Bajo) figura 1 se abren los contactos citados antes y se establece el circuito "BLANCO-VERDE" y opera la alarma como se indica con línea de puntos.

RANGO DEL MICRO INTERRUPTOR NORMAL

10 A	a	125	6	460 Volts de C.A.
5 A	a	125		Volts de C.D.
25 A	1	250		Volts de C.D.

Con las mismas observaciones que para Unidad de Aceite sin Alarma.

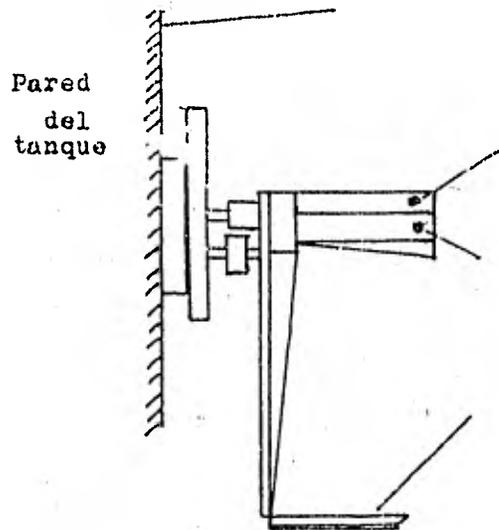
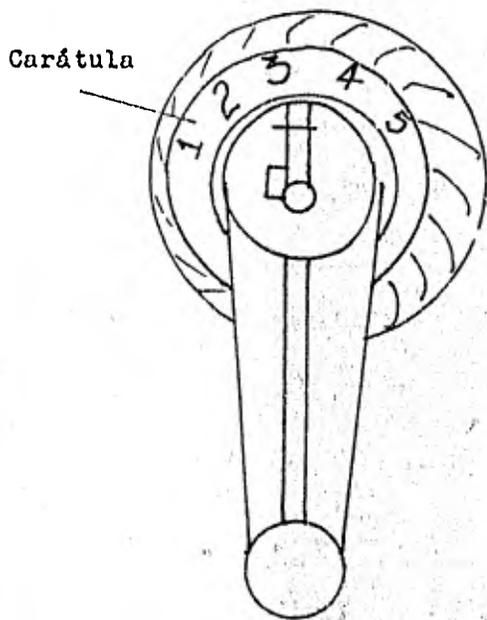
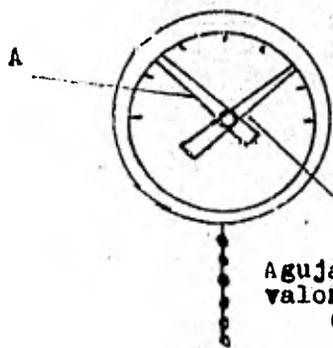


Figura No. 11. Cambiador de derivaciones externa.

A
Aguja indicadora de valores instantáneos
(blanca)



Vástago detector

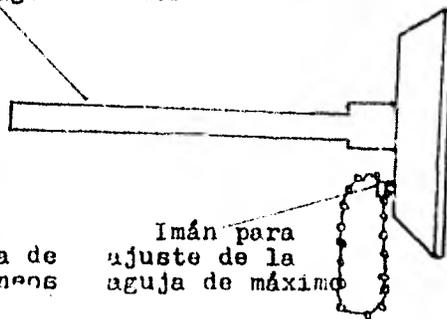


Figura No. 12.

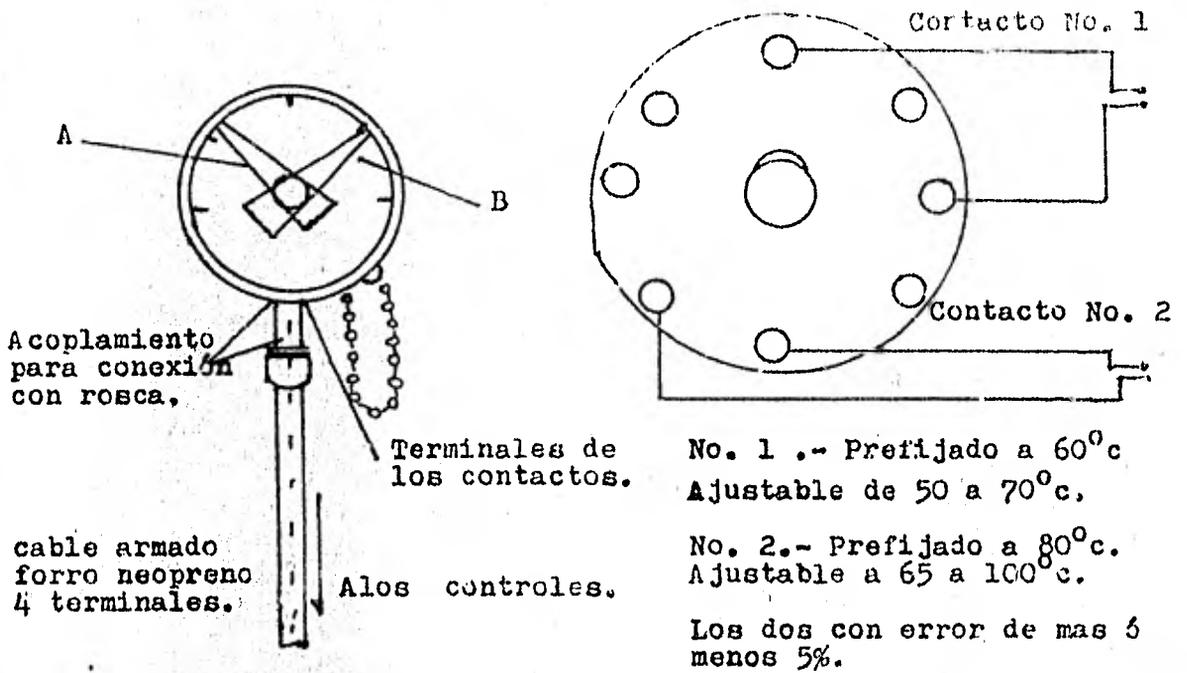


Figura No. 13. Termómetro con contactos de alarma.
Tomar en cuenta la misma observación anterior.

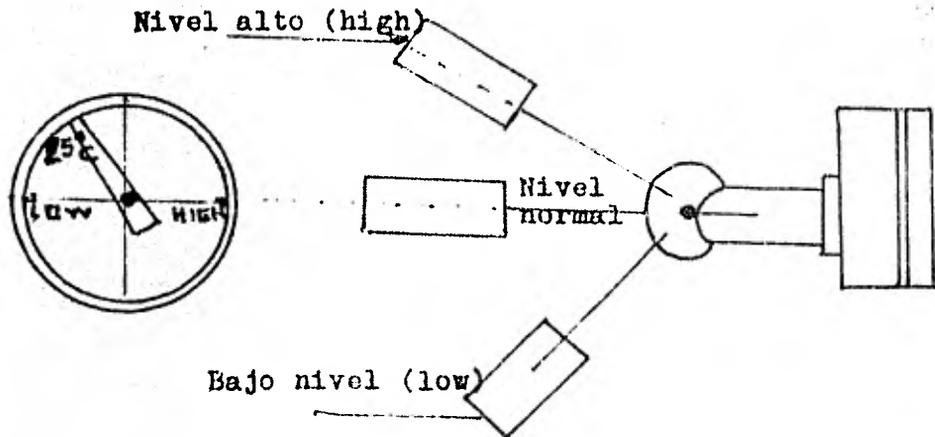


Figura No. 14. Nivel de aceite sin contactos de alarma.

Con las mismas observaciones que para el nivel de aceite sin alarma.

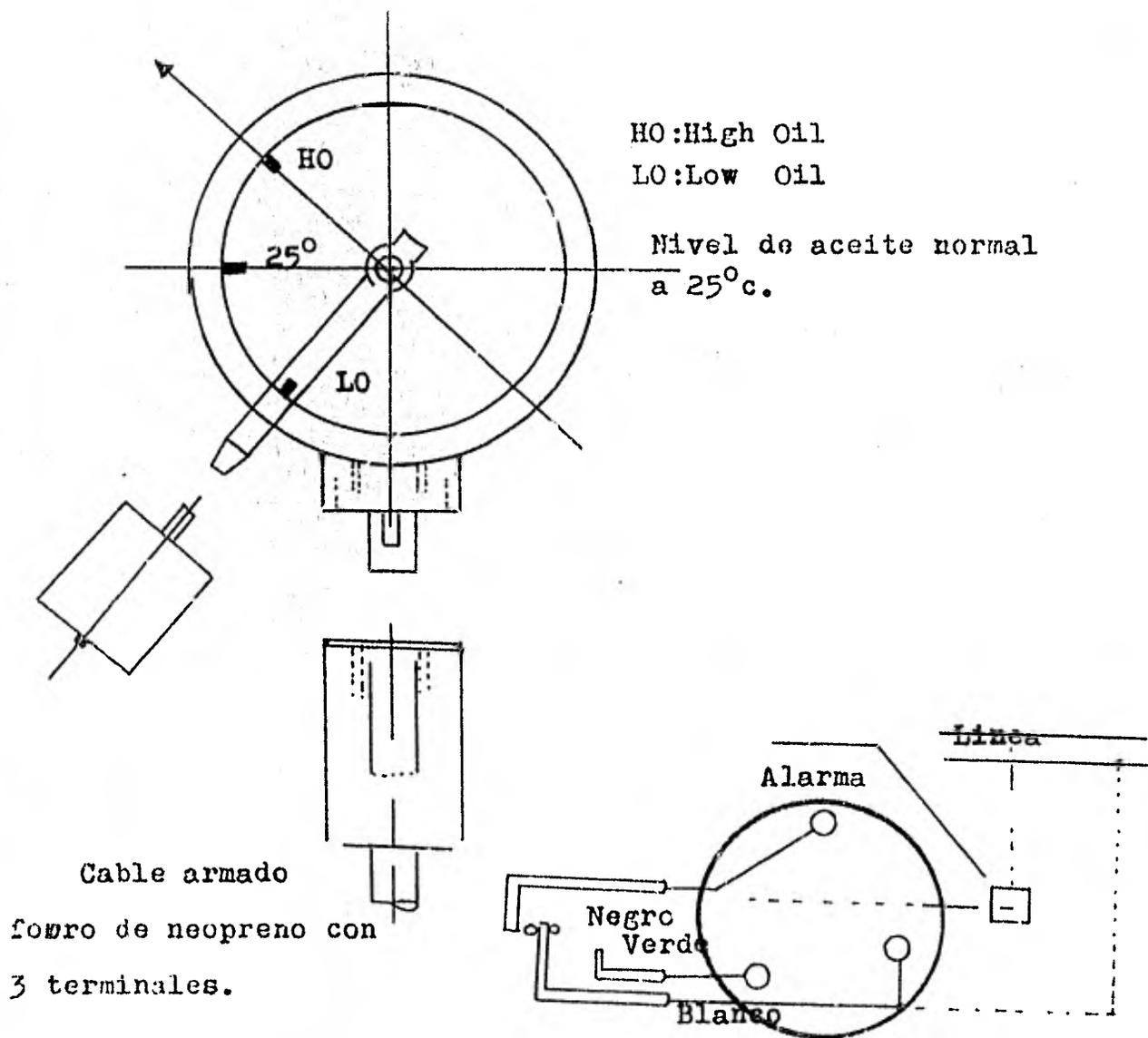


Figura No. 15.

c).- Preservación del aceite.

Durante la vida del transformador su aceite se oxida atacando la celulosa de los aislamientos, por ello es necesario evitar al máximo el contacto físico entre el aceite del transformador y el aire que lo rodea. A continuación se describen los métodos usuales de preservar el aceite:

Cámara sellada.- Este es el método más usual y económico, consiste simplemente en sellar herméticamente el tanque, de tal forma que el aire que ocupe la cámara de expansión quede aislado del exterior y por lo tanto no remueva su oxígeno y ni admita del exterior. Este método se provee de un alivio de presión y otro de vacío para impedir que la presión anterior alcance valores peligrosos para el tanque. En casos de presiones superiores a 8 libras/ pulgada², e inferiores a 0.5 libras/ pulgada², los reguladores permiten la expulsión ó admisión del aire; pero éste ocurre raramente si la cámara se diseña para que solo en circunstancias extraordinarias produzcan esas presiones límite.

Cámara de nitrógeno.

Este sistema consiste en sustituir el aire de la cámara por nitrógeno, con lo cuál se evite totalmente el contacto entre aceite y aire y se evita la oxidación y la presencia de humedad.

Para asegurar la presencia del nitrógeno en la cámara se encontrará con recipientes conteniendo dicho gas, situado a un costado del tanque y conectados a éste a través de válvulas regulador.

d).- Protección a transformadores apartarrayos.

Este sirve para proteger a nuestro transformador contra las sobretensiones resultantes de las descargas atmosféricas.

El apartarrayos para su máxima eficiencia, debe ser instalado lo más próximo al transformador. En subestaciones convencionales de tipo abierto, se considera un buen sistema de acorazamiento contra descargas directas, el utilizar el hilo de guarda que se prolongue hasta una distancia de 600 a 800 metros, fuera de la subestación; si el secundario de nuestra subestación se distribuye en línea larga expuesta es también conveniente contar con el acorazamiento antes mencionado.

Para mejor exposición veamos la Figura No. 16.

POSICION	DESCRIPCION
1	Transformador
2	Apartarrayos del Primario
3	Apartarrayos del Secundario
4	Línea de alimentación Primaria.
5	Circuito alimentador de la carga.
6	Hilo de guarda que se recomienda prolongar a distancia, de 600 mts, a 800 mts. Fuera de la subestación aterrizándola en cada poste.
7	Hilo de guarda para el caso de secundario expuesto en longitud larga.
8	Estructura de la subestación.
9	Tierra de la subestación de bajo valor resistivo.
10	Aislador.

GUIA PARA SELECCIONAR APARTARRAYOS.

Apartarrayos para circuitos con neutro no aterrizados:

Estos se utilizan cuando el neutro está aislado ó está aterrizada a través de un neutralizador de falla a tierra ó a través de resistencia ó reactancia de alto valor.

Estos apartarrayos se les conoce también como apartarrayos 100% pues ellos deben soportar el voltaje nominal de línea a línea cuando hay una falla a tierra ó en una fase.

Apartarrayos para circuitos con neutro aterrizados:

Se dice que un circuito tiene su neutro sólidamente aterrizado a través de una impedancia, cuando se tiene las relaciones siguientes:

$$\frac{X_0}{X_1} \quad \text{Varíe de 0 a 3}$$

$$\frac{R_0}{R_1} \quad \text{Varíe de 0 a 1}$$

En donde X_0 = Rectancia de secuencia cero.

X_1 = Rectancia de secuencia positiva.

R_0 = Resistencia de secuencia cero.

En estos circuitos y a cualquier condición de operación, el apartarrayos siempre debe estar sólidamente aterrizado.

La siguiente tabla dá en forma directa la forma de definir el apartarrayos por aplicar, dependiendo del voltaje de operación de nuestro circuito y de que éste sea con neutro con ó sin aterrizar.

RELEVADOR TERMICO.

Este consiste de un elemento sumergido en el aceite, al cual se sobrepone el calentamiento de una corriente proporcional a la carga. Las características de disipación y calentamiento de éste pequeño sistema, se ajustan a la de los devanados para hacerlos seguir una curva de calentamiento paralela a la del punto más caliente en las bobinas, de modo que su límite de temperatura corresponda a un valor definido en el relevador que provoque su operación.

Al obtenerse la temperatura crítica, el relevador disparará el interruptor ó dará la señal para que arranquen los ventiladores ó bomba que permitirá que el transformador trabaje con sobrecarga.

RELEVADOR BUCHOLZ.

(Cuando se instala en algunos transformadores en fábrica).

El Relevador Bucholz asegura la protección del transformador, señalando la presencia de gases ó vapores y desconectando el aparato en caso de avería grave.

En un transformador sumergido en aceite, al ocurrir una falla interna dá por resultado la creación de un volumen gaseoso más ó menos importante, ó bien de vapores que provienen a la descomposición de los aislamientos sólidos ó líquidos bajo la acción del calor y particularmente de un arco eléctrico.

El relevador Bucholz se inserta, por medio de bridas en una tubería que conduce desde la parte más alta del tanque de expansión ó conservador. Se proveen medios para hacer que el gas se dirija a la tubería del Bucholz, y evitar su acumulación en otros lugares y también se provee de alivios para sobrepresiones. Figura No. 17 y 17a.

El cuerpo de Bucholz, encierra dos flotadores "A1 y - A2", que puedan girar alrededor de sus ejes " B1 y B2 y operar los contactos " C1 y C2, que deben cerrar -- respectivamente, el circuito con señal de alarma ó -- bien operar el dispositivo de desconexión del trans - formador.

Cuando las averías son poco importantes, las burbujas gaseosas que provienen del transformador hacen que ba je el nivel de aceite dentro de la caja del releva --- dor, lo que provoca que el flotador "A", se mueva y - junto con él, el switch de mercurio "C", cerrando así el circuito de alarma.

Si ocurre una falla grave, en el interior del trans--- formador se produce un violento desprendimiento gaseo so. Esto motiva la expulsión de un volumen equivalen- te de aceite que hace oscilar el flotador " A2 " ce -- rrando el contacto " C2 " y operando el interruptor - del transformador.

FALLAS QUE DETECTA EL RELEVADOR BUCHOLZ

CAUSAS	EFECTO
Entrada de aire por juntas defec- tuosas.	ALARMA
Corto circuito en núcleo	"
Falsos contactos	"
Chisporroteo entre piezas metáli- cas y tierra.	"
Bajo nivel del aceite.	ALARMA--DESCONEXION
Perforación de un aislante	DESCONEXION--ALARMA
Corto circuito entre vueltas, en- tre bobinas ó puntos.	" "
Brinco a tierra de una pieza bajo tensión.	" "
Descarga accidental muy intensa	ALARMA--DESCONEXION
Transformador térmicamente sobre- cargado.	DESCONEXION

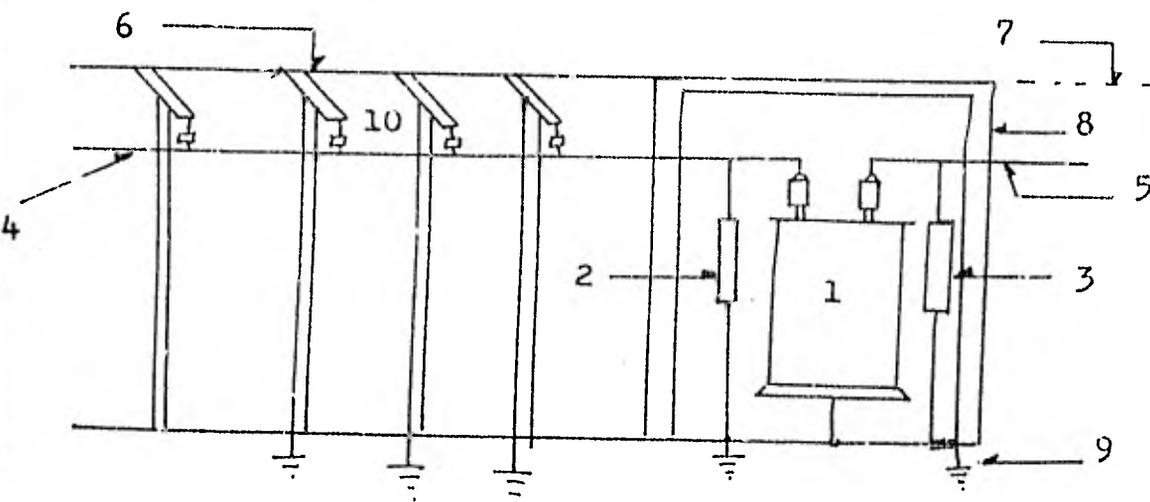


Figura No. 16

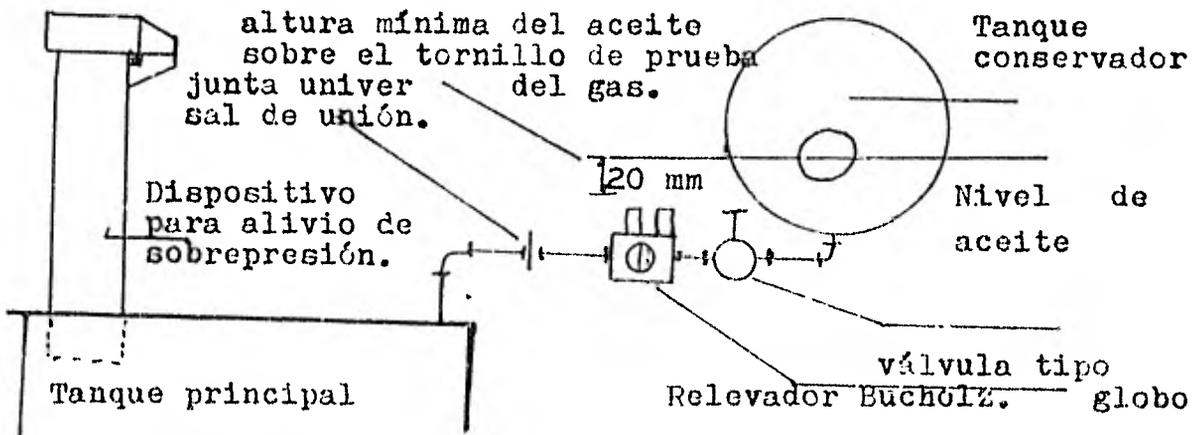


Figura No. 17.

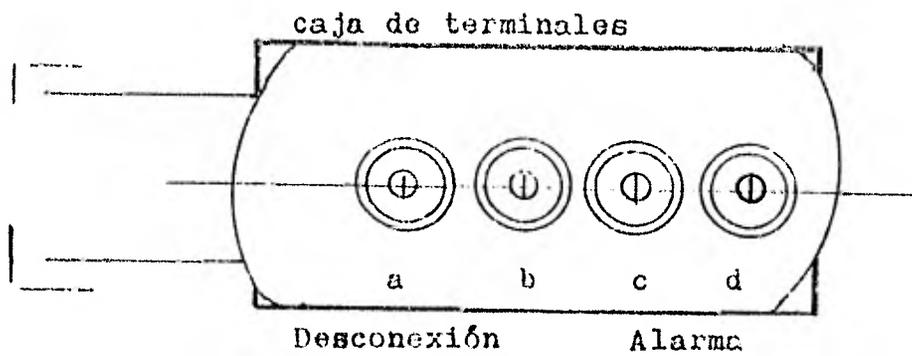
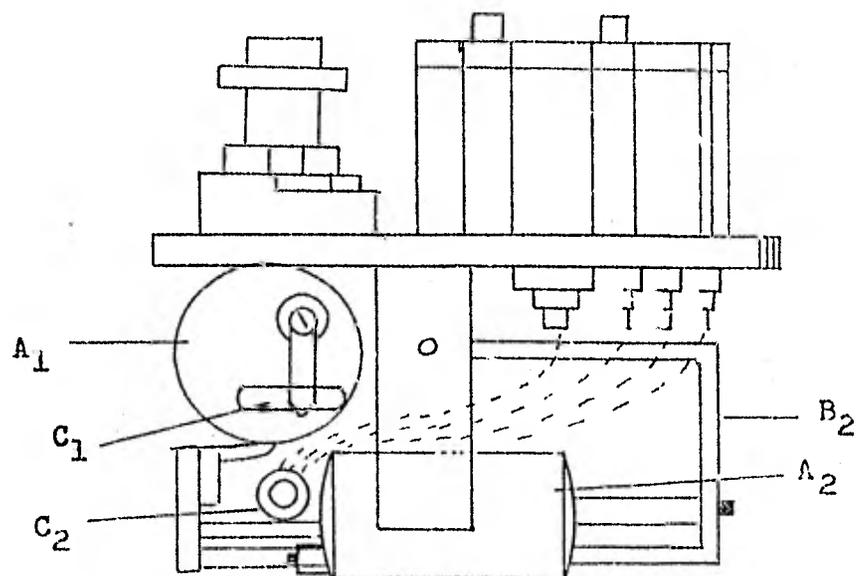


Figura No. 17a.
-58-

Tabla No. 1.

TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO MAXIMA PERMISIBLE DEL AIRE REFRIGERANTE PARA OPERACION A CAPACIDAD NOMINAL.

Tipo de enfriamiento	ALTITUD EN METROS			
	1000	2000	3000	4000
Sumergido en líquidos aislante				
Auto- enfriados.				
	GRADOS CENTIGRADOS			
Clase OA	30	28	25	23
Sumergido en líquidos aislantes y aire forzado Clase FA	30	26	23	20
Tipo seco auto-enfriado Clase-AA.				
(1) 55 ^o c de sobre elevación	30	27	24	21
(2) 65 ^o c de sobre elevación	30	27	24	21
(3) 80 ^o c de sobre elevación	30	26	22	18
(4) 150 ^o c de sobre elevación	30	22	15	7
TIPO SECO Y AIRE REFORZADO CLASE AFA				
(1) 55 ^o c de sobre elevación	30	24	19	14
(2) 65 ^o c de sobre elevación	30	24	19	14
(3) 80 ^o c de sobre elevación	30	22	14	6
(4) 150 ^o c de sobre elevación	30	15	0	-15

Tabla No.2

FACTOR DE CORRECCION DE LA CAPACIDAD NOMINAL PARA ALTITUDES MAYORES DE 1000 METROS.

FACTOR DE CORRECCION POR CADA 100 METROS EN %

TIPO DE ENFRIAMIENTO

Auto enfriados sumergidos en líquidos aislantes Clase OA	0.4
Sumergidos en líquidos aislantes - enfriados por aire forzado Clase FA	0.5
Auto enfriados tipo seco Clase AA	0.3
Tipo seco enfriado por aire forzado Clase AFA	0.5

Tabla No.3

FACTORES DE CORRECCION DE RIGIDEZ DIELECTRICA PARA ALTITUDES MAYORES DE 1000 METROS:

ALTITUD EN METROS	FACTOR DE CORRECCION
1000	1.00
1200	0.98
1500	0.95
1800	0.92
2100	0.89
2400	0.86
2700	0.83
3000	0.80
3600	0.75
4200	0.70
4500 (B)	0.67

Tabla No.4

VALORES DE NIVEL DE RUIDO

Equivalentes a dos devanados Kva	NIVEL DE RUIDO EN DECIBELES CLASE.			
	AA	AFA	OA	FA
Hasta 300	66	70	56	70
301 a 500	68	71	58	70

Tabla No.5

RELACION	PORCENTAJE DE CARGA (&) EN	
	Z_1	Z_2
	UNIDAD DISTANCIA	UNIDADES IGUALES
0.75	109.0	96.0
0.80	107.0	96.5
0.85	105.2	97.3
0.90	103.3	98.3
1.10	96.7	102.0
1.15	95.2	102.2
1.20	93.8	103.1
1.25	92.3	103.9

TABLA No. 6.

APARTARRAYOS PARA OPERAR ALTITUDES HASTA 1,800 MTS.

VOLTAJE NOMINAL DE APARTARRAYO.	VOLTAJE DE CIRCUITO (KV)	
	CIRCUITO CON NEU- TRO NO ATERRIZA- DO.	CIRCUITO CON- NEUTRO ATERRI- ZADO.
3	2.40	4.16
6	4.80	7.20
9	7.20	12.47
12	11.20	13.20
15	13.20	18.00
20	18.00	23.00
25	23.00	27.60
30	27.60	34.50
37	34.50	- - -
40	- - -	46.00
50	46.00	57.50
60	57.50	69.00
73	69.00	- - -
79	- - -	92.00
97	92.00	115.00
109	- - -	138.00
121	115.00	138.00

CAPITULO SEXTO.

A.-- PRUEBAS DE LABORATORIO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.

a).-- OBJETIVO DE LAS PRUEBAS.

El objetivo que se sigue al efectuar las pruebas del transformador es obtener las características de operación como son: % de corriente de excitación, % de impedancia, eficiencia y regulación. Detectar posibles fallas de construcción y comparar los valores del diseño en los valores reales obtenidos en las pruebas.

b).-- TIPOS DE PRUEBA EN LABORATORIO.

Existen varios tipos de pruebas que se deben aplicar a los transformadores, como son:

- PRUEBAS DE PROTOTIPO

Estas pruebas se aplican a los transformadores de nuevo diseño ó modificaciones de diseño anteriores, con el propósito, de verificar si el producto cumple con lo especificado y son las siguientes:

CARACTERISTICAS DE LAS COMPONENTES

MEDICION DE RESISTENCIA OHMICA DE LOS DEVANADOS

ELEVACION DE TEMPERATURA DE LOS DEVANADOS

IMPULSO

= PRUEBAS DE RUTINA

Son las que se efectúan en todos los transformadores para verificar, si la calidad del producto se mantiene dentro de las tolerancias permitidas y son las siguientes:

CARACTERISTICAS FISICAS DEL CONJUNTO

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

TENSION DE RUPTURA DIELECTRICA DEL ACEITE

RELACION DE TRANSFORMACION

POLARIDAD

PERDIDAS DE EXCITACION

CORRIENTE DE EXCITACION

IMPEDANCIA Y PERDIDAS A LA CARGA

POTENCIAL APLICADO

POTENCIAL

HERMETICIDAD

POTENCIAL Y CALIBRACION DE ACCESORIOS

- PRUEBAS OPCIONALES

Son las pruebas que se establecen entre el comprador y el fabricante, con el objeto de verificar características del conjunto, las pruebas opcionales son:

FACTOR DE POTENCIA

PERDIDAS, CORRIENTE DE EXCITACION E IMPEDANCIA A TEN---
CIONES, CARGAS Ó FRECUENCIAS DISTINTAS DE LAS NOMINALES
ELEVACION DE TEMPERATURA DE LOS DEVANADOS A CAPACIDADES
DISTINTAS DE LOS NOMINALES

NIVEL DE RUIDO

IMPULSO

c).--PRUEBAS DIELECTRICAS.

El objeto de estas pruebas de analizar que estén en --
buen estado los aislamientos de los devanados del trans-
formador.

Las pruebas que se realizarán son las siguientes:

RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

PRUEBAS DE POTENCIAL APLICADO

PRUEBAS DE POTENCIAL INDUCIDO

- RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

El objeto de ésta prueba es verificar si el líquido ais-
lante cumple con las condiciones de limpieza y grado de
humedad necesaria para el desarrollo de su cometido --
dielectrico, entre devanados y tierra.

Esta prueba se lleva a cabo por medio del método de la "Copa Standard", el cual consiste en la aplicación de un voltaje regulable que se aplica entre dos electrodos se calibran desde el exterior con un calibrador circular. La separación a la que se hace este ensayo es de 0.0025 m, y los pasos a seguir son los siguientes:

Se abre la válvula de muestreo para que se corra el líquido libremente y así limpiarse el conducto de la válvula.

Se lava la copa previamente con el mismo aceite que se va a probar.

Se calibran los electrodos a la separación de 0.0025m, Se toma la muestra del líquido, dejándose en reposo durante 5 minutos, hasta que esté completamente quieto y sin burbujas. La copa se llenará de aceite a una altura no menor de 20 mm, arriba del borde superior de los electrodos.

Los electrodos se conectan a una fuente de potencia y se aplica la tensión a razón de 3KV/segundo, hasta lograr la ruptura, esta se conocerá con una descarga continua a través de los electrodos. El circuito deberá abrir lo más rápido posible después de una ruptura para impedir la carbonización innecesaria del aceite.

A continuación de cada ruptura de la copa, deberá sacudirse para aflojar las partículas de carbón que pueden haberse adherido a los electrodos, se efectuarán 5 lecturas ó muestras.

El promedio de las lecturas nos representará la rigidez dieléctrica.

TOLERANCIAS.

El valor de la resistencia dieléctrica según normas aplicables son:

ACEITE No menor de 25 Kv.
ASKAREL No menor de 35 Kv.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

El objeto de ésta prueba es comprobar si el aislamiento ha sido secado adecuadamente y encontrar el valor óhmico del aislamiento.

La resistencia del aislamiento depende del grado de humedad y limpieza del mismo. Con el valor óhmico se determina el grado de humedad entre devanados y tierra, y al mismo tiempo se verifica que el transformador está capacitado para soportar las pruebas dieléctricas que será sometido.

Esta medición se efectúa con un aparato llamado "Megger", que consta esencialmente de una fuente de corriente directa y un irradiador de "Pulsos". La capacidad de la fuente de corriente directa es baja, ya que la finalidad es ver el estado en que se encuentra un aislamiento; ya que es una prueba indicativa no destructiva, de tal forma que si un aislamiento está débil no lo agrava. Las resistencias de aislamiento a determinar son las siguientes:

ALTA TENSION CONTRA BAJA TENSION.

ALTA TENSION CONTRA BAJA TENSION MAS TANQUE A TIERRA.

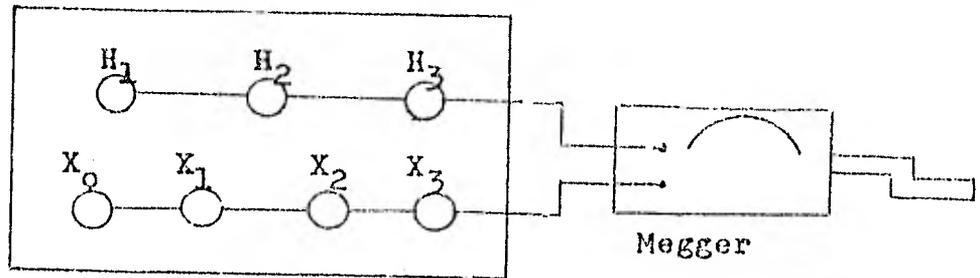
ALTA TENSION MAS TANQUE A TIERRA CONTRA BAJA TENSION.

Ver. Figura No. 18, 18a, y 18b.

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO.

El objetivo es verificar que la clase y cantidad de material aislante son los adecuados para resistir el voltaje de prueba según las normas anteriores. Esta prueba es de las más importantes, ya que si las distancias quedan entre devanados y devanados a tierra no son las adecuadas, los aislamientos pueden ser deteriorados, lo cual origina un corto circuito interno con lo que el transformador se dañaría.

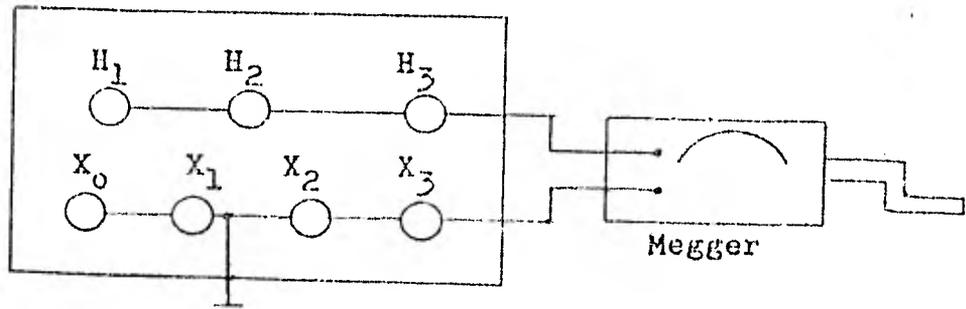
Devanados de alto voltaje contra devanados de bajo voltaje.



Transformador bajo prueba

Figura No. 18.

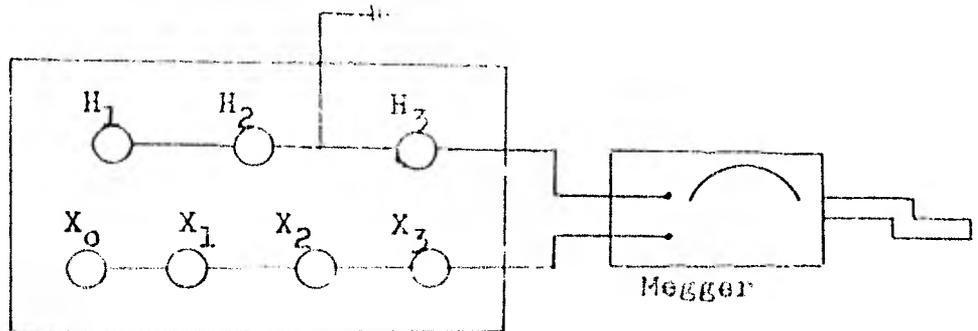
Alto voltaje contra bajo voltaje mas tanque a tierra.



Transformador bajo prueba.

Figura No. 18a.

Baja tensión contra alta tensión mas tanque a tierra.



Transformador bajo prueba.

H₁, H₂, H₃ Son Alta tensión.

X₀, X₁, X₂, X₃ Son Baja tensión.

Figura No. 18b.

Las conexiones para esta prueba se realizan en la misma forma que para la de aislamiento, sólo que ahora se usará un transformador como fuente potencial en lugar del " Megger ".

El circuito de la Figura No. 19, muestra las conexiones del experimento.

Los voltajes de prueba aplicables serán de acuerdo en KV, que indiquen las normas en Tabla No. 7.

EL TIEMPO DE APLICACION SERA DE 60 SEGUNDOS.

La forma de realizar esta prueba es como sigue:

Se parte de un voltaje mínimo y se aumenta paulatina - mente hasta llegar al voltaje de prueba.

Cuando se llega al voltaje de prueba se mantiene duran - te un minuto.

Cuando se llega al mínimo se desconecta la fuente.

PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO.

Su objeto es comprobar que los aislamientos que hay en - tre espiras, capas y secciones de un devanado estén en buenas condiciones, y si no detecta los puntos débi - les. La prueba es el doble de voltaje nominal hasta - completar 7,200 ciclos.

Dado que en esta prueba se incrementan los voltios. -- Por vuelta del transformador, la frecuencia de la ten - sión de prueba debe ser lo suficiente alta para limi - tar la densidad de flujo en el núcleo.

La frecuencia mínima para lograr esta condición está - dada por la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\text{TENSION INDUCIDA A TRAVES DEL DEVANADO} \times F_n}{1.1 \times \text{TENSION NOMINAL DEL DEVANADO}}$$

DONDE: F= Frecuencia F_n= Frecuencia Nominal

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO.

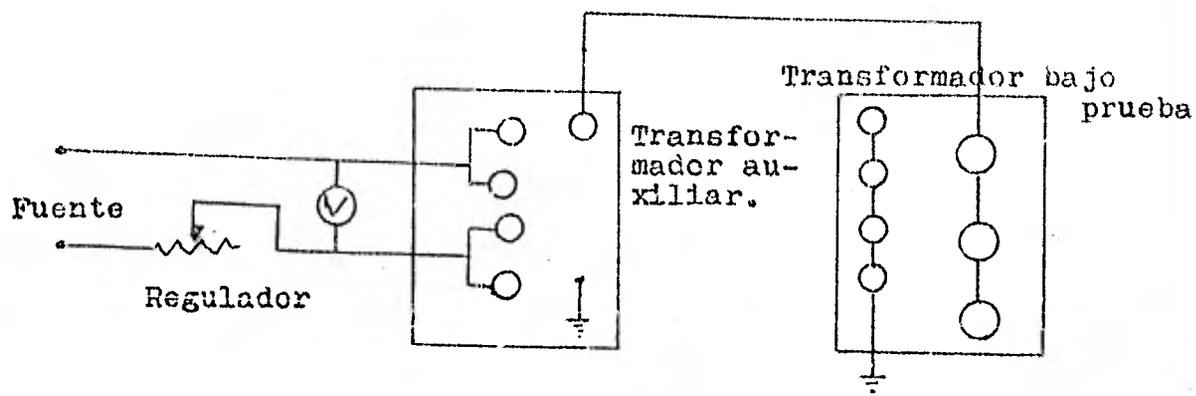


Figura No. 19.

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO.

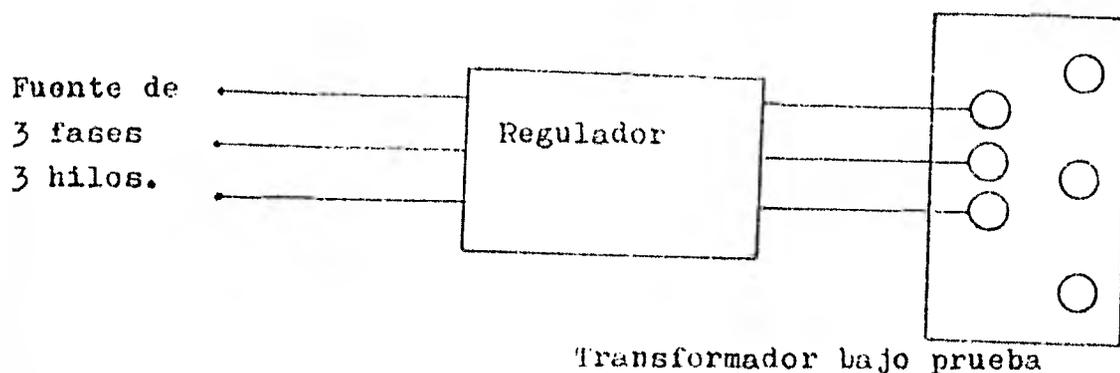


Figura No.20.

Sin embargo, si se usan frecuencias más altas de 120 Hz, la severidad de la prueba se incrementa y por esta razón la duración de la prueba debe reducirse dependiendo de la frecuencia que se use. El tiempo de duración de la prueba está dado por la siguiente fórmula.

$$T = \frac{7,200 \text{ (Seg.)}}{\text{FRECUENCIA EMPLEADA}}$$

El tiempo de duración de la prueba es el correspondiente para completar 7,200 ciclos.

El desarrollo de ésta prueba es el siguiente:

Se excitó el devanado de baja tensión, al 200% del voltaje, si el voltaje nominal es de 480 Volts, por lo tanto se aplicarán 960 voltios, con esto se logra que el aislamiento entre espiras esté sujeto a esfuerzos dieléctricos correspondientes al doble de la tensión a la cuál va a trabajar.

Esta prueba se realiza a una frecuencia que tenga valor mínimo de 120 C.P.S. por lo tanto el generador del laboratorio deberá generar más, por ejemplo si genera 210 Hz el tiempo de aplicación para completar los 7,200 ciclos será:

$$T = \frac{7,200}{\text{Frecuencia empleada}} = \frac{7,200}{210} = 34.28 \text{ Seg.}$$

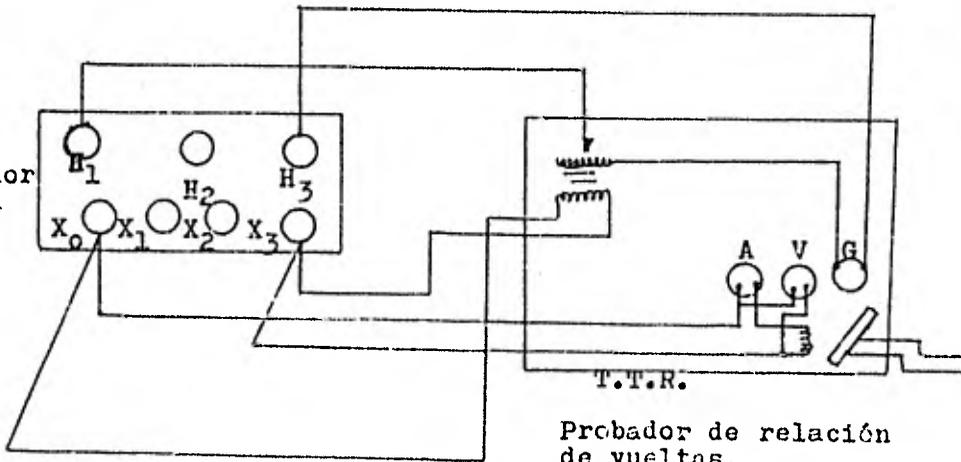
Aprox. 35 segundos.

El diagrama de la Figura No. 20, nos presenta la conexión para esta prueba.

d).- PRUEBAS DE RELACION DE TRANSFORMACION.

Con esta prueba se determina la polaridad, el desplazamiento angular y la secuencia de fases del transformador.

Transformador
Bajo prueba



Probador de relación
de vueltas.

Fase A: $X_0X_1 - H_1H_2$

Fase B: $X_0X_2 - H_2H_3$

Fase C: $X_0X_3 - H_3H_1$

Figura No. 21.

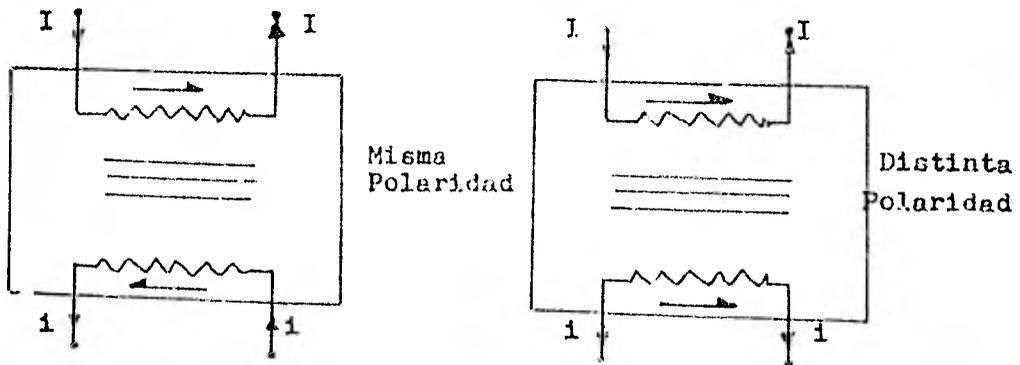


Figura No. 22.

La prueba de relación en un transformador con derivaciones deberá ser determinada para todas las derivaciones como también para todo el arrollamiento y deberá efectuarse a tensión nominal aplicada en cada fase. Su objetivo es determinar la relación entre el número de vueltas del primario y el secundario nos determina si la función suministrada puede ser transformada a la tensión deseada.

Los métodos usados para la prueba de relación son:

Método del Voltmetro.

Método del transformador patrón.

METODO DEL VOLTMETRO.

Se alimenta el transformador por el lado de alta tensión con voltajes bajos tomando lecturas en voltímetros conectados en el primario como en el secundario del transformador. Para lograr una mayor precisión en este método, los voltímetros deberán ser intercambiados y las pruebas repetidas, el promedio de los resultados.

METODO DEL TRANSFORMADOR PATRON.

Este método consiste en comparar el transformador que se desea conocer con un transformador patrón de relación conocida. Para efectuar esta prueba se excitan en paralelo tanto el transformador de prueba como el transformador patrón de la misma relación nominal y con los dos secundarios conectados en paralelo, pero con un voltmetro conectado entre las dos terminales de polaridad similar. Con este método se logra mayor precisión debido a que el voltmetro indica la diferencia de tensiones secundarias. En el Laboratorio la relación de transformador por comodidad y conveniencia se debe llevar a cabo con la utilización del T.T.R. (TURN TRANSFORMER RATIO = PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION. La tolerancia correcta para la relación de transformación será de + 0.5% según normas C.C.O.N.N.I.E. FIGURA No. 21.

PRUEBA DE POLARIDAD

La polaridad de un transformador depende de la forma - que estén conectados sus devanados, de esto deducimos - que cuando se habla de polaridad de un transformador - se debe especificar si se habla de polaridad interna - (Devanados), ó de su polaridad externa (Terminales) Cuando no se especifique la polaridad se debe entender que es de las terminales.

POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR 1Ø ó POR FASE DE UN 3Ø

La polaridad de las terminales de un transformador está dada por las derivaciones instantáneas relativas de las corrientes en sus terminales. Se dice que las terminales primaria y secundaria tiene la polaridad cuando en un instante dado, la corriente entra en la terminal primaria en estudio y sale por la terminal secundaria correspondiente, como si a través de los dos terminales hubiera un circuito interno. Figura No. 22.

POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR MONOFASICO (ó por fase - si las terminales adyacentes a los devanados de alta - tensión y baja tensión de un transformador se cuentan - juntas y se aplica un voltaje al devanado de alta tensión, puede suceder dos cosas:

La polaridad será aditiva si el voltaje medido (V_M), entre las dos terminales (V_M), es mayor que el voltaje aplicado (V_A). Figura No. 23.

Por norma la polaridad aditiva deberá ser normal para todos los transformadores monofásicos de 200 KVA ó menor y devanados de alta tensión hasta 8660 Volts.

La Polaridad substractiva será normal para todo transformador monofásico.

La Polaridad de un transformador trifásico será determinada por la colocación relativa de sus terminales.

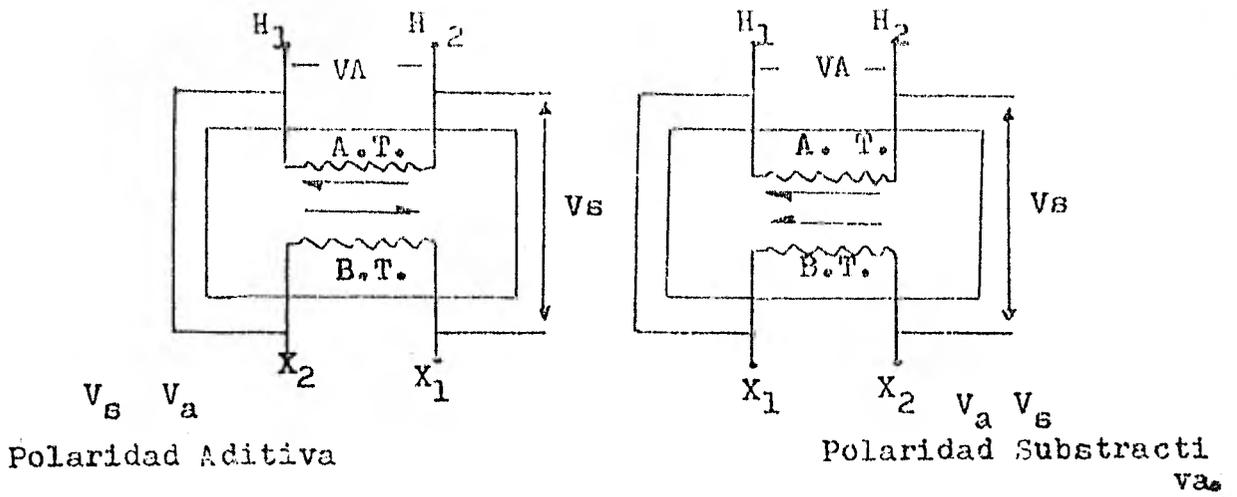


Figura No. 23.

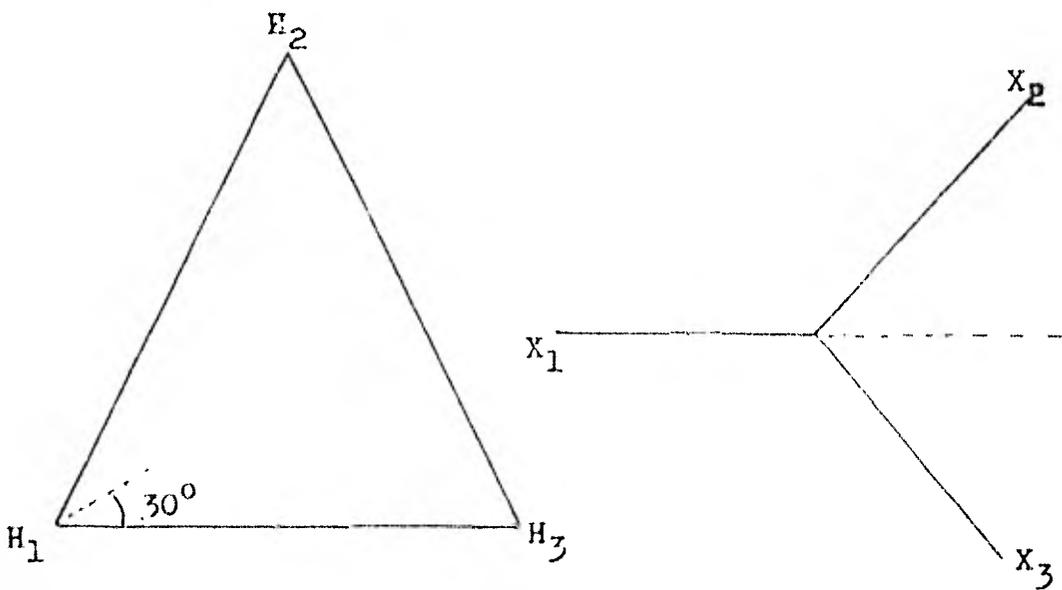


Figura No. 24. Conexión Delta- Estrella desplazamiento angular 30° .

Generalmente se designan en el Diagrama vectorial -- las terminales marcadas, además en este mismo dia -- grama se muestra el desplazamiento angular.

DESPLAZAMIENTO ANGULAR DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO.

Este es el ángulo de tiempo entre el voltaje de fase al de una terminal determinada de alta tensión -- por ejemplo HI, y el voltaje al neutro de la terminal B. T. Correspondiente (X1).

En un transformador trifásico con conexión Delta en el Primario y Estrella en el secundario, el desplazamiento angular debe ser de 30° con la B.T. atrasada con respecto a la A.T. como se muestra en la Figura No. 24.

e).- PRUEBAS PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DE UN TRANSFORMADOR:

En la operación de transformadores, al igual que toda maquinaria eléctrica, es importante conocer las constantes R, X y Z, Características de saturación del circuito magnético, así como las pérdidas que se originan en los devanados y el núcleo. Con las características anteriores se puede comprobar las especificaciones de diseño y determinar, la regulación y eficiencia.

Las pruebas que se efectuarán son las siguientes:

Medición de las resistencias óhmica de los devanados.

Obtención de las características de saturación del circuito magnético.

Medición de pérdidas en vacío.

Medición de pérdidas en carga.

MEDICION DE LAS RESISTENCIAS OHMICA DE LOS DEVANADOS:

El objetivo de ésta medición es, calcular las pérdidas por efecto de joule, ó sea RI^2 y para el cálculo de la temperatura de los devanados en la prueba de temperatura.

Esta prueba se realiza por temperatura, para obtener por comparación de resistencias el calentamiento de los devanados.

La resistencia óhmica de los devanados varía en proporción directa a la temperatura.

Existen dos métodos para llevar a cabo esta medición:

Por caída potencial

Por medio del puente.

El primero consiste en conectar un vóltmetro en paralelo a las terminales del devanado, y un amperímetro en serie con éste, y se alimenta el devanado con una fuente de corriente continua, una vez obtenidas las lecturas, la resistencia del devanado se determina de acuerdo con la ley de ohm.

El método de puente se lleva a cabo con el puente de Kelvin ó con el puente de wheatstone según sea el caso (menor que la unidad p/Kelvin), (mayor que la unidad para wheatstone), preferiéndose éste método por su exactitud.

La fórmula para calcular las pérdidas del secundario en posición nominal es:

$$RI^2 = 1/2 R_t I^2$$

y para el primario en posición nominal es:

$$RI^2 = 1/2 R_t I_1^2$$

OBTENCION DE LAS CARACTERISTICAS DE SATURACION DEL CIRCUITO MAGNETICO.

La función fundamental de la obtención de las características de saturación es conocer el grado de saturación del circuito magnético, y las pérdidas en el núcleo; este grado de saturación se conoce por medio de una gráfica que ilustre la relación que exista entre el voltaje aplicado y la corriente de excitación.

Por definición las pérdidas de corriente de excitación las constituyen principalmente las pérdidas del núcleo las cuales son en función de la magnitud, frecuencia y forma de onda de la tensión aplicada.

El método empleado para ser el más aproximado es el método del voltmetro medio, el cual emplea los siguientes instrumentos de medición: frecuencímetros, wattmetros, amperímetros de valor eficaz y voltmetro de valor eficaz y valor medio con su correspondiente rectificador de onda completa.

MEDICION DE PERDIDAS EN VACIO.

Para efectuar la prueba de circuito abierto ó en vacío se debe excitar el transformador por el devanado de B.T., para facilitar mediciones tomándose varias lecturas para formar la curva de saturación a diferentes voltajes y corrientes con los mismos factores, y se aplicará la tensión normal del transformador ajustando la mediante el voltmetro de valor medio, que tiene su escala graduada en valor eficaz y se observará si hay diferencia entre la lectura del voltmetro de valor medio y el voltmetro de valor eficaz. En caso de haber diferencia apreciable será necesaria la corrección tanto de los watts, de pérdidas leídos en el wattmetro como la de la corriente de excitación, para la cuál se tomarán lecturas de watts, volts del voltmetro de valor eficaz, volts del voltmetro de valor medio y amperes, obteniéndose el valor correcto de las pérdidas de la siguiente fórmula:

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

$$= \frac{P_m}{.8 + \left(\frac{E_m}{E}\right)^2 \times 2}$$

Donde:

P= Pérdidas del hierro corregidas

P_m= Pérdidas del núcleo medidas empleando --
el voltmetro de valor medio

P₁= Pérdidas por histéresis por unidad referida
a P_m (± 80%) = .8

P₂= Pérdidas por corriente parásitas por unidad
referida a P_m (± 20%) = .2

K= $\frac{E_m}{E}$ Tensión de prueba eficaz medida en la ---
prueba de excitación.

Tensión medida por el voltmetro de valor
medio.

K= Factor.

Para calcular el porcentaje de la corriente de excita-
ción tenemos la fórmula siguiente:

$$\% I_o = \frac{I \text{ en vacío} \times 100}{I \text{ nominal}}$$

Generalmente los valores de % de I_o se encuentran en
tre el 2 al 5% de la I nominal.

En las Figuras No. 25, 25a, 25b y 25c, los diagramas
de conexiones para esta prueba.

T.C. Medición de pérdidas y corriente de excitación--
de un transformador monofásico.

VM= Voltmetro de valor medio.

METODO DE LOS DOS WATTMETROS

El método descrito anteriormente para unidades monofásicas se aplica también para unidades trifásicas con las siguientes adiciones y modificaciones.

Al hacer la medición de las pérdidas en el núcleo por el método de los dos wáttmetros, se toman tres grupos de lecturas usando cada una de las tres líneas común-- el promedio de los tres grupos de lectura son las pérdidas reales en el núcleo.

Debido al factor de potencia la lectura de uno de los wáttmetros será negativa ó positiva o bien ambas del mismo signo, de tal forma que las pérdidas en el núcleo será la suma de éstas.

Bajo tales condiciones de dificultad, mayor precisión puede obtenerse por el método de los 3 wáttmetros, -- así las tres lecturas son sumadas para obtener las -- pérdidas de excitación.

METODO DE LOS TRES WATTMETROS CON NEUTRO ACCESIBLE.

Corriente de excitación.

Esta es la que mantiene la excitación del transformador. Se determina tomando en cuenta los valores de corriente por fase del transformador durante la prueba-- de pérdidas de excitación.

El promedio de corriente de cada fase es el que nos -- indicará éste valor.

Usualmente la corriente de excitación se expresa en -- porcentaje de la corriente normal de el devanado en el cual se hace la medición.

MEDICION DE LAS PERDIDAS DE CARGA

Las pérdidas de carga son las originadas por el efecto de joule en el cobre de los devanados de alto y bajo voltaje, más las pérdidas adicionales llamadas pa--

rásitas debidas a flujos en los devanados, y en el núcleo, el tanque y los herrajes, llamadas pérdidas indeterminadas.

Como las Pérdidas por efecto de Joule son en función de la resistencia y del cuadro de la corriente, la medición se debe hacer a corriente nominal, al igual que la impedancia está en función de la frecuencia, la medición debe hacerse a frecuencia nominal.

El procedimiento para esta medición es el siguiente:

Se pone en corto circuito el lado donde demanda más corriente (Baja Tensión), y se alimenta por el lado de alta tensión.

Con corriente y frecuencia ajustadas lo mejor posible a sus valores nominales se procede a tomar lectura simultáneas en el Voltmetro, amperímetro, Wátmetro y frecuencímetro, tanto para la derivación garantizada como para la de menor tensión.

La temperatura deberá ser tomada antes y después de la prueba, tomándose como temperatura del devanado el promedio de las dos temperaturas.

Las Pérdidas RI^2 de los dos devanados son calculadas de las mediciones de la resistencia óhmica y las corrientes que fueron usadas en la medición de la impedancia. Estas pérdidas RI^2 sustraídas de los watts, de impedancia dan las pérdidas indeterminadas del transformador, se deduce entonces que:

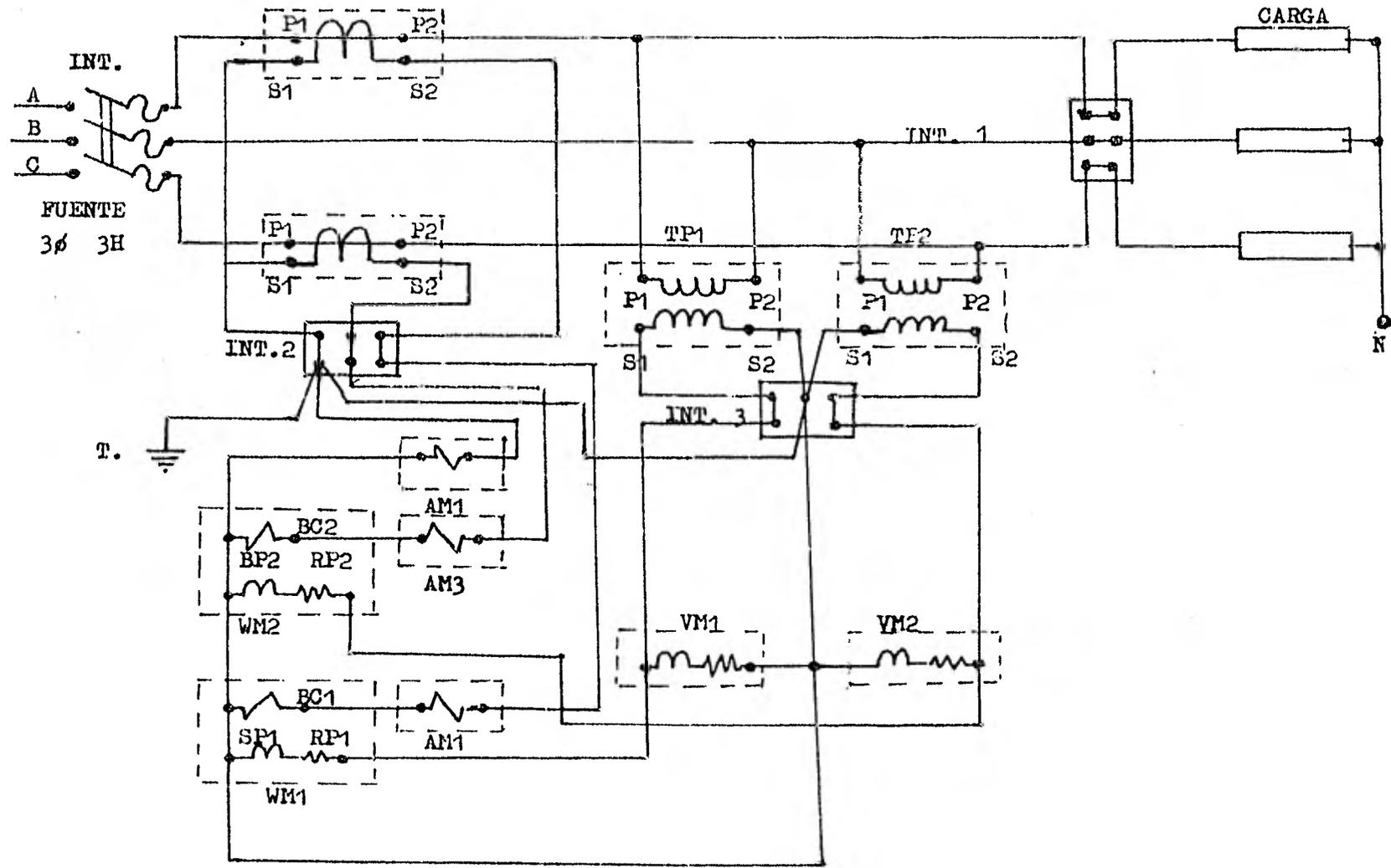
$$P_{cu} = P_{ej} + P \text{ indeterminadas}$$

Pérdidas del cobre = Pérdidas por efecto de Joule + pérdidas indeterminadas.

La Figura No. 26 y 26a, muestra los diagramas para esta prueba.

CIRCUITO ELECTRICO PARA LA MEDICION DE LAS PERDIDAS EN VACIO.

FIGURA No.25.



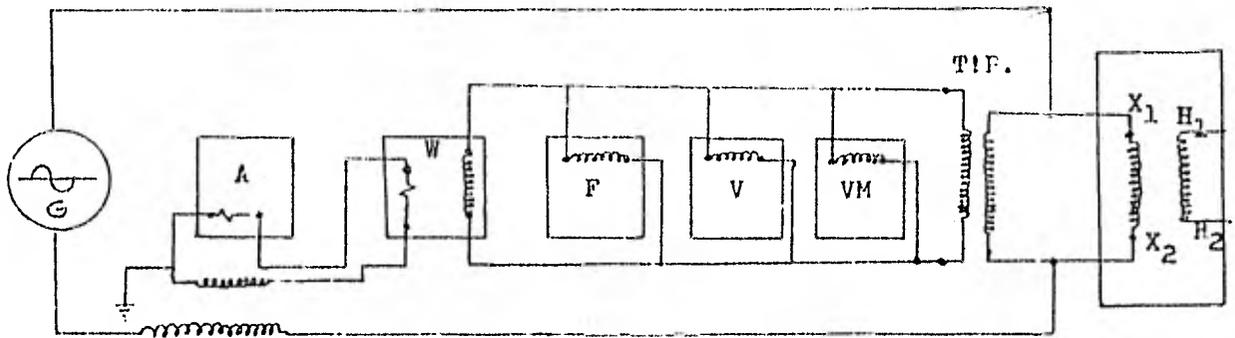


Figura No. 25a. Medición de pérdidas y corriente de excitación de un transformador monofásico.
VM: Vóltmetro de valor medio.

Medición de pérdidas y corriente de excitación de un transformador trifásico.

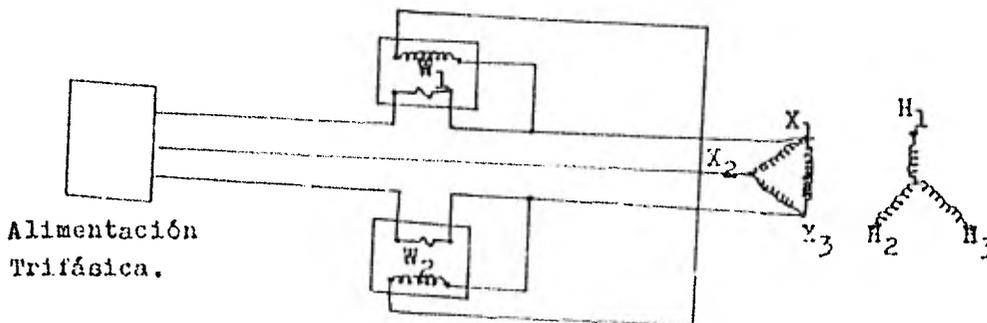


Figura No. 25b.

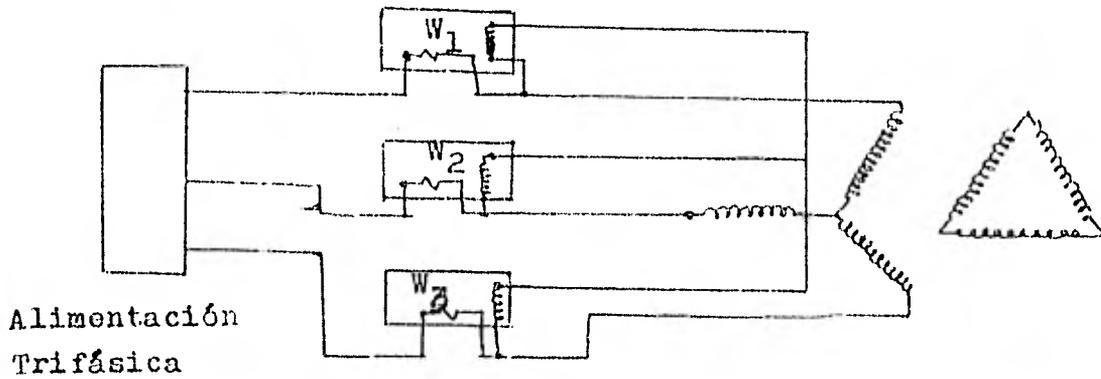


Figura No. 25c.

Diagrama de conexiones para la medición de pérdidas con carga de un transformador monofásico.

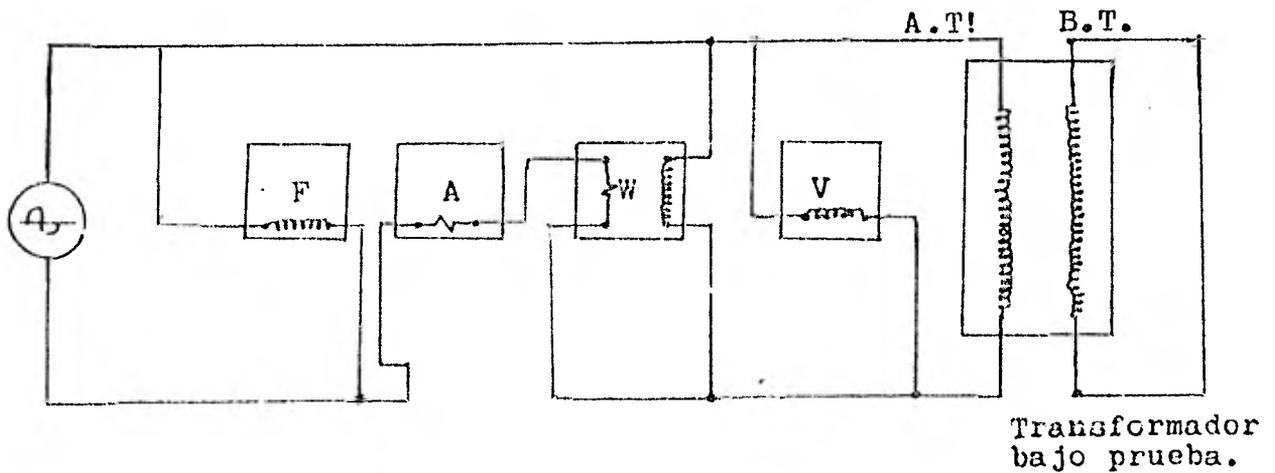
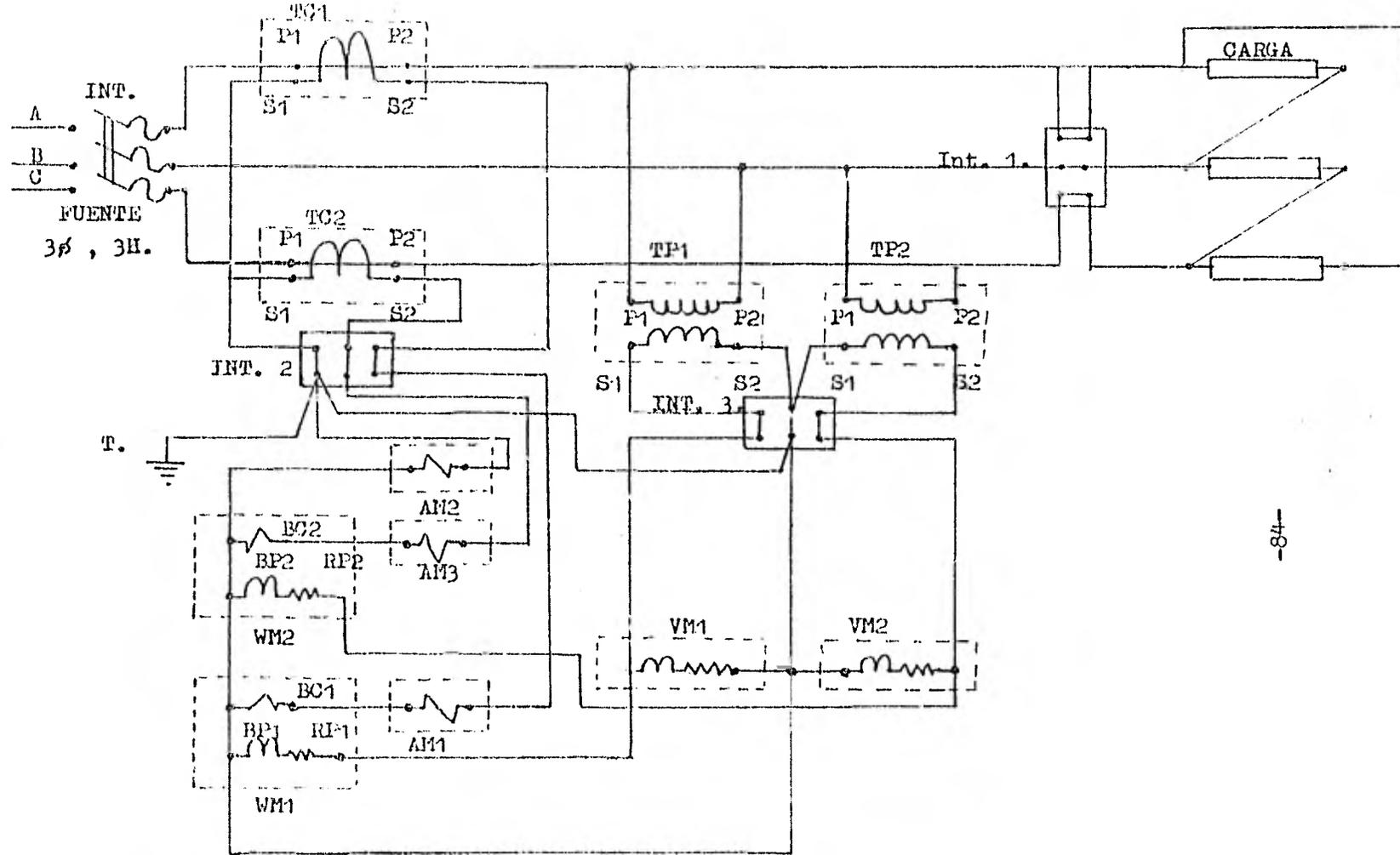


Figura No. 26.

CIRCUITO ELECTRICO PARA LA MEDICION DE LAS
PERDIDAS DE CARGA

FIGURA No. 26 A.



Corrección por temperatura.

La componente RI^2 de las pérdidas de impedancia se incrementa con la temperatura y la componente por pérdidas indeterminadas disminuye con la temperatura por lo tanto cuando es necesario corregir las pérdidas de impedancia de una temperatura a otra, como por ejemplo en el cálculo de la eficiencia la cuál debe ser a 75°C ., los dos componentes de las pérdidas por impedancia deben ser corregidas separadamente según las fórmulas:

$$P_{ej} \text{ a } 75^{\circ}\text{C}., = P_{ej} \text{ a } t^{\circ}\text{C} + \left(\frac{234.5 + 75^{\circ}\text{C}}{234.5 + t^{\circ}\text{C}} \right)$$

Ecuación No. 10

En donde:

$P_{ej} \text{ a } 75^{\circ}\text{C}$ = Pérdidas por efecto joule a 75°C .

$P_{ej} \text{ a } t^{\circ}\text{C}$ = Pérdidas por efecto joule a la temperatura de prueba.

$t^{\circ}\text{C}$ = Temperatura de devanado durante la prueba.

$$P_{indet} \text{ a } 75^{\circ}\text{C} = P_{indet} \text{ a } t^{\circ}\text{C} \left(\frac{234.5 + t^{\circ}\text{C}}{234.5 + 75^{\circ}\text{C}} \right)$$

Ecuación No. 11

$P_{indet} \text{ a } t^{\circ}\text{C}$ = Pérdidas indeterminadas a temperatura de prueba.

Luego se tiene que:

$$P \text{ impedancia a } 75^{\circ}\text{C} = P_{ej} \text{ a } 75^{\circ}\text{C} + P_{indet} \text{ a } 75^{\circ}\text{C}$$

Ecuación No. 12

Las pérdidas totales son la suma de las pérdidas de excitación y las pérdidas de carga.

Las pérdidas permitidas en los transformadores son de 10% para pérdidas en vacío y de 6% de pérdidas totales.

REGULACION

La regulación de un transformador es la diferencia entre la tensión nominal y la tensión a plena carga medida en el secundario a capacidad nominal y con un determinado factor de potencia, manteniendo constante la tensión en el primario, se expresa en % de la tensión nominal del secundario.

La regulación de un transformador se determina por cálculos basados en los valores obtenidos de las pruebas de tensión de impedancia y de watts. De impedancia fórmulas aproximadas para calcular la regulación:

$$\text{Reg} = Pr + gx + \left(\frac{Px - gr}{2} \right)^2 \text{ para factor de potencia atrasado.}$$

$$\text{Reg} = Pr - gx + \left(\frac{Px + gr}{2} \right)^2 \text{ para factor de potencia adelantado.}$$

Los resultados son por unidad y el resultado puede multiplicarse por 100 para expresar la regulación en %.

Donde:

P= Factor de potencia en decimal = $\cos \phi$

$$g = + \sqrt{1 - P^2} = \sin \phi$$

r= Factor de resistencia del transformador por unidad. $= \frac{\text{Pérdidas de impedancia Kw}}{\text{Kva nominales}}$

%r= Porcentaje del factor de resistencia.

$$Z = \text{Factor de impedancia} = \frac{\text{Voltaje de impedancia}}{\text{Voltaje nominal}}$$

%Z= Porcentaje del factor de impedancia.

$$X = \text{Factor de reactancia del transformador por unidad} \\ = Z^2 - r^2$$

ϕ = Angulo de fase de la corriente de carga, positivo-
Para corriente adelantada y negativo para corriente atrasada.

EFICIENCIA

Esta es la relación de la potencia de salida útil y su potencia de entrada total.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

Potencia de salida = Potencia de entrada - pérdidas

Pérdidas = Pérdidas de impedancia + Pérdidas de excitación.

IMPEDANCIA

La tensión de impedancia es la necesaria para hacer circular la corriente normal a través de un devanado del transformador teniendo al otro devanado en corto circuito, con ambos devanados conectados para operación a tensión nominal.

Los componentes de la caída por impedancia, son la caída por resistencia (en fase con la corriente), y la caída por reactancia (en cuadratura con la corriente) la suma vectorial de ambas caídas, da la caída por impedancia.

Estos componentes se determinan según las siguientes ecuaciones:

$$E_r = \frac{P_z}{I} \quad a$$

$$E_x = E_z^2 - E_r^2 \quad b$$

Donde:

E_r = Caída de tensión por resistencia.

E_x = Caída de tensión por reactancia.

E_z = Caída de tensión por Impedancia.

P_z = Watts. medidos en la prueba de impedancia.

I = Corriente en amperes en el arrollamiento excitado.

Otra fórmula para calcular la impedancia es:

$$\%Z_{at}^{\circ c} = \frac{V_{cc} \times 100}{V_n} \quad \% \text{ Rat}^{\circ c} = \frac{P_{cc} \times 100}{kva}$$

$$\% X = (\% Z)^2 - (\% R)^2$$

$\%Z_{at}^{\circ c}$ = Porcentaje de impedancia a temperatura de prueba.

V_{cc} = Voltaje de corto circuito

V_n = Voltaje nominal

$\%x$ = Porcentaje de reactancia

$\%R$ = Porcentaje de resistencia

P_{cc} = Potencia de corto circuito.

f).- PRUEBA DE IMPULSO

Esta prueba debe de hacerse cuando se solicite y solamente en los devanados especificados por el solicitante, estando el transformador sin excitación.

g).- PRUEBA DE HERMETICIDAD

Su objeto es garantizar la hermeticidad del transformador para evitar la entrada de humedad y fugas de aceite para su realización se utiliza nitrógeno ó aire seco. La presión a la cuál debe ser sometido el transformador de distribución es de 0.345 kg/cm^2 , según normas C.C.O. N.N.I.E.

h).- PRUEBA DE TEMPERATURA.

El objetivo de ésta prueba es determinar la elevación de la temperatura de los devanados del transformador sobre la temperatura ambiente cuando se encuentra en condiciones de carga especificadas, por lo tanto el transformador debe probarse con su tensión y corrientes nominales simultáneamente.

Los métodos para realizar la prueba de temperatura son los siguientes:

- Método de carga muerta.
- Método de carga por oposición.
- Método de carga por corto circuito.

METODO DE CARGA MUERTA.

Un Transformador de potencia pequeña puede ser probado bajo condiciones normales de carga, usando un banco de lámparas, resistencias hidráulicas ó reostatos; sin embargo para transformadores de gran capacidad este método es demasiado costoso pues exige el manejo de grandes cantidades de energía.

METODO DE CARGA POR OPOSICION

Para éste método se dispone de dos transformadores similares, usándose uno carga del otro y el segundo es conectado a su alimentación. Para éste caso la energía requerida es la necesaria para suministrar las pérdidas de ambos transformadores. Para efectuar la prueba por este método se conectan en paralelo y a la línea de alimentación los devanados de baja tensión de ambos transformadores. Mientras que los de alta tensión se conectan en serie y en oposición.

Puesto que los transformadores son idénticos y los devanados de alta tensión están conectados en oposición no circulará por éstas ninguna corriente, en cambio en los devanados de baja tensión circula la corriente de excitación, como es obvio en estas condiciones la potencia consumida por cada transformador corresponde a las pérdidas en vacío.

Si se hace circular a través del devanado de alta tensión una corriente igual a la nominal, entonces la potencia consumida por cada transformador corresponderá a la suma de las pérdidas en vacío, más las pérdidas en el cobre en plena carga.

Para conseguir la presencia de la corriente, se inyecta en serie con los devanados de alta tensión una f.e.m., que se va elevando gradualmente desde cero hasta que -- por ellos circule la corriente nominal. Esta tensión es igual aproximadamente al doble de la impedancia de un -- solo transformador.

La corriente de circulación deberá tener de preferencia la frecuencia nominal, si se tiene una frecuencia dis-- tinta de la nominal, el valor de la corriente deberá -- ajustarse en tal forma que tenga watts., de impedancia reales de transformador.

Los diagramas para ésta prueba se presentan en las fi-- guras No. 27. 27a, 27b.

CONEXION PARA EL METODO DE OPOSICION, PARA PRUEBA DE -- DOS TRANSFORMADORES MONOFASICOS.

En el caso de los transformadores trifásicos similares conectados en Estrella-Delta, que tiene el neutro de la Estrella accesible se puede abrir una esquina, de cada Delta e interconectar como se muestra en la figura No.-- 27a.

Los arrollamientos en Estrella se conectan en paralelo y se le aplica una tensión trifásica normal a la frecuen-- cia nominal, las dos Deltas se conectan entre si a tra-- vés de una fuente de frecuencia nominal en el punto en que se abrieron se vá elevando gradualmente la tensión, de la fuente hasta que por los devanados circule la co-- rriente nominal. Como se ve en la figura No.27b.

METODO DE CARGA POR CORTO CIRCUITO

Debido a las posibles limitaciones de los aparatos dis-- ponibles para la prueba de temperatura, es normalmente impracticable simular las condiciones de carga.

Como alternativa se puede emplear una carga de tal forma que produzca los mismos efectos térmicos sobre un transformador que la carga verdadera.

Con las condiciones normales de enfriamiento se pone uno de los devanados del transformador en corto circuito (usualmente el de B. T.) y se aplica al otro una tensión que se va elevando gradualmente desde cero hasta que por el devanado circule la corriente nominal de la línea de ese devanado, siendo esta tensión generalmente de 3 al 10 % de la nominal.

El porcentaje de la tensión aplicada con respecto a la tensión nominal del devanado, será igual al porcentaje de impedancia del transformador probado.

La elevación de la temperatura de un transformador sobre la temperatura ambiente se considera formada por dos elevaciones ó gradientes.

Elevación: Cobre - Aceite

Elevación: Aceite- Ambiente

La suma de estos gradientes no deberá exceder de la temperatura garantizada, generalmente indicada en la placa.

Cálculo de la temperatura del cobre.

$$T = \frac{R}{r} (234.5 + t) - 234.5$$

Donde:

T= Temperatura que se desea determinar (en caliente) del cobre.

t= Temperatura en frío.

R= Resistencia a la temperatura T (del cobre)

r= Resistencia a la temperatura t (del cobre)

A el valor obtenido se le resta el valor de la temperatura del aceite a la hora del corte y se obtiene el gradiente; cobre-aceite, a este valor se le agrega el gradiente; aceite-ambiente que se obtiene al bajar a corriente nominal y se obtiene la elevación total.

La resistencia en caliente debe corregirse por extrapolación del error causado por pérdidas de tiempo en conectar el puente después de haberse hecho el corte como se explica posteriormente.

NOTA:

Con el objeto de acortar el tiempo necesario de la prueba y lograr una estabilización más rápida de la temperatura se puede someter el transformador a sobrecargas razonables, durante el período de calentamiento de que éstas sobrecargas no sean mayores a 150% de la capacidad nominal. Existen varios métodos pero en todo caso suponiendo que el límite de temperatura sea de 55°C, cualquier método anormal de prueba deberá normalizarse cuando la elevación de temperatura alcance 45°C.

DESARROLLO DE LA PRUEBA DE TEMPERATURA.

- Al iniciar la prueba el transformador deberá estar equipado con indicadores térmicos (termopares ó termómetros).
- El nivel de aceite debe ser el apropiado.
- No deben existir corriente de aire en el lugar de prueba.
- La Temperatura ambiente debe medirse en varios termómetros los cuales se colocan en diferentes partes alrededor de la unidad de prueba a una distancia de 1 ó 2 metros y a la mitad de su altura, protegiéndose además contra corrientes de aire.

- La temperatura del devanado del transformador en prueba deberá medirse en termómetros insertados en un devanado, cuando se trata de un transformador tipo seco, ó bien cuando se trata de un transformador en aceite se sumerge el termómetro aproximadamente cinco cm., bajo la superficie superior del aceite.
- Cuando el método de carga para determinar la elevación sea el de corto circuito generalmente efectuado en el lado de alta tensión, se deberá alimentar el transformador en el de alta tensión de tal forma que se aplique a éste la suma de las pérdidas de cobre (posición mínima), más las pérdidas del núcleo corregidas a 75°c.
- Considerando que el transformador está disipando una potencia igual a la suma de las pérdidas del cobre y del fierro, la estabilización térmica se alcanzará cuando la temperatura del aceite no varíe más de 1.5°c. , en el mismo sentido durante 3.5 horas.
- Deben anotarse los intervalos de tiempo transcurrido desde el instante del corte hasta cada uno de los instantes que se hace la medición de la resistencia a fin de que con las correcciones adecuadas se pueda determinar el valor de la resistencia, (en caliente), óhmica de los arrollamientos en el instante preciso del corte. Este efecto servirá de referencia para determinar la elevación total del transformador como se indica más adelante.
- Todas las lecturas deben ser hechas dentro de los cuatro siguientes minutos al corte. Si no se consigue obtener un número suficiente de lecturas en el lapso de tiempo marcado, la prueba deberá reanudarse hasta que se logre estabilizar temperaturas, lo cuál sucede aproximadamente a las dos horas después del primer corte,-

siempre y cuando la prueba se halla reanudado inmediatamente.

Nota.- Para acortar el tiempo en obtener la primera -- lectura de resistencia después del corte, es recomendable tomar un minuto antes de la temperatura del aceite ó del devanado cuando se trata de transformadores tipo seco, con ésta temperatura y teniendo la resistencia -- en frío del devanado en prueba se efectúa la corrección de resistencia por temperatura, éste nos dará un valor aproximado de la lectura a obtener y nos facilita darle al puente la escala adecuada.

Corrección de elevación de temperatura observada al -- tiempo del corte.

Puesto que la temperatura de un devanado empieza a -- descender a partir del instante en que se hace el corte hasta que se empieza a tomar las lecturas, se hace necesario la aplicación de un factor corrección para -- este efecto.

Esta corrección puede hacerse aproximadamente de la si guiente forma:

- Se traza una curva de resistencia óhmica- tiempo -- siendo el tiempo medido desde el instante en que interrumpe la alimentación hasta el instante en que se toma la última lectura de resistencia.

Esta curva comienza en el tiempo de haber hecho el cor te, construída la curva se prolonga su origen hasta -- que corta el eje de las resistencias que corresponde -- al tiempo cero, que es el instante del corte.

Cuando se efectúa el cálculo de la elevación de la tem peratura por el método empírico el cuál se obtiene con siderando como la resistencia en caliente de la prime- ra lectura que se obtiene.

Se puede aplicar una corrección arbitraria de 1°C , por cada minuto, siempre y cuando el lapso de tiempo transcurrido desde el instante del corte hasta el de la primera medición de resistencia caliente, no sea mayor de cuatro minutos.

CORRECCION DE LA ELEVACION DE LA TEMPERATURA POR VARIACION DE ALTITUD:

- Cuando se hace una prueba a una elevación sobre el nivel del mar que no exceda de 1000 mts., no debe hacerse ninguna corrección a la temperatura para la variación de altitud.
- Para transformadores probados a altura sobre nivel del mar mayores de 100 mts., deben hacerse las siguientes correcciones por cada 100 mts., arriba de 1000 mts.

Transformadores autoenfriados en aceite 0.4%

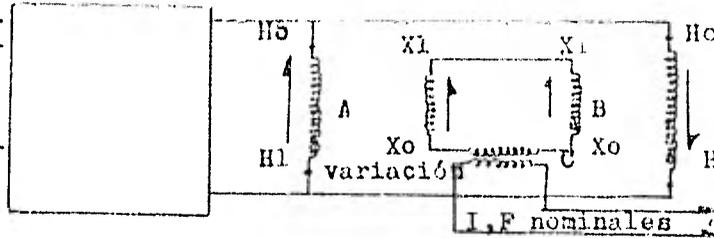
Transformadores tipo seco 0.5%

Transformadores en aceite ventilación forzada 0.5%

Transformadores con ventiladores.

CONEXION PARA EL METODO DE OPOSICION, PARA PRUEBA DE DOS TRANSFORMADORES MONOFASICOS.

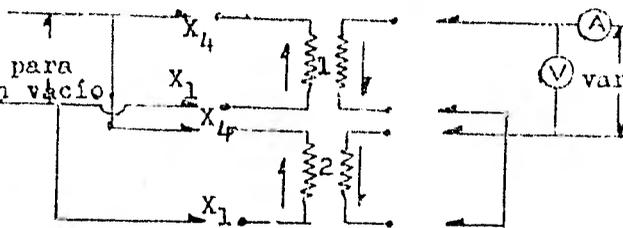
Fuente de excitación para las pérdidas en vacío. Frecuencia y Voltajes nominales.



A la fuente de excitación en impedancia.

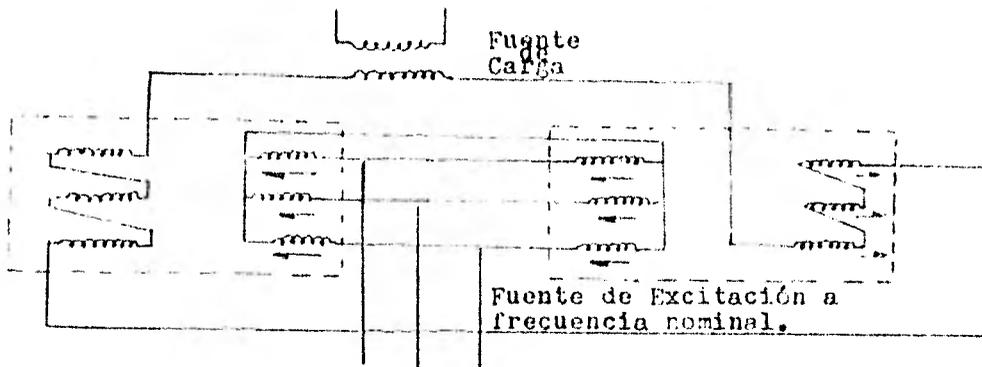
Figura No. 27

Excitación para pérdidas en vacío.



Excitación para pérdidas de cobre.

Figura No. 27a.



CONEXION PARA PRUEBA DE TEMPERATURA DE DOS TRANSFORMADORES TRIFASICOS CONECTADOS EN ALTA ESTRELLA (CON NEUTRO ACCESIBLE).

Figura No. 27b.

CAPITULO SEPTIMO

DISEÑO ELECTRICO DE UN TRANSFORMADOR TIPO COLUMNA

- A).-- CALCULOS DE LAS CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DEL --
TRANSFORMADOR.
 - a).-- CALCULO DE LOS VOLT/ESPIRA.
 - b).-- CALCULO DE LAS CORRIENTES EN LOS DEVANADOS.
 - c).-- CALCULO DE LOS CONDUCTORES DE LOS DEVANADOS.
 - d).-- CALCULO DE + 2 DE 2.5% CADA UNA.
 - e).-- CALCULO DEL NUMERO DE ESPIRAS PARA CADA POSI-
CION.
 - f).-- CALCULO DE LA RELACION DE TRANSFORMACION
 - g).-- DISTRIBUCION DE DEVANADOS.
 - h).-- CALCULO DE DIAMETROS DE LOS DEVANADOS DE B.T--
Y A.T.
 - i).-- CALCULO DEL PESO DE COBRE DE B.T. Y A.T.
 - j).-- CALCULO DE LAS PERDIDAS TOTALES EN LOS DEVANA-
DOS.
 - k).-- CALCULO DEL PESO DEL NUCLEO.
 - l).-- CALCULO DE LAS PERDIDAS DEL NUCLEO.
- B).-- CALCULO DE LAS PERDIDAS DEL NUCLEO.
- C).-- CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL TRANSFORMADOR.
- D).-- CALCULO DE LA REGULACION DEL TRANSFORMADOR.
- E).-- CALCULO DEL % DE LA CORRIENTE DE EXITACION.

DISEÑO ELECTRICO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRI -
BUCION, TIPO COLUMNA.

ESPECIFICACIONES

150 KVA.

2400 VOLTS EN EL PRIMARIO.

480/277.128 VOLTS EN EL SECUNDARIO.

3 FASES.

60 HERTZ.

CONEXIONES DELTA EN EL PRIMARIO.

CONEXIONES ESTRELLA EN EL SECUNDARIO.

\pm 2 DERIVACIONES DE 2.5 % C/U.

55°C DE SOBREELEVACION DE TEMPERATURA.

1000 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

CAPITULO SEPTIMO.

A.- CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DEL TRANSFORMADOR.

a).- CALCULO DE LOS VOLT/ESPIRA.

Para calcular los volts/espira, partiremos de la ecuación general del transformador, referida al secundario.

$$E_s = 4.44 f N_s \phi \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 1$$

$$\text{pero: } \phi_m = A B_m \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 2$$

$$\therefore E_s = 4.44 f N_s A B_m \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 3$$

De donde:

$$\frac{E_s}{N_s} = 4.44 f A B_m \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 4$$

E_s : Es el voltaje del devanado secundario en volts.

N_s : Es el número de espiras del devanado secundario.

f : Es el área transversal del núcleo en m^2 .

B_m : Densidad de flujo en weber/ m^2 .

El área es de 0.01609 m^2 . y corresponde a un diámetro de-
150 mm. para estas dimensiones corresponde un núcleo esca-
lonado de 10 escalones.

Se considera una densidad de flujo de 1.65 weber/m^2 .

la frecuencia es de 60 c.p.s.

El voltaje se considera para el devanado de menor voltaje.
En este caso es de 277.128 Volts.

Sustituyendo valores en la ecuación 4.

$$\frac{E_s}{N_s} = 4.44 \times 60 \times 60 \times 0.01609 \times 1.65$$

$$\frac{E}{N} = 7.07252$$

$$N_s = \frac{E_s}{\frac{E}{N}} = \frac{277.128}{7.07252} = 39.18377 \text{ espiras}$$

Como el resultado no fué número entero, lo aproximamos-
a 40 espiras, ahora calcularemos el valor real de los -
volts/espiras:

$$\frac{E_s}{N_s} = \frac{277.128}{40} = 6.9282 \text{ volts/espira.}$$

Calcularemos la densidad de flujo necesaria para los volts/espira calculando.

De la ecuación 4, despejamos a B_m :

$$B_m = \frac{E/N}{4.44 f A} = \frac{6.9282}{4.44 \times 60 \times 0.01609}$$

$$B_m = 1.61633 \text{ wb/m}^2$$

b).- CALCULO DE LAS CORRIENTES EN LOS DEVANADOS.

1.- CALCULO DE LA CORRIENTE EN EL SECUNDARIO.

DATOS:

$$KVA = 150$$

$$KVA = V_L I_L \sqrt{3}$$

CONEXION ESTRELLA

$$\therefore I_1 = I_F = \frac{KVA}{\sqrt{3} V_L}$$

3 ϕ

$$V_L = 480 \text{ volts.}$$

$$I_F = \frac{150KVA}{\sqrt{3} 0.480 \text{ KV}} = 180.42 \text{ Amp.}$$

II.- CALCULO DE LA CORRIENTE EN EL PRIMARIO

DATOS: $KVA = V_L I_L \sqrt{3}$ _____ 1

$KVA = 150$

CONEXIONES DELTA $\therefore I_L = I_F \sqrt{3}$ _____ 2

3 ϕ $V_L = V_F$ _____ 3

$V_L = 2400$ VOLTS DESPEJAMOS A I_L DE 1

$$I_L = \frac{KVA}{V_L \sqrt{3}} \text{ _____ 4}$$

SUSTITUIAMOS 2 EN 4

$$I_F \sqrt{3} = \frac{KVA}{V_L \sqrt{3}}$$

$$\therefore I_F \frac{KVA}{V_L \times 3} = \frac{150 \text{ KVA}}{2.4 \times 3 \text{ KV}}$$

$I_F = 20.83$ Amp.

c).- CALCULO DE LOS CONDUCTORES DE LOS DEVANADOS

I.- CALCULO DEL CONDUCTOR DEL DEVANADO SECUNDARIO

Para realizar este cálculo, consideraremos una densidad de corriente de 3.5 Amp./mm^2 .

DATOS:

$I_F = 180.42$ Amp.

$D = 3.5 \text{ Amp/mm}^2$

$$D = \frac{I}{A}$$

DESPEJANDO A TENEMOS:

$$A = \frac{I}{D} = \frac{180.42 \text{ Amp.}}{3.5 \text{ Amp/mm}^2} = 51.548 \text{ mm}^2$$

Necesitamos un conductor que tenga una área de 51.548 mm² utilizaremos una solera de cobre de 5.08 x 10.16 mm., que tiene una área de 51.07 mm², con 4 capas de papel para dar 5.58 x 10.16 mm.

La densidad de corriente efectiva será entonces:

$$D = \frac{I}{A} = \frac{180.42 \text{ Amp.}}{51.07 \text{ mm}^2} = 3.533 \text{ Amp/mm}^2$$

2.- CALCULO DEL CONDUCTOR DEL DEVANADO PRIMARIO.

Consideraremos una densidad 2.5 Amp/mm²

DATOS:

$$I_P = 20.83 \text{ Amp}$$

$$D = 2.5 \text{ Amp/mm}^2 \quad A = \frac{20.83 \text{ Amp}}{2.5 \text{ Amp/mm}^2} = 8.332 \text{ mm}^2$$

Necesitamos un conductor que tenga una área aproximada a la calculada. El conductor que más se acerca al área es el calibre, No. 8 que tiene 8.367 mm², tiene un diámetro nominal de 3.264 mm y un diámetro máximo con aislamiento doble de 3.383 mm.

La densidad de corriente efectiva será entonces:

$$D = \frac{I}{A} = \frac{20.83 \text{ Amp.}}{8.367 \text{ mm}^2} = 2.49 \text{ Amp/mm}^2$$

El cálculo anterior fué para la posición nominal.

d).- CALCULO DE LOS VOLTAJES PARA LAS DERIVACIONES DE:

± 2 DE 2.5 % CADA UNA.

El voltaje nominal es de 2400 volts.

Para la primera derivación tenemos:

$$+ 1 d_1 = 2400 \times 1.025 = 2460 \text{ Volts.}$$

$$+ 2 d_2 = 2400 \times 1.05 = 2520 \text{ "}$$

$$- 1 d_3 = 2400 \times 0.975 = 2340 \text{ "}$$

$$- 2 d_4 = 2400 \times 0.95 = 2280 \text{ "}$$

El cambiador de derivaciones tiene 5 posiciones.

La Posición 1 corresponde a 2520 Volts.

La Posición 2 corresponde a 2460 Volts.

La Posición 3 corresponde a 2400 Volts.

La Posición 4 corresponde a 2340 Volts.

La Posición 5 corresponde a 2280 Volts.

e).- CALCULO DEL NUMERO DE ESPIRAS PARA CADA POSICION.

Para la Posición 1 tenemos:

$$E_{P_1} = 2520 \text{ Volts.}$$

6.9282 Volts/espira.

$$\therefore N_1 = \frac{E_{P_1}}{\text{Volts/espira}} = \frac{2520}{6.9282} = 363.73$$

aproximamos a 364 espiras.

Se sigue el mismo procedimiento para las otras posiciones, los valores encontrados son:

$$N_{P_1} = 364$$

$$N_{P_2} = 355$$

$$N_{P_3} = 346$$

$$N_{P_4} = 338$$

$$N_{P_5} = 329$$

La diferencia de espiras entre una posición y la otra es la siguiente:

$$N_1 - N_2 = 364 - 355 = 9$$

$$N_2 - N_3 = 355 - 346 = 9$$

$$N_3 - N_4 = 346 - 338 = 8$$

$$N_4 - N_5 = 338 - 329 = 9$$

f)... CALCULO DE LA RELACION DE TRANSFORMACION.

Utilizaremos la ecuación siguiente:

$$A = \frac{\frac{E}{P}}{E_S} = \frac{\frac{N}{P}}{N_S}$$

DONDE: Es la relación que existe entre voltaje ó entre -
espiras de los devanados primario y secundario.

E_P : Es el voltaje del devanado primario.

E_S : Es el voltaje del devanado secundario.

N_P : Son las espiras del devanado primario.

N_S : Son las espiras del devanado secundario.

Las normas del Comité Consultivo Nacional de Normaliza -
ción De La Industria Eléctrica (C O N N I E), estable-
cen que hay una tolerancia de $\pm .5\%$ para la relación de-
transformación.

Formación.

Para la posición 1 tenemos:

$$E_{P_1} = 2520 \text{ Volts.}$$

$$E_S = 277.128 \text{ Volts.}$$

$$N_{P_1} = 364 \text{ espiras.}$$

$$N_S = 40 \text{ espiras.}$$

$$A = \frac{E_{P_1}}{E_S} = \frac{2520}{277.128} = 9.0932$$

$$A = \frac{N_{P_1}}{N_S} = \frac{364}{40} = 9.1$$

$$A \text{ minima} = 9.0932 \times .995 = 9.0477$$

$$A \text{ máxima} = 9.0932 \times 1.005 = 9.1386$$

Se sigue el procedimiento anterior para las diferentes posiciones, los resultados se dan a continuación.

	MINIMA		NORMAL		NORMAL		MAXIMO
POSICION	- 0.5%		VOLTAJES		ESPIRAS		+ 0.5%
1	- - - - 9.0478	- - -	9.0933	- - -	9.1	- - -	9.1387
2	- - - - 8.8323	- - -	8.8767	- - -	8.875	- - -	8.9211
3	- - - - 8.6169	- - -	8.662	- - -	8.65	- - -	8.7035
4	- - - - 8.4015	- - -	8.4437	- - -	8.45	- - -	8.4859
5	- - - - 8.1860	- - -	8.2272	- - -	8.225	- - -	8.2683

g).- DISTRIBUCION DE DEVANADOS:

1.- DISTRIBUCION DEL DEVANADO DE BAJA TENSION
(SECUNDARIO)

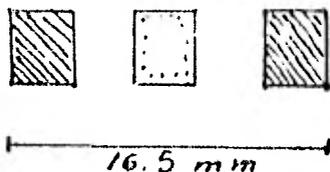
El conductor utilizado es una solera de 5.08 X - -
10.16 mm con 4 capas de papel de 5.58 X 10.66 mm.

Son 40 espiras por columna.

Las distribuímos en 2 capas, 20 espiras/capa.

Colocamos un ducto entre las capas 1 - 2, de 4.76 mm.

La altura radial de B. T. es la siguiente:



$$2 \times 5.58 = 11.16 \text{ mm.}$$

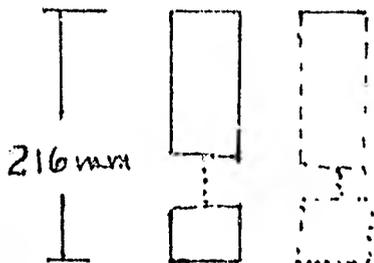
$$1 \times 4.76 = 4.76 \text{ mm.}$$

$$15.92 \text{ mm.}$$

El Valor anterior lo aproximamos a 16.5 mm, con el fin de dar una tolerancia al devanar.

La altura axial es la siguiente:

Altura axial = espiras/capa x -
ancho del conductor + toleran -
cia.



La tolerancia es de .1 mm.

$$\begin{aligned} \text{Altura axial} &= 20 \times (10.66 + .1) \\ &= 215.1 \quad 216 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Colocaremos un relleno al centro del devanado para que -
aumente la altura axial, esto es con el fin de que haya-
una distribución adecuada de espiras y capas en el prima
rio o sea:

$$\text{Altura axial} = 216 + 32 + 2 = 248 \text{ mm.}$$

$$\text{Altura total de bobina} = 248 + 11 = 259 \text{ mm.}$$

Se colocará un cabezal arriba del devanado de 21.5 mm.
Habrá ductos de ventilación arriba y abajo de 6.5 mm.

Cálculo de la altura de ventana:

$$\begin{aligned} \text{Altura de ventana} &= \text{Altura total del devanado} + 2 \text{ cabeza-} \\ &\quad \text{les.} \\ &+ 2 \text{ Ductos.} \\ &= 259 + (2 \times 21.5) + (2 \times 6.5) \\ &= 315 \text{ mm.} \end{aligned}$$

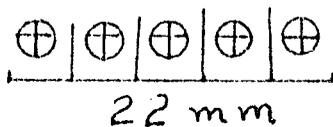
II.- DISTRIBUCION DEL DEVANADO DE ALTA TENSION (PRIMARIO)

El conductor usado es del calibre 8 redondo con doble ca -
pa de esmalte, el diámetro nominal es de 3.264 mm, y el --
diámetro máximo aislado es de 3.383 mm.

Son 364 espiras totales, las cuales espaciaremos en una bo
bina que tendrá 5 capas, de las cuales 3 capas llevarán 74
espiras y las dos últimas llevarán 71 espiras.

Se colocará un ducto de enfriamiento entre la capa 2 y 3, se pondrá un papel entre capas de 0.381 mm, con el cual podrá resistir las pruebas destructivas a que se sometan.

Cálculo de la altura radial de A. 4.



$$5 \times 3.383 = 16.915 \text{ mm conductores.}$$

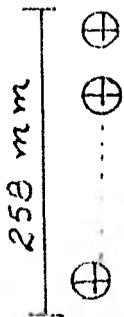
$$4 \times .381 = 1.524 \text{ mm papeles}$$

$$1 \times 3.2 = 3.2 \text{ mm ducto}$$

$$21.639 \text{ mm}$$

El valor anterior lo aproximamos a 22 mm.

Cálculo de la altura axial:



$$74 \times 3.383 = 251 \text{ mm Conductores}$$

$$+ 2 \text{ mm tolerancia}$$

$$253 \text{ mm longitud efectiva}$$

$$+ 5 \text{ mm un conductor}$$

$$258 \text{ mm longitud total del devanado.}$$

Se colocarán cabezales de 22 mm, arriba y abajo del devanado se le darán ductos de circulación del aceite arriba y abajo 6.5 mm.

Cálculo de la altura de ventana.

Altura de ventana = longitud total devanado + 2 cabezales + dos ductos.

$$= 258 + 2 (22) + 2 (6.5)$$

$$= 315 \text{ mm.}$$

IV. CÁLCULO DE ESPERIONES LOS DEVANADOS DE B.T. Y A.T.

En parte del diámetro del núcleo que es de 150 mm, dejando una tolerancia al molde de B.T., de 4 mm.

El diámetro de molde será de 154 mm., enseguida se colocará un -- casquillo de 1.5 mm. Por lo que el diámetro interno de B.T., será de 157 mm.

Cálculo de la espira media del devanado de B.T.

$$\begin{aligned} \text{Espiras media B.T.} &= (\text{diámetro interno B.T.} + \text{altura radial B.T.}) \times \\ &= (157 + 16.5) \times 3.1416 \\ &= 545 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Cálculo del diámetro exterior de B.T.

$$\begin{aligned} \text{diámetro externo B.T.} &= \text{diámetro interno B.T.} + 2 \text{ altura radial B.T.} \\ &= 157 + 2 (16.5) \\ &= 190 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Cálculo del diámetro interior de A.T.

$$\text{Diametro interior A.T.} = 2 \text{ altura radial B.T.} + \text{diámetro externo B.T.}$$

La altura radial de B.T. - A.T. es de 8.5 mm

$$\text{Diámetro interior A.T.} = 2 (8.5) + 190 = 207 \text{ mm}$$

Cálculo de la espira media de A.T.

$$\begin{aligned} \text{Espiras media A.T.} &= (\text{Diámetro interior A.T.} + \text{altura radial A.T.}) \\ &\quad \times \\ &= (207 + 22) \times 3.1416 \\ &= 719.4 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Cálculo del diámetro exterior de A.T.

$$\begin{aligned} \text{Diámetro exterior de A.T.} &= \text{Diámetro interior de A.T.} + 2 \text{ altura,} \\ &\quad \text{radial A.T.} \\ &= 207 + 2 (22) \\ &= 251 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Cálculo de la distancia entre ejes.

Distancia entre ejes = diámetro exterior A.T. + distancia entre bobinas.

La distancia entre bobinas es de 11 mm.

Distancia entre ejes = 251 + 11 = 262 mm.

i).- CALCULO DEL PESO DE COBRE DE B.T. Y A.T.

1.- Cálculo del peso del cobre de B.T.

Para realizar este cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

Peso = Espira media B.T. X No. Fases X peso específico del Cu. X No. de espiras/fase X área del conductor.

Datos:

Espira media B.T. = 545 mm = 5.45 dm.

No. fases = 3

Peso específico del Cu = 8.9 kg/dm³

No. de espiras/fase = 40

Area del conductor = 51.07 mm² = 0.005107 dm³.

Sustituyendo valores tenemos:

Peso = 5.45 X 3 X 8.9 X 40 X 0.005107 = 29.7 kg.

2.- Cálculo del peso del cobre de A.T., para la posición 1, 3.

Para la posición 1 se tiene:

Espira media A.T. = 719.4 mm. = 7.194 dm.

No. fases = 3

Peso específico Cu = 8.9 kg/dm³.

No. espiras/fase = 364

Area del conductor = 8.367 mm² = 0.0008367 dm².

Sustituyendo valores se tiene:

$$\text{Peso} = 7.194 \times 8.9 \times 364 \times 0.0008367 = 58.5 \text{ Kg.}$$

Para la posición 3 se tiene:

$$\text{No. espiras/fase} = 346$$

$$\text{Peso} = 7.194 \times 3 \times 8.9 \times 346 \times 0.0008367 = 55.6 \text{ Kg.}$$

j).- CALCULO DE LAS PERDIDAS TOTALES EN LOS DEVANADOS

Las pérdidas totales en los devanados constan:

1).- Pérdidas en B.T.

2).- Pérdidas en A.T.

3).- Pérdidas indeterminadas

1.- Cálculo de las pérdidas de B.T. a 75° C

Primeramente se calcula la longitud del conductor de -
B.T.

$$\text{Long. de cond.} = \text{Espira media} \times \text{No. fases} \times \text{no. espiras} \\ \text{/fase} + \text{salidas y conexiones.}$$

DATOS:

$$\text{Espira media B.T.} = 545 \text{ mm} = 0.545 \text{ m}$$

$$\text{No. fases} = 3$$

$$\text{No. Espiras/fase} = 40$$

$$\text{Conexiones y salidas} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Long. Cond.} = 0.545 \times 3 \times 40 + 3 = 68.4 \text{ m.}$$

Cálculo de la resistencia a 20° C.

$$R_{20^\circ \text{ C}} \int \frac{L}{A}$$

DONDE:

$$\rho = 17.241 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{Km}$$

$$L = 68.4 \text{ m} = 0.0684 \text{ Km}$$

$$A = 51.07 \text{ mm}^2$$

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{17.241 \times 0.0684}{51.07} = 0.02309$$

Corrección de resistencia a 75°C .

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{234.5 + 75}{234.5 + 20} = 0.02309 \times \frac{234.5 + 75}{234.5 + 20}$$

$$= 0.02808 \text{ ohms}$$

Cálculo de las pérdidas de B.T.

$$W_{75^{\circ}\text{C}} = I^2 R$$

DONDE:

I = Es la corriente de fase

R = Es la resistencia del devanado a 75°C .

$$I = 180.42 \text{ Amp}$$

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = 0.02808 \text{ ohms}$$

Sustituyendo valores se tiene:

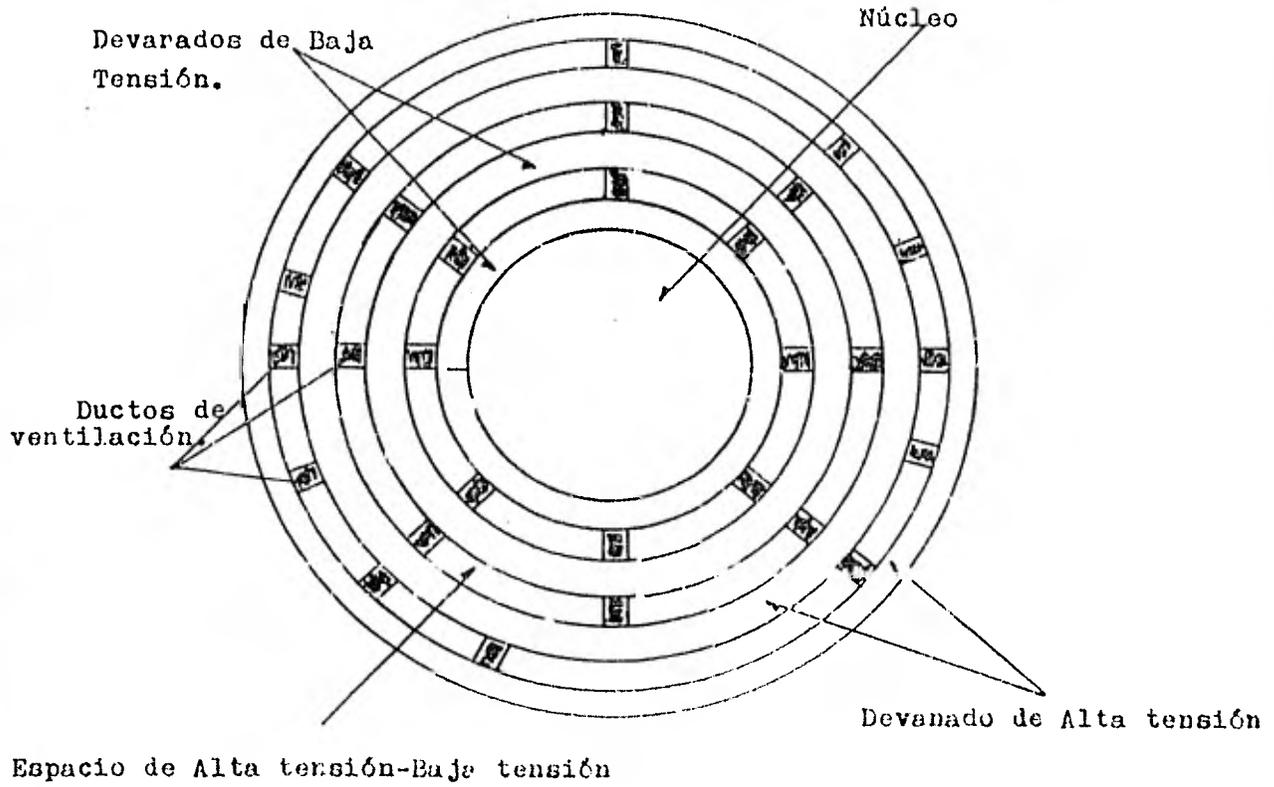
$$W_{75^{\circ}\text{C}} = (180.42)^2 \times 0.02808$$

$$= 914 \text{ watts}$$

2.- Cálculo de las pérdidas en A. T. a 75°C

Las pérdidas se calcularán para la posición 3 que es la nominal.

DIAGRAMA DE COLUMNA



DATOS:

Espira media A.T. = 719 mm = 7194 m.

No. de fases = 3

No. espiras/fase = 346

Conexiones y salidas = 10 m

Long Cond. = $0.7194 \times 3 \times 346 + 10 = 756.7$ m

Cálculo de la resistencia a 20°C.

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \rho \frac{L}{A}$$

DONDE:

$$\rho = 17.241 \text{ ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{Km}$$

$$L = 756.7 \text{ m} = 0.7567 \text{ Km}$$

$$A = 8.367 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo valores:

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{17.241 \times 0.7567}{8.367} = 1.5592 \text{ ohms}$$

Corrección de la resistencia a 75°C

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} \frac{234.5 + 75}{234.5 + 20} = 1.5592 \times \frac{234.5 + 75}{234.5 + 20}$$

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = 1.9861 \text{ ohms}$$

Cálculo de las pérdidas de A.T. a 75°C

$$W = I^2 R$$

DONDE:

$$I = 20.83 \text{ Amp}$$

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = 1.8961 \text{ ohms.}$$

Sustituyendo valores:

$$\begin{aligned} W_{75^{\circ}\text{C}} &= (20.83)^2 \times 1.8961 \\ &= 822.69 \text{ watts.} \end{aligned}$$

Cálculo de las pérdidas indeterminadas.

Las pérdidas indeterminadas se consideran de un 10% de las pérdidas de A.T y B.T ó sea:

$$\text{Pérdidas independientes} = (W_{75^{\circ}\text{C}} \text{ B.T.} + W_{75^{\circ}\text{C}} \text{ A.T.}) \times 0.1$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas indeterminadas} &= (914 + 822) \times 0.1 \\ &= 173.7 \text{ watts.} \end{aligned}$$

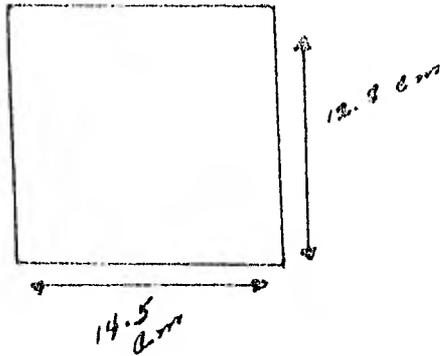
Cálculo de las pérdidas totales de los devanados de B.T. y A.T.

$$\begin{aligned} W_{\text{T}} &= W_{75^{\circ}\text{C}} \text{ B.T.} + W_{75^{\circ}\text{C}} \text{ A.T.} + \text{indeterminadas.} \\ &= 914 + 822.69 + 173 \\ &= 1910.39 \text{ watts.} \end{aligned}$$

k).- CALCULO DEL PESO DEL NUCLEO.

Primeramente se calcula el área del yugo, al área del yugo se le dá un 10% más que el área de la pierna.

El yugo va a tener la siguiente forma y dimensiones:



El área del yugo será:

$$A_y = 14.5 \times 12.8 = 185.6 \text{ cm}^2.$$

Esta área se multiplica por un factor de espaciamiento entre laminaciones de 0.96 por lo que el área efectiva del yugo será:

$$A_y = 185.6 \times 0.96 = 178.17 \text{ cm}^2 \text{ o } 0.017817 \text{ m}^2$$

Cálculo de la densidad de flujo en el yugo:

De la ecuación:

$$E_s = 4.44 f N_s \Lambda B_{m_y}$$

$$\therefore B_{m_y} = \frac{E_s}{4.44 f N_s \Lambda_y} = \frac{277.128}{4.44 \times 60 \times 40 \times 0.017817} = 1.4596 \text{ Wb/m}^2$$

Cálculo del peso de las columnas del núcleo, según figura A.

Columnas = altura de ventana X No. columnas X área de columna X peso específico del acero al silicio.

DATOS:

Altura de ventana = 315 mm = 3.15 dm

No. columnas = 3

Área de columna = 160.9 cm² = 1.609 dm²

Peso específico del acero al silicio = 7.65 Kg/dm³

Sustituyendo valores:

$$P_c = 3.15 \times 3 \times 1.609 \times 7.65 = 116.318 \text{ Kg.}$$

Cálculo del peso del yugo a 0°, ver figura A.

El área de las esquinas es la diferencia del área de la columna y el área del yugo, o sea:

$$\text{Área de las esquinas} = 178.17 - 160.9 = 17.27 \text{ cm}^2$$

El peso de las esquinas es:

Peso esquinas = Área de esquinas X altura X altura del yugo X peso específico del acero al silicio X No. esquinas.

DATOS:

$$\text{Área de las esquinas} = 17.27 \text{ cm}^2 = 0.1727 \text{ dm}^2$$

$$\text{Altura del yugo} = 12.8 \text{ cm} = 1.28 \text{ dm}$$

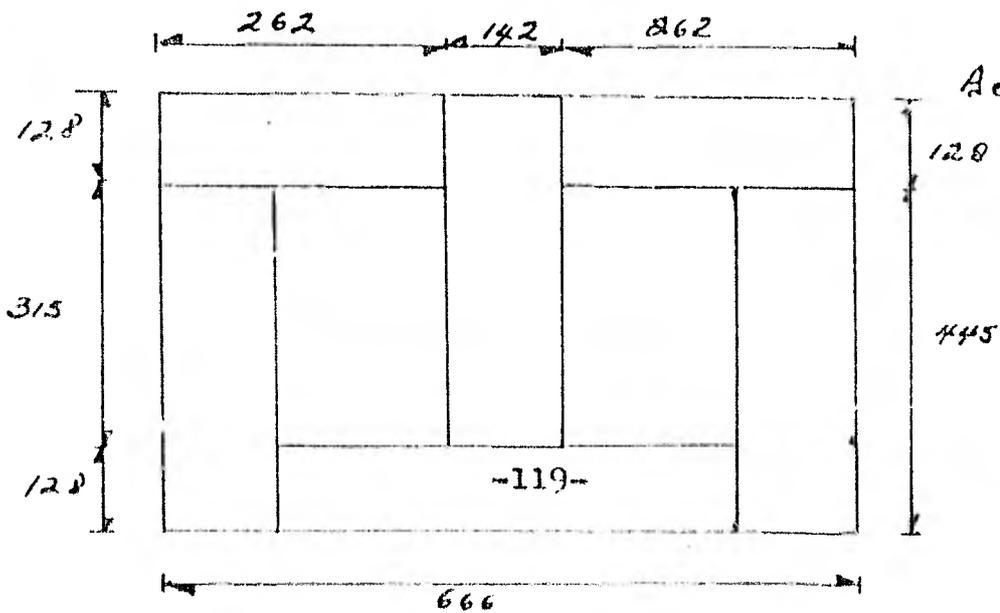
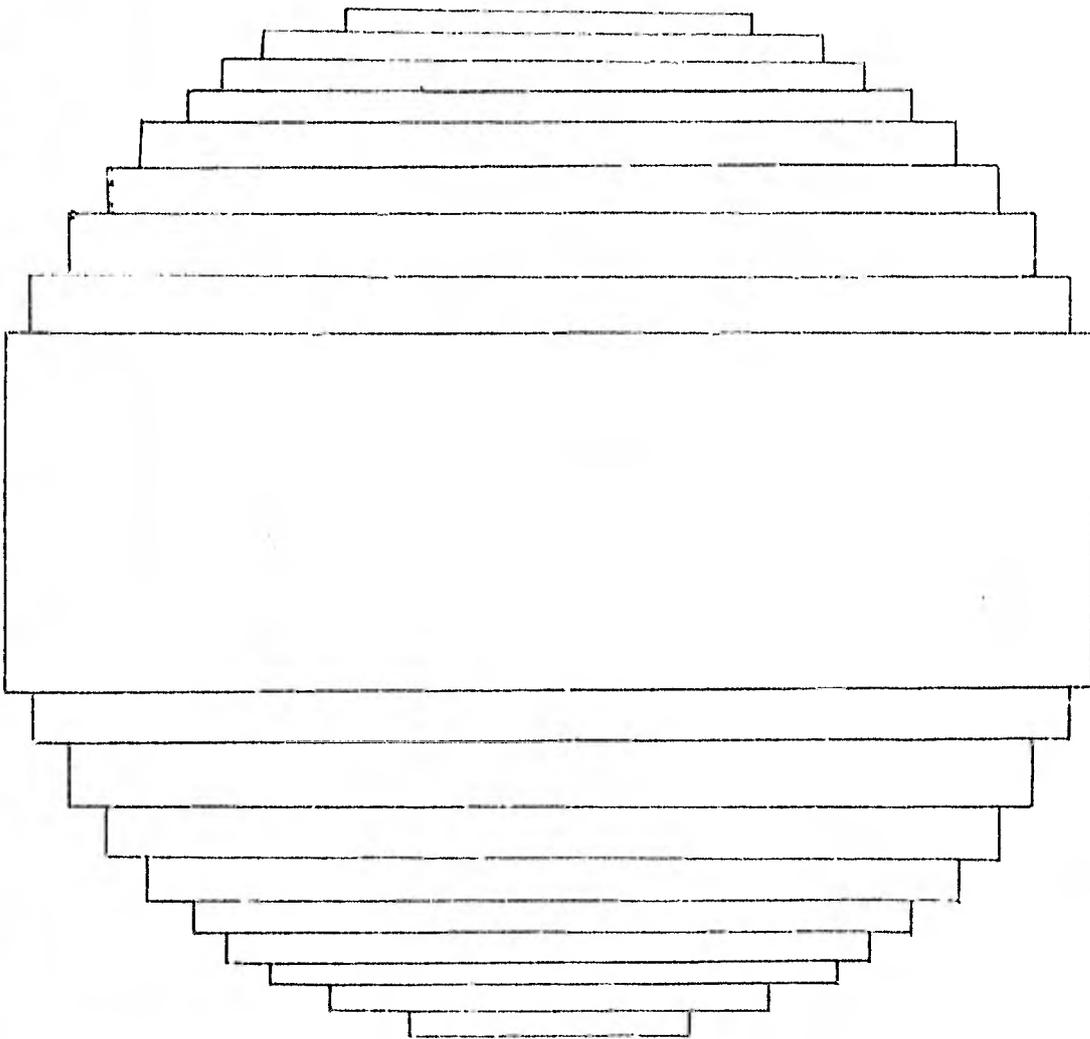
$$\text{Peso específico del acero al silicio} = 7.65 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\text{No. de esquinas} = 4$$

Sustituyendo valores:

$$\text{Peso esquinas} = 0.1727 \times 1.28 \times 7.65 \times 4 = 6.764 \text{ Kg}$$

Peso del yugo a 0°, ver figura A.



Acostamiento en mm

Yugo a 0° = (dist. entre ejes - ancho de columna) X No. tramos X área del yugo X peso específico del acero al silicio.

DATOS:

Distancia entre ejes = 262 mm = 2.62 dm.

Ancho de columna = 142 mm = 1.42 dm.

No. tramos = 4

Área del yugo = $178.17 \text{ cm}^2 = 1.7817 \text{ dm}^2$

Peso específico del acero al silicio = 7.65 kg/dm^3

Sustituyendo valores:

$$\begin{aligned} \text{Yugo a } 0^{\circ} &= (2.62 - 1.42) \times 4 \times 1.7817 \times 7.65 \\ &= 65.424 \text{ kg}^{\circ} \end{aligned}$$

Peso total del yugo a 0° , es la suma del peso de las esquinillas y el peso del yugo a 0° = $65.424 + 6.764 = 72.188$ kg.

Cálculo del peso del yugo a 90° , ver Figura A.

Yugo a 90° = Área de columna X peso específico del acero al silicio X No. cortes a 90° X altura del yugo.

DATOS:

Área de columna = $160.9 \text{ cm}^2 = 1.609 \text{ dm}^2$

Peso específico del acero al silicio = 7.65 kg/dm^3

No. de cortes a 90° = 6

Altura del yugo = 128 mm = 1.28 dm.

Sustituyendo valores:

$$\text{Yugo a } 90^{\circ} = 1.609 \times 7.65 \times 6 \times 1.28 = 94.53 \text{ kg.}$$

L).- CÁLCULO DE LAS PERDIDAS DEL NUCLEO.

El Fabricante del acero al silicio proporciona una gráfica en la cuál, gráfica densidad de flujo contra watts por

kilogramo, y lo da para diferentes direcciones de flujo.

Procede como sigue:

W Columna = Peso de las columnas X valor de Watts./kg. -
que se encuentra en la gráfica, según la den-
sidad de flujo.

Datos:

Peso Columnas = 116.318 Kg.

Valor de gráfica = 1.43 Watts./Kg.

Sustituyendo valores:

W Columnas = 116.318 X 1.43 = 166.3 Watts.

Cálculo de los consumidos en el yugo a 0° :

W Yugo 0° = Peso del yugo a 0° X valor de Watts/Kg. de la
gráfica.

Datos:

Peso Yugo a 0° = 72.188 kg.

Valor de gráfica = 1.034 watts /kg.

Sustituyendo valores:

W yugo a 0° = 72.188 X 1.034 = 74.64 watts.

Cálculo de los consumidos en el yugo a 90° :

W yugo a 90° = Peso yugo a 90° X valor de watts./kg. de -
la gráfica.

Datos:

Peso yugo a 90° = 94.53 kg.

Valor de gráfica = 3.63 watts./kg.

Sustituyendo valores:

W yugo a 90° = 94.53 X 3.63 = 343.14 watts.

Cálculo de los watts. totales en el núcleo.

$$W_T = W \text{ yugo a } 0^\circ + W \text{ yugo a } 90^\circ + W \text{ columnas.}$$

Datos:

$$W \text{ yugo a } 0^\circ = 74.64 \text{ watts.}$$

$$W \text{ yugo a } 90^\circ = 343.14 \text{ watts.}$$

$$W \text{ columnas} = 166.3 \text{ watts.}$$

Sustituyendo valores :

$$W_T = 74.64 + 343.14 + 166.3 = 584.08 \text{ watts.}$$

B).- CALCULO DE % DE IMPEDANCIA.

$$\% Z = \sqrt{\% X^2 + R^2}$$

Donde:

% Z : Es el % de caída por impedancia.

% X : Es el % de caída por reactancia.

% R : Es el % de caída por resistencia.

Cálculo de el % de caída por reactancia.

Para utilizar este cálculo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\% X = \frac{8.5 F N_P^2 I_P}{H E_P \times 10^6} \left(\frac{D_P + D_S}{3} \right) \left(\frac{L_P + L_S}{2} \right)$$

DONDE:

F : Es la frecuencia en c.p.s.

N_P : Es el No. de espiras del devanado primario (nominal).

I_P : Es la corriente del devanado primario en amperes-

H : Es el promedio de las alturas axiales de los devanados en centímetros.

E_P : Es el voltaje del devanado primario en volts.

D_P : Es la altura radial del devanado primario en cm.

D_S : Es la altura radial del devanado secundario en cm

D : Es la distancia que hay entre el devanado primario y el devanado secundario en cm.

L_P : Es la espira medio del devanado primario en cm.

L_S : Es la espira media del devanado secundario en cm.

DATOS:

F = 60 c.p.s.

N_P = 346 espiras.

I_P = 20.83 amperes.

H = $\frac{248 + 253}{2}$ = 250.5 mm. = 25.05 cm.

$$E_P = 2400 \text{ volts.}$$

$$D_S = 16.5 \text{ mm} = 1.65 \text{ cm.}$$

$$D_P = 22 \text{ mm} = 2.2 \text{ cm.}$$

$$L_S = 545 \text{ mm} = 54.5 \text{ cm.}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\% X = \frac{8.5 \times 60 \times 346^2 \times 20.83}{25.05 \times 2400 \times 10^6} \left(\frac{2.2 + 1.65}{3} + 0.85 \right)$$

$$\left(\frac{71.942 + 545}{2} \right) = 2.85$$

Cálculo de % de la caída por resistencia.

Para realizar este cálculo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{W_{C_U} \text{ Totales}}{\text{KVA} \times 10} \text{ - - - - - } 2$$

$$\% R = \frac{1910.39}{150 \times 10} = 1.273$$

Sustituyendo 2 y 3 Tenemos:

$$\% Z = \sqrt{\% X^2 + \% R^2}$$

$$\% Z = \sqrt{2.85^2 + 1.273^2}$$

$$\% Z = 3.12$$

Conclusiones:

Observamos que el % X varía directamente con el número de espiras, el espesor de las bobinas, los espacios entre embobinados, y el promedio de la longitud de las espiras medias, e inversamente, con la longitud axial del devanado. Variando las características anteriores podemos encontrar la impedancia que necesitamos.

C).- CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL TRANSFORMADOR.

a).- Para factor de potencia unitario y al 100% de carga.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{KVA} \times 100}{\text{KVA} + W_{F_e} + W_{C_u}}$$

DATOS:

150 KVA

$$W_{F_e} = 584.08 \text{ watts} = 0.58408 \text{ K watts.}$$

$$W_{C_u} = 1910.39 \text{ watts} = 1.91039 \text{ K watts.}$$

Sustituyendo valores:

$$\text{Eficiencia} = \frac{150 \times 100}{150 + 0.58408 + 1.91039}$$

$$\text{Eficiencia} = 98.36 \%$$

b).- Para factor de potencia unitario y 75% de carga.

$$\text{Eficiencia} = \frac{0.75 \text{ KVA} \times 100}{0.75 \text{ KVA} + W_{F_e} + W_{C_u} (0.75)^2}$$

Sustituyendo valores:

$$\text{Eficiencia} = \frac{0.75 \times 150 \times 100}{0.75 \times 150 + 0.58408 + 1.91039 \times 0.75^2}$$

$$\text{Eficiencia} = 98,547 \%$$

D).- CALCULO DE LA REGULACION DEL TRANSFORMADOR.

Este cálculo lo haremos con un factor de potencia unitario y a 100% de carga.

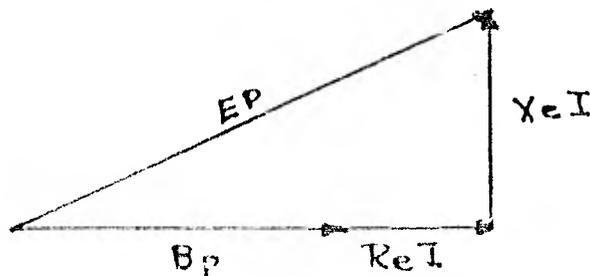
Utilizaremos la siguiente fórmula, referida al primario.

$$\% \text{ Regulación} = \frac{E_P - V_P}{V_P} \times 100 \quad \text{--- 1}$$

DONDE:

$$E_P = (V_P + R_{ep} I_P)^2 + (I_P X_{ep})^2 \quad \text{--- 2}$$

DIAGRAMA VECTORIAL



DONDE:

$$R_{ep} = \frac{\% R V_n}{I_n \times 100} \text{ --- 3}$$

$$R_{ep} = \frac{1.273 \times 2400}{20.83 \times 100} = 1.466$$

$$X_{ep} = \frac{\% X V_n}{I_n \times 100} \text{ --- 4}$$

$$X_{ep} = \frac{2.85 \times 2400}{20.83 \times 100} = 3.2837$$

Sustituyendo 3 y 4 en 2 tenemos:

$$E_p = (2400 + 1.466 \times 20.83)^2 + (20.83 \times 3.2837)^2 \\ = 2431.5 \text{ volts.}$$

$$\% \text{ Regulaci3n} = \frac{2431.5 - 2400}{2400} \times 100$$

$$\% \text{ Regulaci3n} = 1.312$$

E).- CALCULO DEL % DE LA CORRIENTE DE EXITACION

Utilizaremos la siguiente ecuaci3n:

$$\% I = \frac{VA_c + VA_y + VA_a}{10 \times KVA} \text{ --- 1}$$

DONDE:

$$VA_c = \text{Peso columna} \times VA/kg \text{ --- --- --- --- --- } 2$$

PERO : Peso columna = 116.318

Los VA/kg. los encontramos en una gráfica que proporciona el fabricante, en donde encontramos densidad de flujo contra VA/kg. La densidad de la columna es de 1.61633 wb/m², esa densidad le corresponden 2 VA/kg.

por lo que:

$$VA_c = 116.318 \times 2 = 232.636 \text{ VA.}$$

DONDE:

$$VA_y = \text{Peso del yugo} \times VA/kg. \text{ --- --- --- --- --- } 3$$

Peso del yugo = 166.72 kg.

$$VA/kg. = 1.2 \text{ VA/kg.}$$

$$\therefore VA_y = 166.72 \times 1.2 = 200.064 \text{ VA.}$$

Pero:

$$VA_a = 0.14 \text{ Sm}^2 f \text{ Bm}^2 \text{ --- --- --- --- --- } 4$$

DONDE:

Sm : Es la sección media de yugo y columna en cm²

f : Frecuencia en c.p.s.

Bm : Es la densidad de flujo media en wb/m²

DATOS:

$$S_m = \frac{160.9 + 178.17}{2} = 169.535 \text{ cm}^2$$

$$f = 60 \text{ c.p.s.}$$

$$B_m = \frac{1.6163 + 1.4596}{2} = 1.53795 \text{ wb/m}^2$$

$$VA_a = 0.14 \times 169.535 \times 60 \times 1.53795$$

$$VA_a = 2190.18 \text{ VA.}$$

Sustituyendo 2, 3 y 4 en 1 tenemos:

$$\% I = \frac{232.636 + 200.064 + 2190.18}{150 \times 10}$$

$$\% I = 1.748$$

CAPITULO OCTAVO.-

A.-CONCLUSIONES

B.-BIBLIOGRAFIA

A.-CONCLUSIONES.-

Despues de haber desarrollado el presente estudio basado en transformadores es posible llegar a la siguiente conclusión.

Debido a la vital importancia que el crecimiento de la industria les ha asignado por sus características de convertir la corriente eléctrica de alta tensión y mayor intensidad o viceversa; se ha extendido la fabricación y uso de los mismos.

Por lo que se elaboró el tema anterior dedicado a el personal que esté íntimamente ligado al departamento eléctrico de una fábrica, como también para el personal de mantenimiento, conservación y reparación de transformadores.

El tema se hace mención de las características de construcción, reparación y mantenimiento, así como los tipos de conexiones mas usuales y pruebas eléctricas a que se someten.

Considerando lo escrito en éste tema se llega a la conclusión de que es indispensable la continua operación y fabricación de transformadores que garanticen el desarrollo industrial del país.

B.- BIBLIOGRAFIA.

MAQUINAS ELECTRICAS

Autor. Ing. Arnold Wagner.
Editorial Gustavo Gili, S.A.

II SEMINARIO DE ING.
ELECTRICA PETROLERA

Editorial Insituto Mexicano
Del Petróleo.

TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCION

Editorial Comisión Federal de
Electricidad.

ELECTRICIDAD INDUS -
TRIAL TOMO I Y TOMO
II.

Auto. CH. L. Dawes.
Editorial Reverté, S.A.

MANUALES SOBRE TRANS
FORMADORES DE DISTRI
BUCION.

Editados por: Industrias I.E.M.
Electrónica, S.A.
Cía. Luz y Fuerza
del Centro.

Ingeniería Elec -
trica Industrial-
I.E.I.
Cía. Fairbanks --
Morse, s.a.

PRUEBAS A TRANSFORMA-
DORES DE DISTRIBUCION

Manual de: Cía. Fairbanks, s.a.
y General Electric,sa.

SEMINARIO DE TRANSMI-
SION Y DISTRIBUCION.

Autor. V. Klemenox. México.