

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**PRUEBAS DE ENTREGA DE UN TRANSFORMADOR DE
POTENCIA DE TRES DEVANADOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

VÍCTOR JOSÉ IBÁÑEZ PISCOYA

**PROMOCIÓN
2002 - II**

**LIMA – PERÚ
2006**

**PRUEBAS DE ENTREGA DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE TRES
ARROLLAMIENTOS**

Este trabajo lo dedico a:

**Mi padre, como digno ejemplo que
me impulsa a seguir adelante.**

**Mi madre, que cada día me inculca
valores de vida.**

**Mis profesores, cuyos consejos y experiencias
enriquecen mi conocimiento profesional.**

SUMARIO

Como ingenieros al momento de adquirir un transformador o hacer trabajos de mantenimiento del mismo, antes de ponerlo en servicio es necesario contrastar su calidad de fabricación. Por ello, todo transformador indistintamente de la potencia y del nivel de tensión, debe someterse a pruebas eléctricas cuyos resultados garanticen el cumplimiento del servicio esperado, con la eficiencia ofrecida.

Este informe pretende describir los procedimientos de las pruebas de entrega de los transformadores de potencia tales como de rutina, tipo y especiales. Además, efectuar un análisis de los valores obtenidos en todas sus manifestaciones posibles según normas IEC. 76-1 y ANSI C57.12.00-1993, y verter las conclusiones necesarias en base a los resultados de las pruebas efectuadas para un transformador de potencia fabricado.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	2
GENERALIDADES.	
1.1- Alcances.	2
1.2- Generalidades.	3
1.3- Tipos de pruebas.	3
1.4- Requerimientos.	4
1.5- Propósito.	5
1.6- Secuencia de ejecución.	5
CAPÍTULO II	7
PRUEBAS DE RUTINA.	
2.1- Medida de la resistencia de los arrollamientos.	7
2.2- Relación de transformación y grupo de conexión	10
2.3- Medida tensión de cortocircuito.	15
2.4- Medida de las pérdidas en el fierro.	15
2.5- Medida de las pérdidas en el cobre.	18
2.6- Ensayo de tensión inducida.	22
2.7- Ensayo de tensión aplicada.	24
2.8- Pruebas en conmutador bajo carga.	26
CAPÍTULO III	27
PRUEBAS TIPO.	
3.1- Prueba de calentamiento.	27
3.2- Prueba de impulso.	30
CAPÍTULO IV	32
PRUEBAS ESPECIALES.	
4.1- Medición de descargas parciales.	32

4.2- Medición del factor de potencia.	33
4.3- Medición de la impedancia homopolar.	34
4.4- Medición de niveles de sonido.	34
4.5- Medición de las corrientes armónicas.	34
4.6- Medición de la potencia consumida por los ventiladores y las bombas de aceite.	40
4.7- Pruebas del aceite dieléctrico.	40
CAPÍTULO V	44
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.	
CONCLUSIONES.	65
BIBLIOGRAFÍA.	68

PRÓLOGO

La fabricación de un transformador de potencia, involucra un conjunto de procesos, desde la etapa de ingeniería con un diseño inicial en planos de Autocad y hojas de cálculo aprobadas; pasando por la adquisición de la materia prima necesaria para efectuar su conversión en aislamientos, núcleos, bobinados que conformen su parte activa, y finalmente con la adecuación de equipos accesorios para lograr funciones de medición, control, monitoreo, señalización, protección entre otras. Además deben cumplir ciertas especificaciones técnicas que el usuario requiera, para garantizar un buen funcionamiento, y una eficiencia adecuada al momento de la puesta en servicio.

Por ello se efectúan pruebas para determinar primeramente si los valores de los parámetros de diseño están acorde con lo que las normas indican, y luego con los valores ofrecidos al cliente. Así pues las pruebas de entrega constituyen un conjunto de ensayos, que se efectúan sobre el objeto terminado, antes de ser entregado al usuario. Las normas IEC76-1 consideran tres clases de pruebas , **pruebas de rutina** que se aplican a todas las unidades fabricadas, recibiendo el cliente una copia de los protocolos sin costo alguno. **Las pruebas tipo** que son aplicadas a ciertas unidades, y se efectúan bajo mutuo acuerdo con el cliente, asumiendo este último el costo por dichas pruebas. **Las pruebas especiales** que poseen las mismas características que las anteriores, y se efectúan con equipamiento especial sofisticado.

Este informe pretende describir los procedimientos de las pruebas de entrega de los transformadores de potencia tales como de rutina, tipo y especiales. Además, efectuar un análisis de los valores obtenidos en todas sus manifestaciones posibles según Normas IEC 76-1 y ANSI C57.12.00-1993, y verter las conclusiones necesarias en base a los resultados de las pruebas efectuadas sobre un transformador de potencia fabricado.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1- Alcances.

Los puntos que este informe contempla se definen a continuación:

- Descripción de los procedimientos, para la ejecución de pruebas en transformadores de potencia, tales como pruebas de rutina, pruebas tipo y pruebas especiales de acuerdo a las normas IEC 76-1 y ANSI C57.12.90-1993.

- Análisis de los resultados de las pruebas efectuadas a un transformador existente de tres devanados de $210 \pm 10 \times 10\%$ / 62,3/ 10,3 KV 60-75/60-75/25-30 MVA, 60Hz, Ynyn0, Ynd11, en comparación con los valores que las normas IEC 76-1 y ANSI C57.12.00-1993 establecen.

1.2- Generalidades.

De acuerdo a la Norma ANSI C57.12.80-1978 se establece varios tipos de pruebas para los transformadores de potencia inmersos en aceite, tales como pruebas de rutina, pruebas tipo y pruebas especiales. Los procedimientos de ejecución de estas pruebas están definidas de acuerdo a las normas ANSI C57.12.90-1993 y ANSI C57.12.00-1993, que deben adecuarse y cumplirse para mantener la integridad de los equipos y accesorios del transformador durante su operación, asimismo obtener valores y/o resultados satisfactorios que reafirmen un buen proceso de fabricación.

1.3- Tipos de pruebas.

Las normas consideran tres tipos de pruebas:

A) Pruebas de Rutina.

Se efectúan a todas las unidades aplicadas, el usuario recibe una copia alguna de protocolos sin costo alguno. Comprenden especialmente las siguientes pruebas:

- * Medición de la Resistencia de los arrollamientos.
- * Medida de la relación de transformación y grupo de conexión.
- * Medida de la tensión de cortocircuito.
- * Medida de las pérdidas en el fierro.
- * Medida de las pérdidas en el cobre.
- * Ensayo de tensión inducida.
- * Ensayo de tensión aplicada.
- * Pruebas de funcionamiento del conmutador bajo carga.

B) Pruebas Tipo.

Se aplican a algunas unidades, son acordadas con el cliente al momento de la colocación de la orden. El costo de realización de estas pruebas es cobrado por el fabricante y son generalmente las siguientes:

- * Prueba de Calentamiento.
- * Prueba de Impulso.

C) Pruebas Especiales.

Están conformadas por las siguientes pruebas:

- * Medición de descargas parciales.
- * Medición del factor de potencia y capacitancia de los arrollamientos.
- * Medición de la impedancia homopolar.
- * Medición de niveles de sonido.
- * Medición de corrientes armónicas en vacío.
- * Medición de la potencia consumida por ventiladores y bombas de aceite.
- * Medición de la resistencia de aislamiento a tierra de los devanados.
- * Pruebas dieléctricas del aceite.

1.4- Requerimientos.

Las principales pruebas de entrega al transformador se realizan en un ambiente adecuado para ello, con el uso de equipo e instrumentos digitales adecuados para la medición de corriente, voltaje, potencia, factor de potencia, sonido, temperatura entre otros parámetros que permitan establecer resultados comparables dentro de las tolerancias admisibles según normas.

La temperatura ambiente de la instalación debe estar entre 10°C y 40°C.

1.5- Propósito.

Las pruebas de rutina se realizan para entregar un protocolo de prueba que garantice en primera instancia una buena fabricación y operación del transformador de potencia. Comprobando la relación de transformación entre sus devanados, contrastando el porcentaje de pérdidas de vacío y cortocircuito admisible, descartar fallas internas entre espiras de la bobina, las capas de papel aislante, las distancias del yugo a cuba mediante el ensayo de tensión inducida, el aislamiento entre fases y masa a tensión aplicada, como el correcto funcionamiento del conmutador de tomas bajo carga.

Las pruebas tipo buscan establecer los niveles de temperatura máxima permisibles del transformador durante operación bajo carga nominal y verificar si el transformador está en condiciones de soportar sobretensiones de origen atmosférico, en los límites determinados por la coordinación del aislamiento contemplado en Normas.

Mediante las pruebas especiales al transformador de potencia obtenemos información de las pérdidas de aislamiento ($Tg\delta$), el factor de potencia, la impedancia homopolar, los oscilogramas en la prueba de descargas parciales, el nivel de ruido en decibelios durante su operación con los ventiladores apagados y encendidos, contenido de armónicas en la corriente de magnetización, condiciones fisicoquímicas del aceite; según normas o bajo conformidad entre el fabricante y el cliente.

1.6- Secuencia de ejecución.

La ejecución de las pruebas se ha efectuado en la siguiente secuencia:

Realización de las pruebas rutina: Medición de la resistencia de los devanados, comprobación de la polaridad y relación de transformación, determinación de las pérdidas en el hierro y en el cobre, medición de la impedancia de secuencia cero, prueba tensión inducida y aplicada, análisis

cromatográfico y físico-químico del aceite antes de las pruebas, determinación del factor de potencia y capacitancias, antes de las pruebas .

Realización de las pruebas tipo: Ensayo de calentamiento a potencia nominal en etapa ONAN (ventiladores apagados) y en etapa ONAF (ventiladores encendidos), pruebas impulsionales.

Realización de las pruebas especiales: Nivel de ruido con y sin ventiladores en servicio, determinación del factor de potencia y las capacitancias después de las pruebas, análisis cromatográfico y físico-químico del aceite después de las pruebas.

CAPÍTULO II

PRUEBAS DE RUTINA

2.1- Medida de la resistencia de los arrollamientos.

Es necesario medir la resistencia de los devanados del transformador, para el cálculo de la componente de pérdidas I^2R en los conductores, para la determinación de las pérdidas de vacío y cortocircuito y para el cálculo de la temperatura de los devanados al final de la prueba de calentamiento.

En principio se debe calcular la temperatura fría de los devanados, que se asumirá como la temperatura del aceite aislante refrigerante que alberga la cuba. El transformador no debe estar localizado en un ambiente cuya temperatura fluctúe constantemente, además los devanados deben estar sin excitación magnética por 3 horas antes de efectuar la prueba de medición de la resistencia fría. La temperatura del aceite aislante en las partes superiores respecto a las inferiores de la cuba no debe diferir en más de 5°C .

La resistencia fría debe convertirse a un valor de resistencia a la temperatura promedio estándar, incluso a la temperatura en que se efectuará la prueba de cortocircuito para obtener dichas pérdidas. Para ello se emplea el cálculo mostrado en la fórmula (2.1).

$$R_s = R_m \left(\frac{T_s + T_k}{T_m + T_k} \right) \quad (2.1)$$

- R_s Resistencia a la temperatura deseada T_s .
- R_m Resistencia medida.
- T_s Temperatura de referencia deseada.
- T_m Temperatura a la cual la resistencia fue medida.
- T_k es 234.5 °C para Cobre.

Los métodos mas usuales para medir la resistencia, es mediante puentes y con equipos digitales de gran exactitud como voltímetros y amperímetros, hasta 10,000 ohmios. Para valores de resistencia mayores a un ohmio, un puente de Wheatstone es comúnmente usado, en cambio para valores de resistencia menores a un ohmio, un puente de Kelvin es comúnmente usado; de acuerdo a lo estipulado en la Norma ANSI C57.12.90-1993.

Se empleo el método de medición de la resistencia con voltímetros y amperímetros, mediante los siguientes pasos:

a) La medición se efectuó aplicando una fuente de tensión regulable dc, y las lecturas de corriente y tensión se tomaron utilizando las conexiones de la figura (2.1).

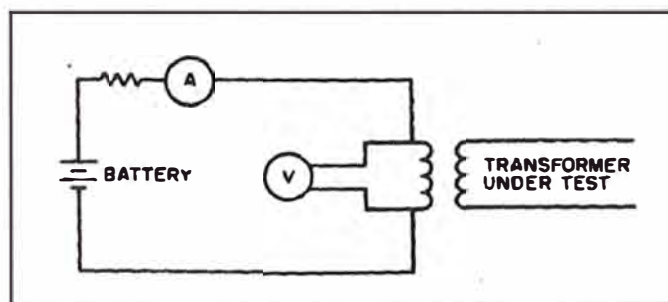


Fig.2.1: Circuito de conexión para medir la resistencia del devanado.

b) Los instrumentos de medición empleados tienen las siguientes características: Voltímetro DC, marca GOERZ, Tipo:244330, clase de precisión ± 0.2 , escala 0-500V, 50A. y Amperímetro DC, marca H&B, Tipo: Fta 4, clase de precisión ± 0.5 . La resistencia medida para los devanados es del orden de 0 a 2 ohmios.

c) Se procuró que las puntas de los instrumentos de medición del voltímetro y el amperímetro hicieran buen contacto con los terminales del devanado del transformador a medirse, evitando la inclusión de errores.

d) Las lecturas de corriente y voltaje se tomaron una vez que se estabilizaron en el tiempo. En general los devanados de los transformadores de potencia muestran una constante de tiempo DC grande (alrededor de 30 segundos), para reducir el tiempo de estabilidad en la medida se conecto en serie a la fuente DC una resistencia. La resistencia debe ser grande en comparación con la inductancia del devanado, además se incrementó el valor de tensión de la fuente DC para compensar la caída de tensión de la resistencia en serie.

e) Se tomó no menos de cuatro valores de resistencia con los instrumentos mencionados, el promedio de las resistencias calculadas se considera como la resistencia del devanado. La corriente usada no excede del 15% de la corriente nominal del devanado cuya resistencia desea ser medida. Valores de corriente mas grandes conllevan inexactitud en la medida de la resistencia por calentamiento en su devanado y por cambio de temperatura.

2.2- Relación de transformación y grupo de conexión.

2.2.1- Polaridad en transformadores trifásicos.

La polaridad de un transformador trifásico se puede comprobar fase a fase por los siguientes métodos.

A) Prueba de la polaridad por golpe Inductivo. (Inductive kick)

La polaridad del transformador puede ser determinada al mismo tiempo que se mide la resistencia de los devanados, mediante las puntas del instrumento dispuestas según se muestra en la figura (2.2), bajo el siguiente procedimiento:

- Con la corriente directa que pasa por el devanado primario, conectar un voltímetro a través de sus terminales (H_1 - H_2), así como para obtener una pequeña deflexión del puntero del instrumento.
- Colocar esta vez las dos puntas del voltímetro de corriente continua, a los respectivos bornes adyacentes en el devanado secundario (X_1 - X_2).

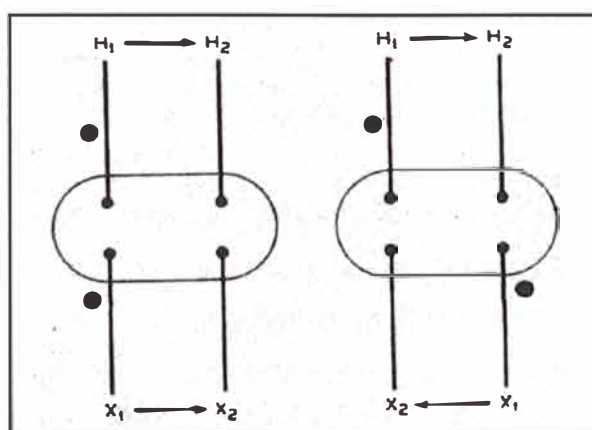


Fig.2.2: Circuito para prueba de polaridad por golpe inductivo.

c) Como consecuencia, se induce un voltaje en el devanado de baja tensión (Golpe Inductivo), el cual causará una deflexión en el voltímetro. Cuando el puntero oscila en dirección opuesta (negativa), la polaridad es sustractiva y cuando lo hace en la misma dirección (positiva), la polaridad es aditiva.

B) Prueba de la polaridad por tensión alterna.

Para transformadores con una relación de transformación de 30 a 1 o menor, se cortocircuita H_1 y X_1 adyacentes según la figura (2.3). Un valor conveniente de tensión alterna se aplicará al devanado primario y se tomará la lectura con un voltímetro (V_s), igualmente se medirá el voltaje entre los bornes adyacentes de alta y baja tensión (V). Cuando $V_s > V$ la polaridad es sustractiva y cuando $V > V_s$ la polaridad es aditiva.

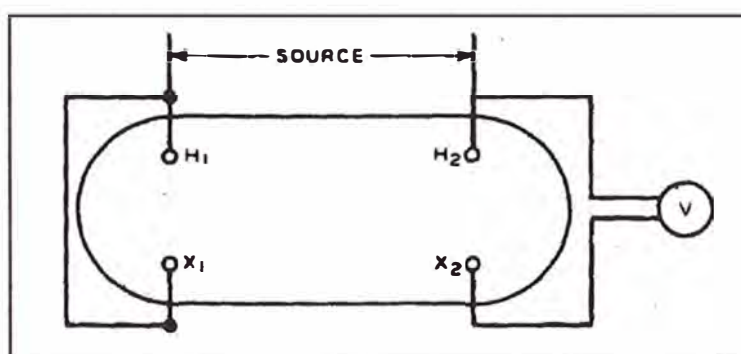
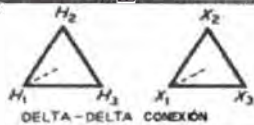
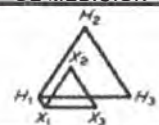
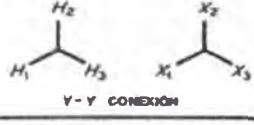
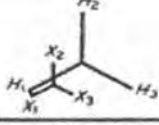
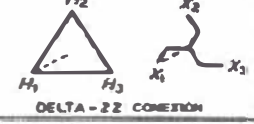

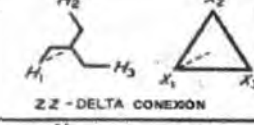
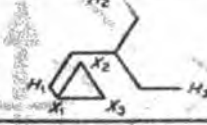
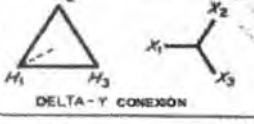
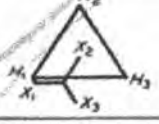
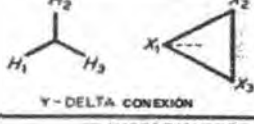
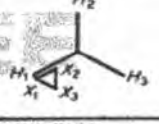
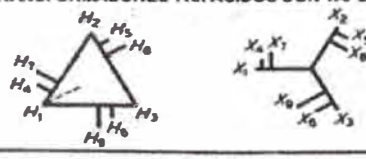


Fig.2.3: Circuito para la prueba de polaridad por tensión alterna.

2.2.2- Comprobación grupo de conexión.

El diagrama fasorial de los transformadores trifásicos, que determina su desplazamiento angular, puede ser verificada conectando los bornes H_1 (primario) y X_1 (secundario), para excitar la unidad a un voltaje trifásico, tomando mediciones entre varios pares de bornes, dibujando estos valores y comparándolos según su orden de magnitud, con la ayuda de los diagramas correspondientes en la Tabla (2.1).

Tabla 2.1: Diagramas de conexión y desplazamiento fasorial por grupo de conexión.

	DESPLAZAMIENTO ANGULAR	ESQUEMA PARA PRUEBA DE MEDICIÓN	PRUEBA DE MEDICIÓN
GRUPO 1 DESPLAZAMIENTO ANGULAR 0	 <p>DELTA-DELTA CONEXIÓN</p>		<p>CONECTAR H_1 A X_1 MEDIR $H_2-X_2, H_3-X_3, H_1-H_2, H_2-X_3, H_3-X_3$</p> <p>RELACION DE VOLTAJES (1) $H_2-X_3 = H_3-X_2$ (2) $H_2-X_2 < H_1-H_2$ (3) $H_2-X_2 < H_2-X_3$ (4) $H_2-X_2 = H_3-X_3$</p>
	 <p>Y-Y CONEXIÓN</p>		
	 <p>DELTA-ZZ CONEXIÓN</p>		
	 <p>ZZ-DELTA CONEXIÓN</p>		
GRUPO 2 DESPLAZAMIENTO ANGULAR 30	 <p>DELTA-Y CONEXIÓN</p>		<p>CONECTAR H_1 A X_1 MEDIR $H_2-X_2, H_3-X_3, H_1-H_2, H_2-X_3, H_3-X_3$</p> <p>RELACION DE VOLTAJES (1) $H_3-X_3 = H_3-X_2$ (2) $H_3-X_2 < H_1-H_2$ (3) $H_2-X_2 < H_2-X_3$ (4) $H_2-X_2 < H_1-H_2$</p>
	 <p>Y-DELTA CONEXIÓN</p>		
	<p>TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS CON TAPS</p> 		

2.2.3.- Medición de la relación de transformación.

La relación de transformación se mide con puentes diseñados para este efecto y su aplicación permite verificar simultáneamente el grupo de conexión.

La tolerancia indicada por la Norma IEC para esta magnitud es el mas bajo de los siguientes valores:

- a) 0.5%
- b) Un décimo de la tensión de cortocircuito.

Los principales métodos de medición a emplear son los siguientes:

Método del Voltímetro.

Se emplea dos voltímetros (Si es necesario con transformadores de tensión), uno para medir la tensión del primario y el otro para el devanado secundario. Se tomarán las lecturas simultáneamente, un segundo juego de lecturas se tomará con los instrumentos intercambiados, y del promedio de los dos juegos de lectura tomados se establecerá la relación de transformación. Si el promedio difiere mucho de los juegos de lecturas, será necesario aplicar los factores de corrección adecuados a las lecturas de los voltímetros.

Puente de relación.

Se emplea un puente en el circuito de la figura (2.4), para medir su relación. Cuando el detector DET esta balanceado, la relación es igual a R/R_1 (Prueba de resistencia potenciométrica). Se obtienen resultados mas exactos, usando un puente de relación que proporcione el ángulo de fase. El puente de relación puede utilizarse para medir la polaridad, relación y secuencia de fase.

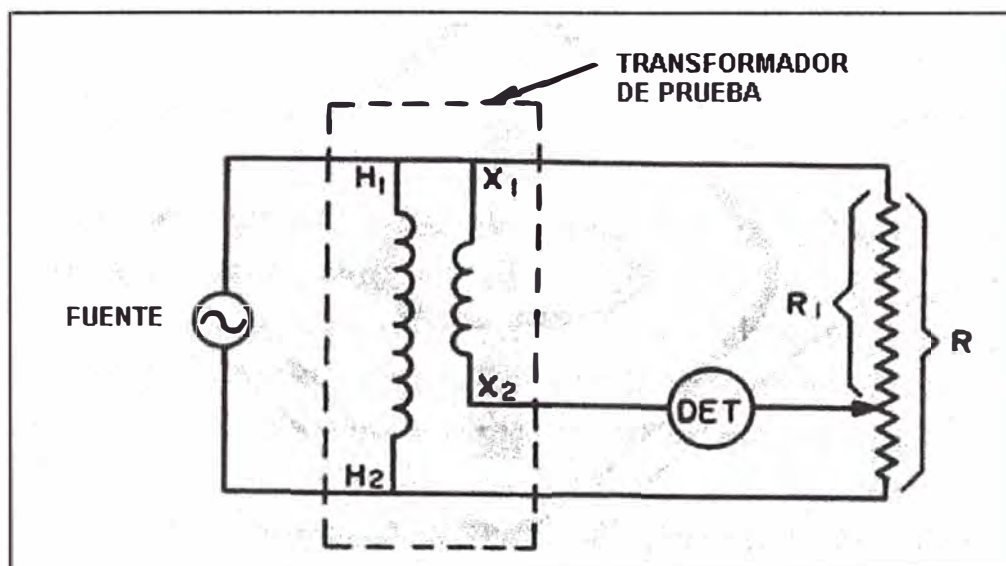


Fig.2.4: Circuito básico de puente de relación.

Para la medición de la relación de transformación, se utilizó un puente de relación marca AVO, tipo TR800 con una clase de precisión $\pm 0.1\%$.

2.3.- Medida tensión de cortocircuito.

Se mide la tensión de cortocircuito a la frecuencia nominal, utilizando una fuente de tensión sinusoidal equilibrada.

La medida puede ser efectuada con cualquier corriente comprendida entre el 25% y el 100% de la corriente nominal.

Se corrige el valor obtenido en el ensayo multiplicándolo por la relación de la corriente nominal a la corriente utilizada para el ensayo.

La tensión de cortocircuito así obtenida debe ser convertida a la temperatura de referencia indicada por la norma 75°C (IEC) o 85°C (ANSI).

Las tolerancias de la impedancia de cortocircuito para la norma ANSI C57-12.00 se resumen en:

- A) Cuando es mayor que 2.5%, entonces la tolerancia será +/-7.5% del valor declarado.
- B) Cuando es menor o igual que 2.5%, entonces la tolerancia será +/- 10% del valor declarado.

2.4.- Medida de las pérdidas en el hierro.

Las pérdidas en vacío incluyen pérdidas en el núcleo, pérdidas dieléctricas, pérdidas en el devanado debido a la corriente de excitación y pérdidas conductivas debido a la corriente circulante en devanados paralelos. Estas pérdidas varían con la excitación.

La corriente de excitación (corriente de vacío) es la corriente que fluye en cualquier devanado utilizado para excitar el transformador, cuando los otros devanados están a circuito abierto. Esta generalmente expresada en porcentaje de la corriente nominal del devanado del que se mide (I₀).

Las pérdidas de vacío consiste principalmente de las pérdidas del núcleo del transformador, la cual es función de la magnitud, frecuencia y forma de onda de la tensión aplicada. Estas pérdidas pueden variar con la temperatura y particularmente son sensibles a la forma de onda, por ello pueden variar considerablemente durante la prueba.

Además de las pérdidas de vacío y la corriente de excitación de un transformador puede variar por factores relacionados al diseño como el tipo, espesor del acero magnético, configuración del núcleo y densidad de flujo del mismo.

Se dispone del circuito según la figura (2.5), hay que aplicar tensión sinusoidal por el devanado de baja tensión con el otro devanado a circuito abierto. Para ajustar la tensión aplicada, se utiliza un voltímetro que mida el valor medio (E_a), pero que este graduado para indicar el valor eficaz (E_r), de tal manera que se obtenga un factor de forma de 1.11.

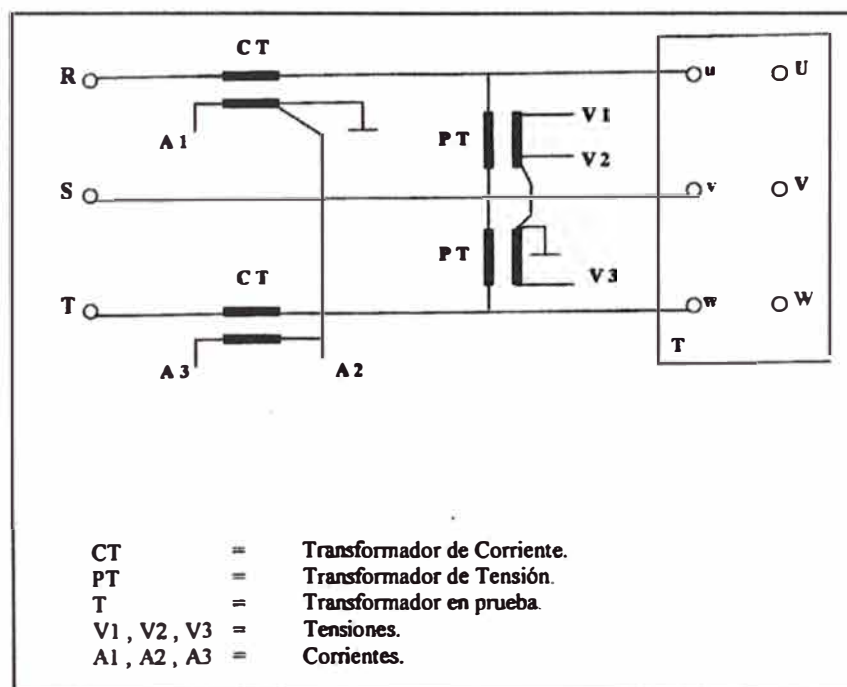


Fig.2.5: Circuito de medición de pérdidas en vacío y corriente de excitación usando transformadores de medición.

Asimismo, se miden las pérdidas del hierro con un vatímetro de $\text{Cos } \phi = 0.1$.

Si las pérdidas medidas son P_m , éstas serán corregidas para una tensión sinusoidal y para una temperatura respectiva.

Corrección por forma de onda de las pérdidas en vacío.

La componente de Eddy de las pérdidas en vacío varían con el cuadrado de la tensión excitación eficaz y es independiente de la forma de onda de la misma. Las pérdidas en vacío del transformador corregidas en base a la forma de onda se calculan de acuerdo a la fórmula (2.2) y (2.3).

$$P_c(T_m) = \frac{P_m}{P_1 + KP_2} \quad (2.2)$$

donde: T_m (Es la temperatura máxima del aceite al momento de la prueba en °C).

$P_c(T_m)$ Pérdidas vacío corregidas por forma de onda a T_m .

P_m Pérdidas vacío a temperatura T_m .

P_1 Proporción de las pérdidas de histéresis.

P_2 Proporción de las pérdidas de eddy.

$$K = \left(\frac{E_r}{E_a} \right)^2 \quad (2.3)$$

E_r ... Tensión Valor Eficaz.

E_a ... Tensión Valor Promedio.

Para hierro laminado $P_1 = P_2 = 0.5$

Corrección por temperatura de las pérdidas en vacío.

Se establece la referencia en las pérdidas en vacío, que puede variar con la temperatura del núcleo. El decremento en las pérdidas en vacío para un incremento en la temperatura, resulta de diversos mecanismos que actúan simultáneamente, como los cambios en la resistividad del núcleo magnético, los cambios en el esfuerzo mecánico en la estructura del núcleo, y las variaciones en los gradientes de temperatura en el núcleo. Ya que estos factores, pueden cambiar en transformadores incluso del mismo diseño.

Sin embargo, no se efectuará una corrección por temperatura en las pérdidas de vacío si las siguientes condiciones se encuentran:

- A) La temperatura máxima del aceite esta entre $\pm 10^{\circ}\text{C}$ de la temperatura referencial.
- B) La diferencia entre T_{max} y T_{min} aceite no excede de 5°C .

Si es necesario efectuar una prueba a temperatura fuera de los rangos especificados, la formula (2.4) puede usarse para corregir las pérdidas de vacío a la temperatura referencial.

$$P_r(T_r) = P_c(T_m)(1 + (T_m - T_r)K_T) \quad (2.4)$$

donde : $P_r(T_r)$ Las pérdidas en vacío a la temperatura estandar T_r .

$P_c(T_m)$ Las pérdidas en vacío corregidas por forma de onda a T_m .

T_r Temperatura referencial estandar, en $^{\circ}\text{C}$.

K_T 0.00065 para fierro laminado.

Para un transformador trifásico la corriente de excitación (I_0), se calcula tomando el promedio de las magnitudes de la corriente de línea, durante las pruebas en vacío.

De acuerdo a las tolerancias admisibles según la norma IEC 76-1, la corriente de excitación no debe exceder de 30% de la corriente nominal.

2.5.- Medida de las pérdidas en el cobre.

Las pérdidas en el cobre de un transformador son aquellas producidas por la corriente transportada de una carga alimentada en sus bornes. Se conforma por las pérdidas óhmicas I^2R en los devanados y las perdidas suplementarias debido a las corrientes parásitas inducidas por el flujo de dispersión que atraviesa los devanados, el núcleo, la pantalla magnética, las paredes del tanque y otras partes conductoras.

Las pérdidas en el cobre se miden, cortocircuitando el devanado primario (alta tensión), y aplicando con una fuente de tensión un porcentaje de la tensión nominal por el lado secundario, hasta conseguir el paso de corriente nominal por el devanado cortocircuitado de acuerdo al circuito de la figura (2.6).

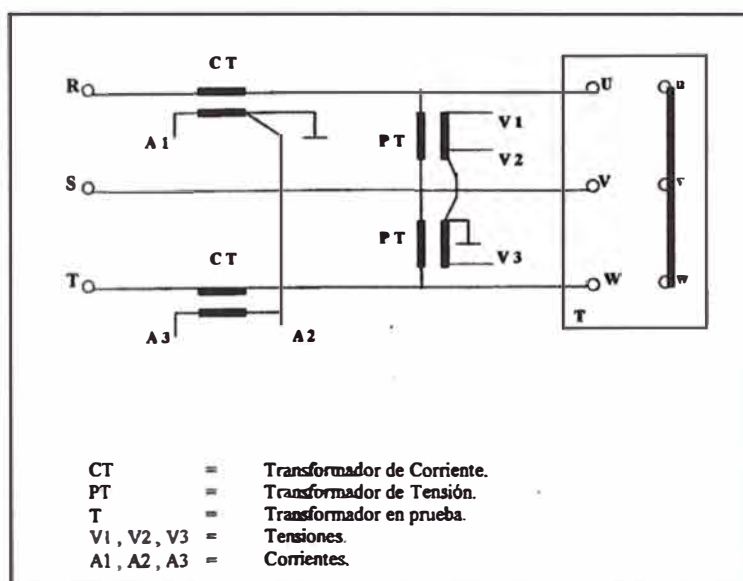


Fig.2.6: Circuito de medición de pérdidas en el cobre vacío y tensión de cortocircuito, usando transformadores de medición.

Antes de las mediciones se debe tener en cuenta las siguientes condiciones para obtener exactitud en los valores obtenidos:

- La temperatura del liquido aislante tiene que estabilizarse y la diferencia de temperatura entre el aceite de la parte superior con la inferior no exceda en 5°C.
- La temperatura de los devanados se tomará inmediatamente antes y después de la medición de las pérdidas en el cobre. Se tomara el promedio de las lecturas de igual manera como se procede para la medición de la resistencia del devanado.
- La diferencia de la temperatura del devanado antes y después de la medición no excederá en 5°C.

d) Los conductores usados para cortocircuitar el lado de alta tensión del transformador, deberá tener una sección igual o mayor que los correspondientes bornes del transformador.

e) La frecuencia de la fuente de prueba usada para medir las pérdidas del cobre, deberá estar entre $\pm 0.5\%$ del valor nominal (60Hz).

Se mide las pérdidas en el ensayo de cortocircuito. Se corrige el valor obtenido del ensayo, multiplicándolo por el cuadrado de la relación de la corriente nominal a la corriente utilizada para el ensayo.

Se calcula las pérdidas de los arrollamientos con los valores de resistencias medidas con corriente continua y sus intensidades nominales ($R \cdot I^2$). Estas se denominan pérdidas óhmicas.

La diferencia de las pérdidas medidas con corriente alterna, menos las pérdidas óhmicas constituye las pérdidas producidas por corrientes parásitas, denominadas pérdidas suplementarias.

Se convierten las pérdidas medidas, a las temperaturas de referencia indicadas por la norma. (IEC: 75°C/ANSI:85°C). Tanto las pérdidas óhmicas como suplementarias se corrigen por separado a una temperatura T_m de acuerdo a la fórmula (2.5) y (2.6).

$$P_r(T) = P_r(T_m) \left(\frac{T_k + T}{T_k + T_m} \right) \quad (2.5)$$

$$P_s(T) = P_s(T_m) \left(\frac{T_k + T}{T_k + T_m} \right) \quad (2.6)$$

donde:

$P_r(T)$ Las pérdidas I^2R óhmicas a la temperatura T , °C (watts).

$P_s(T)$ Las pérdidas suplementarias a la temperatura T , °C (watts).

$P(T)$ Las pérdidas en el cobre corregidas a la T , °C.

$T_k = 235^\circ\text{C}$ (cobre) y 225°C (aluminio).

Para la conversión se toma en cuenta que las pérdidas óhmicas aumentan con la temperatura, mientras que las pérdidas suplementarias se reducen con el aumento de ella.

La resistencia de las conexiones utilizadas para los ensayos debe ser suficientemente baja para no afectar los resultados de las medidas. En caso contrario se debe tener en cuenta las pérdidas en las conexiones.

Las tolerancias admisibles según norma ANSI C57-12.00 para pérdidas en el cobre a la temperatura de referencia de 85°C, se definen en la tabla (2.2).

Tabla (2.2): Tolerancias admisibles de pérdidas a 85°C según ANSI C57-12.00.

Numero de unidades en una orden	Base para la determinación	Pérdidas en el fierro (Sin carga) (%)	Pérdidas Totales (%)
1	1 unidad	10	6
2 o mas	Cada unidad	10	6
2 o mas	Promedio de todas las unidades	0	6

2.6.- Ensayo de tensión inducida.

Este ensayo tiene por objeto probar el aislamiento entre espiras, bobinas, tomas y bornes de arrollamientos.

Se aplica una tensión alterna a los bornes de un arrollamiento de un transformador. Esta tensión debe ser de forma sinusoidal y de una frecuencia suficientemente por encima de la frecuencia nominal, para evitar una excesiva corriente de magnetización durante el ensayo.

Se mide el valor pico de cresta de la tensión de ensayo inducida en los arrollamientos de alta tensión. Este valor es dividido entre $\sqrt{2}$ debe corresponder a la tensión de prueba (normal) especificada con la orden.

El ensayo debe empezar con una tensión del orden de 1/3 de la tensión de ensayo, elevando la tensión lo mas rápido posible al valor apropiado. Al final del ensayo se la reduce a un tercio, antes de desconectar el circuito.

La duración del ensayo es 60 segundos para toda frecuencia de ensayo inferior o igual a dos veces la frecuencia nominal. Si la frecuencia de ensayo pasa del doble de la frecuencia nominal, la duración del ensayo en segundos, es 120 veces la frecuencia nominal dividida por la frecuencia de ensayo, o 15 segundos, tomando el mayor de estos dos valores.

En caso de transformadores trifásicos se admite conectar la tensión de ensayo a cada fase (y neutro) para evitar tensiones anormalmente elevadas entre bornes y líneas adyacentes.

Para la prueba se aplica el doble de la tensión nominal durante un minuto, durante la misma no debe existir indicios de falla. Para que el núcleo no se sature con el doble de la tensión inducida se debe duplicar la frecuencia también. El circuito utilizado se muestra en la figura (2.7).

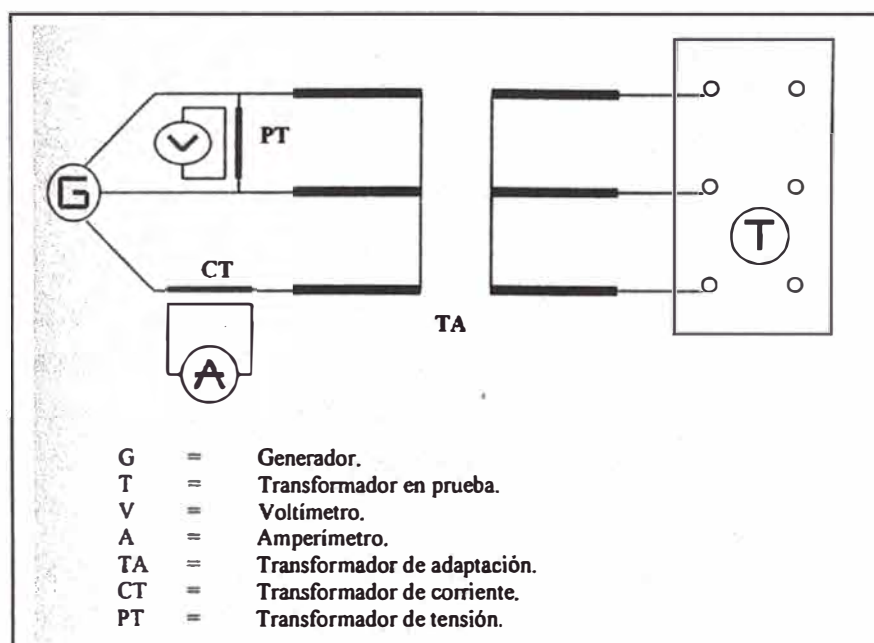


Fig.2.7: Circuito de prueba de tensión inducida.

Para la prueba del transformador se aplicó una tensión inducida de corta duración Fase-Tierra AT (220KV) de 460 KV y Fase-Tierra BT (62,3KV) de 140 KV, con una frecuencia de 120 Hz y una duración de 60 segundos, quedando el transformador en buen estado.

Para la presente prueba se utilizó vatímetro YEW WP-001.

2.7.- Ensayo de tensión aplicada.

Esta prueba se efectúa para determinar la suficiencia de los arrollamientos y distancia de cada arrollamiento con respecto a masa.

Este ensayo debe ser realizado con una tensión sinusoidal, monofásica, de una frecuencia de 80% a 100% de la frecuencia nominal. Esta tensión debe ser aplicada en forma sucesiva, entre cada arrollamiento sometido al ensayo y el conjunto de los otros arrollamientos, el circuito magnético y el tanque, conectados a tierra.

Se mide el valor pico de la tensión de ensayo. Este valor dividido entre $\sqrt{2}$, debe corresponder a la tensión de prueba (normal) especificada con la orden. (algo mayor que $2*U$). El ensayo debe empezar con una tensión del orden de 1/3 de la tensión de ensayo, elevando esta tensión lo mas rápido posible al valor apropiado. Se la mantiene durante un minuto y se la reduce a un tercio, antes de desconectar el circuito.

Durante la prueba no debe existir indicios de falla, oscilaciones anormales en la tensión, aumento de la corriente, ruido alguno en el transformador, etc. El circuito utilizado para la prueba se muestra en la figura (2.8).

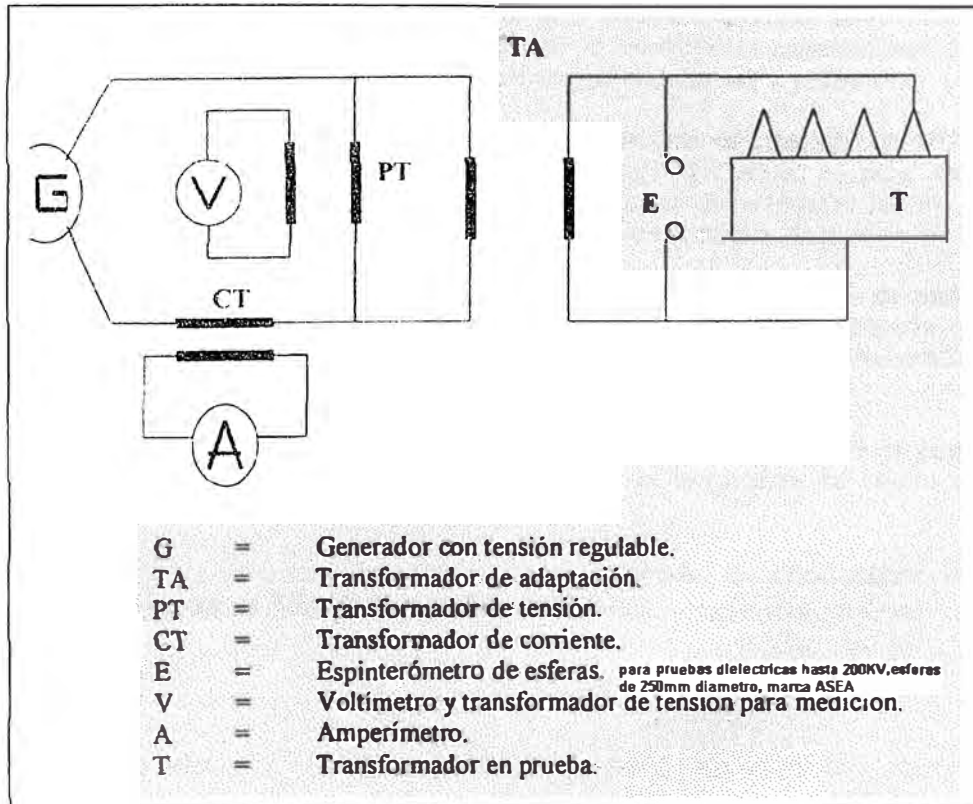


Fig.2.8: Circuito de prueba de tensión aplicada.

Para la prueba del transformador se aplicó una tensión aplicada al arrollamiento de 10.3KV con valor de 28KV, a una frecuencia de 60 Hz y una duración de 60 segundos., quedando el transformador en buen estado.

Para la presente prueba se utilizó vatímetro YEW WP-001.

2.8.- Pruebas en conmutador bajo carga.

Con los conmutadores bajo carga incorporados en el transformador la secuencia siguiente de operaciones se realizará sin falla.

A) Con el transformador desenergizado, ocho ciclo de operación completos (U ciclo de operación va desde el final del rango de regulación al paso anterior).

B) Con el transformador desenergizado, y con la tensión de control reducida a 85% de su valor nominal, completar ciclo de operación.

C) Con el transformador energizado a tensión y frecuencia nominal en vacío, completar un ciclo de operación.

D) Con un devanado cortocircuitado lograr la corriente en el devanado primario (Con tap de regulación), efectuar 10 cambios de taps en el rango de dos pasos a cada lado mediante el selector Subir-0-Bajar, de otra forma desde el paso medio.

E) Después que el intercambiador de tomas bajo carga se ensambla en el transformador, una prueba de frecuencia se aplicara a los circuitos auxiliares como se especifica en IEC 76-3.

CAPÍTULO III

PRUEBAS TIPO

3.1.- Prueba de calentamiento.

La prueba de calentamiento tiene por objeto determinar el calentamiento final de los bobinados y del aceite respecto al medio ambiente, en condiciones normales de funcionamiento.

En los laboratorios generalmente se emplea el método de cortocircuito. Este método se basa en que el calentamiento del aceite respecto al medio ambiente se debe a las pérdidas totales del transformador o sea a la suma de las pérdidas nominales de los bobinados y del núcleo; y que el calentamiento de los bobinados respecto al aceite se debe solo a las pérdidas de los bobinados.

Para determinar el calentamiento del aceite se alimenta el transformador con el otro devanado en cortocircuito, de modo que las pérdidas medidas sean iguales a las pérdidas en el cobre mas las pérdidas en el hierro, hasta alcanzar el equilibrio térmico y se establezca el calentamiento del aceite respecto al medio ambiente. En ese momento se pueden realizar las mediciones .

Medición del calentamiento del Aceite

Se considera que el calentamiento del aceite esta establecido cuando no sube mas de 1°C durante un periodo de 3 horas.

La temperatura del aire de enfriamiento se mide con termocuplas de cobre, ubicados alrededor del objeto, a la altura media de la superficie de enfriamiento. En caso de enfriamiento por ventilación forzada, la temperatura del aire debe ser tomada a la entrada del refrigerante.

La temperatura del aceite se mide mediante un termómetro ubicado en un pozo termométrico, en la parte superior.

Medición del calentamiento del bobinado

Después de determinado el calentamiento del aceite, se hace circular la corriente nominal en los bobinados para determinar el calentamiento de los bobinados respecto al aceite. Aproximadamente esta prueba dura unas 15 horas, y durante este periodo se registra mediciones de la temperatura del aceite superior mediante las termocuplas, hasta estabilizar su valor. Se puede apreciar en la figura (3.1) la curva de aumento de la temperatura del aceite superior en condiciones ONAN (ventilación natural), por el cortocircuito aplicado en el devanado de baja tensión y aplicación de tensión en el de alta tensión.

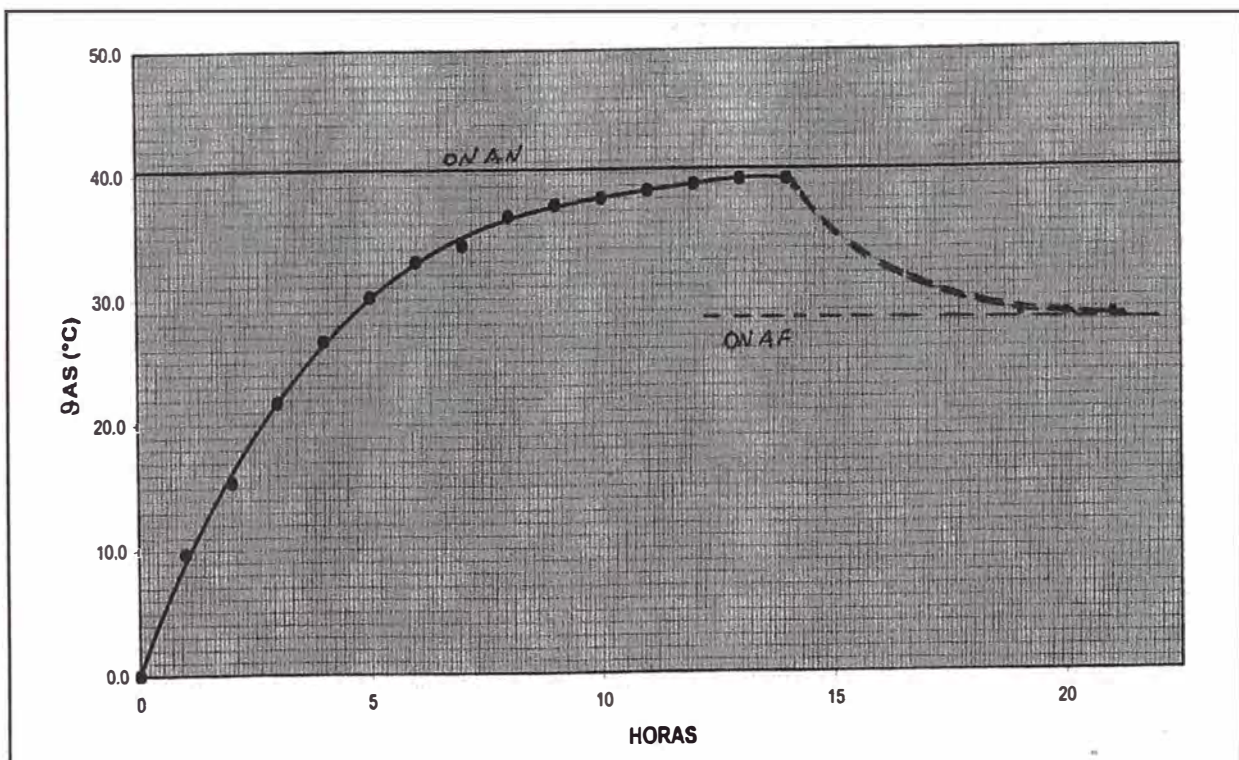


Fig.3.1: Prueba de calentamiento AT/BT.

A continuación se desconecta el transformador y se mide inmediatamente la temperatura del arrollamiento por la variación de la resistencia a tensión continua.

Se deben hacer las lecturas lo mas pronto posible después de la desconexión, dejando sin embargo transcurrir un tiempo suficiente para que desaparezca el efecto inductivo.

Se lleva un registro de las medidas efectuadas en función del tiempo transcurrido desde la desconexión por un periodo de 10 minutos y se hace una extrapolación para llegar al tiempo cero. En la **Figura (3.2)** por ejemplo se aprecia el registro de valores a partir de los 2 minutos de la desconexión, obteniendo gráficamente la temperatura del devanado máxima.

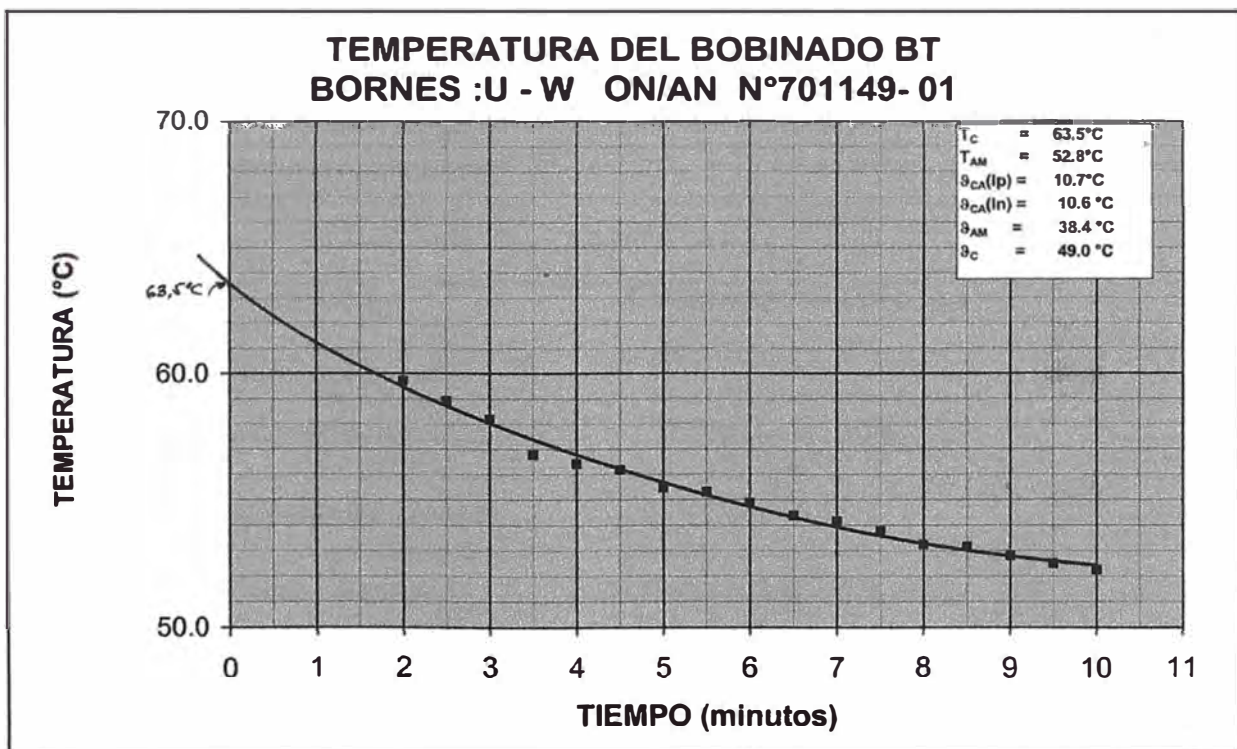


Fig.4.2: Temperatura del bobinado BT Bornes: U-W ON/AN.

3.2.- Prueba de impulso.

Se efectúan únicamente bajo especificación del comprador.

Sirve para verificar si el transformador soporta el nivel de sobretensiones de origen atmosférico, según su clase de tensión y coordinación del aislamiento.

Se efectúan en los laboratorios especiales donde el equipo principal es el generador de impulsos, del tipo división de tensión capacitivo de relaciones para el devanado de AT: 1329KV, para el devanado de BT:889KV y para el devanado Terciario 449KV. Asimismo como instrumento de medición se tiene a la salida del divisor de tensión un oscilógrafo de Impulso HAEFELY tipo E441.

La forma de onda de impulso esta prevista por la norma CEI Pub. 76, siendo la mas utilizada la onda: 1.2/50 microsegundos. Para el transformador en mención, la secuencia de la prueba se detalla a continuación:

Secuencia	Tolerancia de Tiempos
02 Ondas reducidas	
00 Onda cortada reducida	Frente +/- 30%
00 Ondas cortadas plenas	Cola +/- 20%
00 Ondas plenas	Corte entre 2 a 6 seg.

Los valores de prueba fueron 1050 KV en alta tensión, 325 KV en baja tensión y el terciario 75 KV.

Ejecución de la Prueba de Impulso

En correspondencia con la capacidad del objeto en prueba, se ajustan las resistencias R_s y R_p en el circuito básico de la figura (3.3), para obtener la forma de onda requerida.

Se hace una descarga con el 50% de la tensión de prueba, tomando oscilogramas de la tensión y corriente.

Se hace la descarga con el 100% de la tensión de prueba, tomando oscilogramas de la tensión y corriente.

La prueba es considerada satisfactoria cuando las formas de los oscilogramas al 50 al 100% de la tensión permanecen iguales.

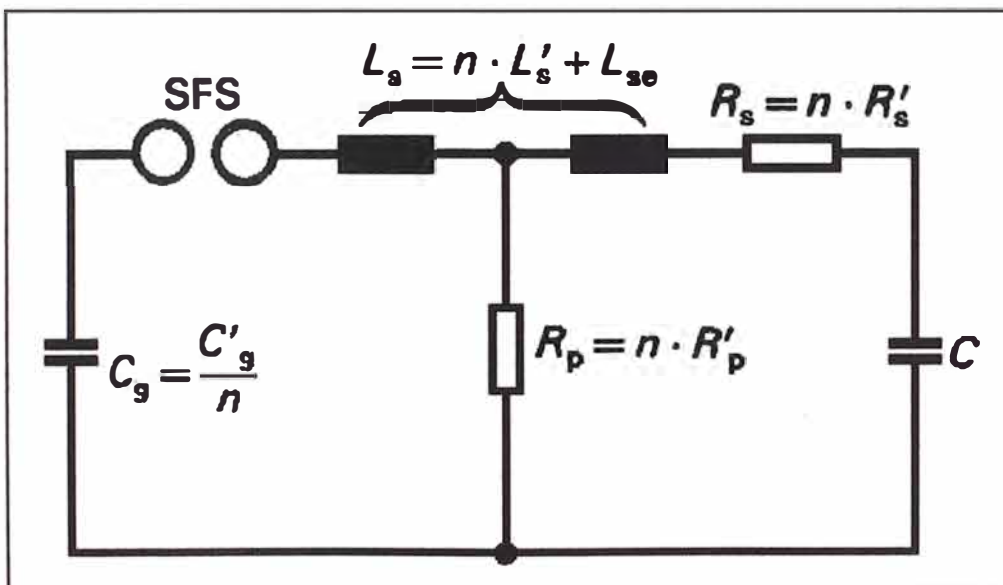


Fig. 3.3: Circuito básico para la onda de impulso.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS ESPECIALES

4.1.- Medición de descargas parciales.

El fenómeno de degradación de los aislamientos del devanado por la acción de descargas parciales, se reconoce como uno de los principales factores en la falla prematura de los transformadores de potencia.

Las descargas parciales se originan cuando los transformadores de potencia están sujetos a condiciones tales como temperatura excesiva, presencia de humedad por condiciones de oxígeno y humedad que combinadas con los esfuerzos eléctricos aceleran los procesos de degradación del aislamiento.

Para reducir su impacto, los equipos nuevos se evalúan antes de salir de fábrica, mediante pruebas de voltaje inducido con medición de descargas parciales.

Uno de los métodos para detectar este tipo de fallas, es la medición por la técnica ultrasónica que se basa en que las ondas parciales producen ondas de presión que se propagan a través del medio aislante en el rango de frecuencia de 100MHz, desde el sitio de la descarga hasta la pared del tanque del transformador, donde son detectadas por sensores ultrasónicos que se instalan generalmente en el yugo del núcleo de transformador de potencia.

Otros métodos empleados son los eléctricos que se llevan a cabo midiendo las descargas parciales por medio de detectores convencionales. Esta técnica tiene el inconveniente de perder sensibilidad en mediciones en terreno debido a la alta interferencia electromagnética derivada del sistema eléctrico.

Los métodos químicos aprovechan la información entregada por los gases que aparecen en el aceite del transformador, no obstante, estas técnicas no permiten detectar la presencia de descargas incipientes en el aislamiento del transformador debido a que se produce un gran retardo entre el inicio de la fuente de descargas parciales y la evolución de gas suficiente que delate la presencia de estas.

4.2.- Medición del factor de potencia.

El factor de disipación del aislamiento de un transformador se obtiene por lectura directa a través de un puente capacitivo (puente de Schering), por su parte el factor de potencia se calcula a partir de los valores de factor de disipación obtenidos. Para el aislamiento general del transformador, el factor de disipación o tangente delta por lo general se mide utilizando el método de doble que entrega directamente los valores de tangente delta y la capacidad (en faradios) del aislamiento. Tanto el factor de disipación, como el de potencia deben asumir valores bajos, pues representan pérdidas indeseables en el aislamiento por presencia de cavidades y por ende la aparición de descargas parciales.

Para el caso de los bushings del transformador, la medición de los factores de pérdida se realiza empleando distintos métodos, cuya aplicación dependerá del tipo de bushing presente. Para bushings capacitivos se realiza la medición con puentes capacitivos entre el terminal del bushing y el tap de voltaje. Para bushings no capacitivos, la medición de los factores de pérdida se lleva a cabo empleando el método del collar caliente.

La medición de la resistencia de aislamiento se lleva a cabo con un Megger, que aplica tensión continua entre los bobinados, bobinados con respecto a tierra y con respecto al núcleo. A través de las mediciones anteriores se obtiene los valores de la resistencia del aislamiento. Los valores típicos de resistencia del aislamiento entre bobinados y tierra, en un transformador de potencia, es del orden de 400 Mega ohmios, y entre bobinados y núcleo, de 1000 Mega ohmios. La medición de resistencia de aislamiento con respecto al núcleo solo se realizara si este es accesible.

4.3.- Medición de la impedancia homopolar.

La impedancia de secuencia cero es medida a frecuencia nominal entre los terminales de línea del devanado estrella conectados entre ellos, y su terminal neutro. Esta expresado en ohmios por fase y esta dado por $3 U / I$, donde U e I son la tensión y corriente de prueba respectivamente.

La corriente de prueba por fase será $I/3$, y se asegurara que la corriente en la conexión neutra sea compatible con su capacidad de corriente transportada.

En el caso de un transformador con un devanado adicional conexión delta, el valor de la corriente que pasa por el mismo no será excesiva, tomando en cuenta la duración de la aplicación.

4.4.- Medición de niveles de sonido.

El sonido de los transformadores proviene principalmente del núcleo y es transmitido tanto por el fluido dieléctrico como por las estructuras que conforman la cuba. En algunas situaciones los devanados pueden generar ruido a condiciones por debajo de la plena carga. El espectro de frecuencia del sonido audible consiste en primer lugar de las armónicas impares de la frecuencia principal, hasta ahora, para un sistema de potencia a 60Hz el espectro de sonido audible consiste de tonos a 120, 240, 360, 480 Hz, etc. El sonido audible también contiene ruido emitido por algún sistema de refrigeración mecánico para el aceite aislante.

Los procedimientos específicos para medir los niveles de ruido o calcular niveles de potencia sonora son aplicables para transformadores probados al interior o exterior de un laboratorio o fábrica, o instalado en una subestación con otros equipos circundantes.

Dentro de la instrumentación utilizada para efectuar la prueba:

- Las mediciones del nivel de presión sonora, se ejecutaran con equipos que cumplen los requerimientos de la Norma ANSI S1.4-1983 para medidores Tipo 1.
- La medición de las tres primeras octavas de la banda de frecuencia se realizan con instrumentos que cumplen los requerimientos de la Norma ANSI S1.4-1983 para medidores tipo 1 conjuntamente con la norma ANSI S1.11-1986 para tipo E, clase II o su equivalente.
- Filtro de banda angosto, la medición de la frecuencia discreta puede efectuarse cuando se especifique o cuando las condiciones de ruido del ambiente requeridas por la especificación no puede ser alcanzada. Las características del analizador de ancho de banda que pueden ser adecuados son 1/10 octava; un ancho de banda de 10% de la frecuencia seleccionada, o anchos de banda entre 3, 10, o 50 Hz.
- Los instrumentos de medición serán calibrados de acuerdo a lo que recomiende el fabricante, antes y después de un juego de mediciones. Si el cambio de calibración para mas de un decibelio, las mediciones se invalidan y la prueba se repetirá.

Condiciones de Prueba.

Las mediciones deberán efectuarse en un ambiente que tenga un nivel de presión sonora al menos (05) cinco decibelios por debajo del nivel de presión sonora combinado del ambiente y del transformador. Cuando la diferencia sea mayor igual a 5 decibelios, se aplicara las correcciones mostradas en la tabla 4.1 para obtener el nivel de presión sonora del transformador. Cuando la diferencia entre el nivel de presión sonora combinado del ambiente y del transformador con el nivel de presión sonora ambiental es menor de 5 decibelios, y si solo se desea saber si el nivel de presión sonora que el transformador no excede, se aplica un factor de corrección de -1.6 decibelios. Para una

tercera octava o mediciones de banda angosta, los cinco decibelios se aplicaran a cada banda de frecuencia en la cual las mediciones sean hechas.

Tabla 4.1: Valores de corrección para el nivel de presión sonora combinada del transformador.

Diferencia, en decibelios, nivel presión sonora combinada del transformador -ambiente, respecto al nivel de presión sonora ambiental.	Corrección en decibelios, para añadirse al nivel de presión sonora combinada del transformador-ambiente, para obtener el nivel de presión sonora ambiental corregida del transformador
5	-1.6
6	-1.3
7	-1.0
8	-0.8
9	-0.6
10	-0.4
10	0.0

Cuando las condiciones de sonido ambientales no cumplen con lo establecido líneas arriba, las correcciones pueden darse si las condiciones de sonido ambientales son estacionarias y los niveles sonido a frecuencia discreta sean medibles. Para esta condición, los métodos de medición serán a mutuo acuerdo entre el fabricante y el comprador del transformador.

El transformador estará localizado en una superficie de reflexión no acústica que este dentro de los 3m de alcance de los micrófonos. En caso se que el ambiente de prueba presenta semi-reverberancia, deberá ser colocado de forma asimétrica con respecto a la geometría del cuarto. Cuando las emisiones de sonido son medibles en un espacio cerrado, la reflexión desde las paredes u otros objetos pueden influenciar en los resultados de las mediciones, porque el sonido contiene tonos discretos que son afectadas por la geometría de la sala, por su acústica o por los objetos que están dentro de ella.

Posición de los micrófonos.

La superficie vertical por donde el transformador produce el sonido, se señala mediante líneas punteadas alrededor de su perímetro o su cubierta. El contorno incluye los radiadores, tuberías, ventiladores, compartimientos de maniobra y las cámaras terminales, pero excluyen bushings y extensiones menores, tales como válvulas, manómetros, termómetros, cajas terminales conduit, etc.

Consideraciones de seguridad.

Para preservar la consistencia y seguridad de la medición, la superficie de referencia que produce el sonido cerca de partes vivas descubiertas ensambladas en campo, tales como interruptores de maniobra, compartimientos terminales y bushings montados en las paredes, y bushings adaptadores aire aceite SF6, se moverán hacia fuera del contorno punteado para que sea consistente con las distancias de trabajo seguras determinadas por el fabricante para la clase de tensión de las partes vivas involucradas.

Posición de medición.

La ubicación de los micrófonos deberán coincidir con la válvula de drenaje principal. Los demás micrófonos estarán ubicados a un espaciamiento de 1m en dirección horizontal, en sentido de las manecillas del reloj de acuerdo al contorno punteado mostrado por la figura 4.1.

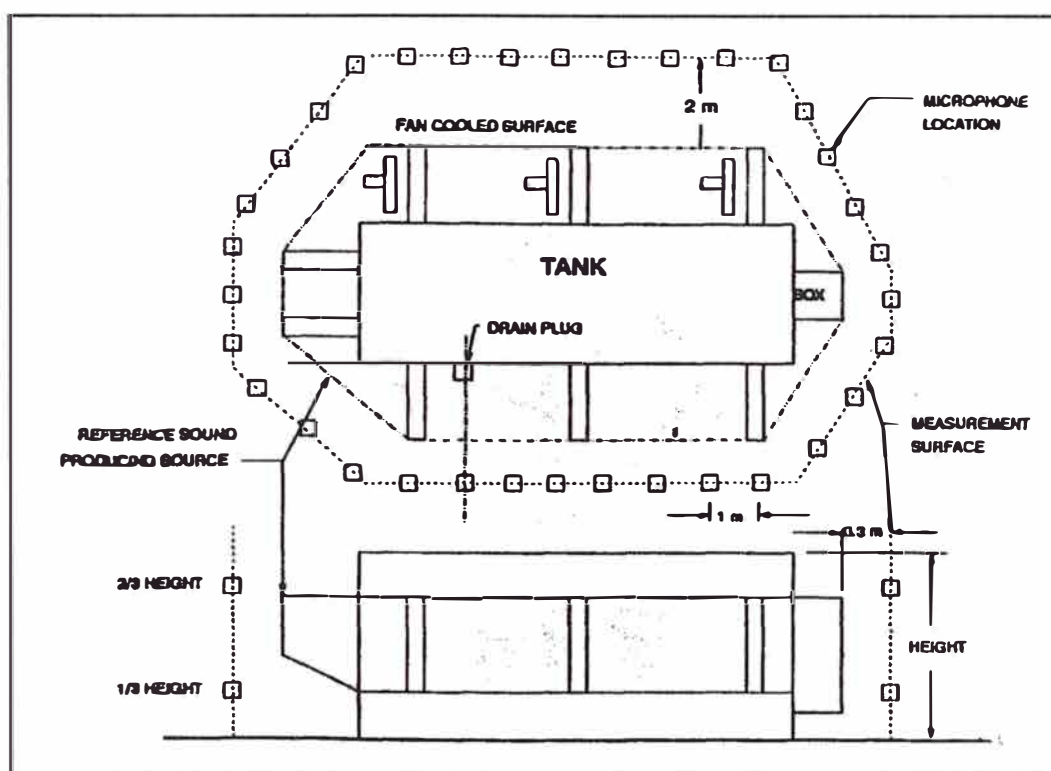


Fig. 4.1: Posición de los micrófonos para la medición del nivel de ruido.

Se tomará los valores de ruido en dB para las etapas ONAN y ONAF, a 1/3 y 2/3 de la altura del transformador en los diversos puntos del perímetro. Dichos valores de ruido no deben exceder los límites establecidos según normas.

4.5.- Medición de las corrientes armónicas en vacío.

Durante las pruebas de pérdida en vacío y corriente de excitación, se mide el contenido de armónicos y el grado de distorsión armónica (Factor K de diseño). Para el sistema trifásico estrella/triángulo con neutro aislado; no aparece la 3era armónica de la corriente del primario pero si la 3era armónica de la corriente de excitación en el secundario. Se identifica que los armónicos de tensión de fase en primario y secundario presenta valor reducido.

La producción de pérdidas por corrientes parásitas en los arrollamientos de los transformadores de potencia; se evalúan de acuerdo al factor K señalado por las Norma ANSI para la selección de transformadores utilizados en redes con elevado contenido de corrientes armónicas.

El grado de distorsión armónica aceptable para nuestro transformador se define por la siguiente fórmula (4.1) Y (4.2):

$$K = \frac{\sum (h \times I_h)^2}{\sum I_h^2} \quad (4.1)$$

$$\alpha_a = \alpha k \quad (4.2)$$

Por la reducción de la potencia por contenido de armónicos, si hubiera la necesidad de aplicar a un transformador ya construido, una carga con un cierto contenido de armónicos de corriente, habría que establecer una intensidad de carga reducida "I_r", de modo que las pérdidas totales en los arrollamientos no excedan los valores de diseño.

Por ejemplo cuando las pérdidas suplementarias equivalen a 15% y el grado de distorsión armónica es 2.76, la nueva corriente nominal "I_r" es 0.903 I_n del transformador diseñado considerando el efecto térmico de la onda fundamental.

4.6.- Medición de la potencia consumida por los ventiladores y las bombas de aceite.

Esta prueba se efectúa con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento de las partes mecánicas y eléctricas de los grupos de bombeo y ventilación, asegurando que la refrigeración y circulación de aceite sea la adecuada para las etapas de enfriamiento establecidas. Cualquier incremento de la corriente demandada por los motores es una indicación de la existencia de problemas.

Cuando la potencia consumida es mayor debido a un desbalance de fase producido por desgaste de las chumaceras o partes mecánicas que se encargan de brindar el torque necesario para mover el flujo adecuado de aceite para brindar la refrigeración adecuada al transformador. Esto genera una subtensión en el circuito de mando de tal forma que uno de los dispositivos de control no sea alimentado con la tensión adecuada y no pueda cumplir su función.

Cuando continuamente hay perturbaciones en el circuito de mando y control de las etapas de ventilación de aire y circulación de aceite, hay que realizar esta prueba midiendo las corrientes y las tensiones en los motores respectivos.

4.7.- Pruebas del aceite dieléctrico.

Las pruebas de rutina que se efectúan son:

Índice de Neutralización (acidez).

Tensión interfacial.

Pérdidas dieléctricas.

Rigidez dieléctrica.

Contenido de agua.

4.7.1.- Índice de Neutralización (Acidez Total).

Es la medida del total de compuestos ácidos que se presentan en el aceite aislante, a través de la reacción con hidróxido de potasio en medio alcohólico.

El índice de neutralización (acidez) es considerado crítico sobre **0,30 mgKOH/g** de aceite, y a partir de éste el valor aumentará de modo exponencial, siendo necesario la sustitución del aceite.

4.7.2.- Tensión Interfacial.

Es la medida de la fuerza necesaria para que un anillo plano de platino rompa la interfase formada entre el agua y el aceite. Una disminución de la tensión interfacial indica la presencia de productos que son el resultado de deterioro del aceite y de contaminantes polares solubles (productos intermediarios de oxidación).

Los valores menores a **20mN/m**, son un indicio de que se está en un fase crítica, siendo necesario la sustitución o regeneración del aceite.

4.7.3.- Pérdidas Dieléctricas(Factor de Potencia/Factor de Disipación/Tangente Delta).

Es la medida de la tangente del ángulo de fase (o coseno de su complemento), entre la tensión y la corriente, al aplicarse una diferencia de potencial (D.D.P) predeterminado a dos electrodos entre los cuales se coloca el líquido aislante, también sirve para complementar las dos pruebas anteriores, pues es sensible a todas las sustancias polares y aún a aquellas polarizables bajo un campo magnético. Es extremadamente sensible a contaminaciones y puede indicar si los valores obtenidos en los ensayos provienen de contaminantes o de la propia deterioración del aceite.

4.7.4.- Rigidez Dieléctrica.

Es la medida de la resistencia que el aceite aislante presenta al impacto eléctrico.

Esta prueba es la indicada para comprobar la presencia de agentes contaminantes como el agua, impurezas, fibras celulósicas húmedas, partículas metálicas o conductoras en el aceite, pudiendo existir concentraciones significativas cuando se presenta baja tensión.

4.7.5.- Contenido de Agua

Es una medida exacta de la cantidad de agua disuelta en el aceite en miligramos de agua por kilogramos de aceite (parte por millón en peso – ppmp).

En los laboratorios más modernos, este examen es realizado a través del método **Kart Fischer Coulométrico**.

4.7.6.- Criterios para la Evaluación de los Resultados del Análisis de Aceite Aislante.

4.7.6.1.- Rigidez Dieléctrica

Aceite Nuevo: **ASTM D 1816-48 KV** mínimo (electrodo semiesférico)

Aceite Usado: **ASTM D 1816-32 KV** mínimo (electrodo semiesférico)

4.7.6.2.- Tensión Interfacial

Para aceite nuevo, el valor mínimo es de **30 mN/m**

Para aceite en servicio, el valor mínimo es de **20mN/m**

4.7.6.3.- Contenido de Agua

Se consideran como valores máximos aceptables para servicio continuo:

- 35 ppmp para equipos con tensión hasta 69 KV
- 25 ppmp para equipos con tensión mayor 69 KV y menor 230 KV
- 20 ppmp para equipos con tensión mayor 230 KV y menor 345 KV
- Siempre menores de 20 ppmp para equipos de tensión extra-alta

4.7.6.4.- Pérdidas Dieléctricas

El factor potencial de un aceite nuevo y en buenas condiciones es de 0,05% o menor a 25°C.

En el aceite usado, el factor potencial hasta 0,5% a 25°C es aceptable, de 0,5% a 2% a 25°C, el aceite debe ser analizado detalladamente para determinar las causas de esta elevación.

4.7.6.5.- Índice de Acidez Total

En aceite nuevo, éste índice debe ser menor a 0,03mgKOH/g aceite.

Para aceite en servicio, debe ser considerado hasta 0,25 mgKOH/g de aceite y sobre este valor se debe programar un posible cambio o regeneración del aceite aislante en un periodo de 6 meses. Se sugiere realizar un análisis semestral, a fin de hacer un seguimiento y no permitir que este valor sobrepase a 0,5mgKOH/g aceite, que origina la formación de sedimento insoluble.

4.7.7.- Degradación Térmica y Eléctrica del Aceite Aislante Mineral.

El aceite mineral aislante posee diferentes centenas de cadenas de hidrocarburos, las mismas que debido a los esfuerzos térmicos y eléctricos se descomponen y disminuyen tornándose mas leves (menor peso atómico) en forma de gases, disolviéndose en el aceite.

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

5.1.- Especificaciones Generales Transformador.

Tensión: $210 \pm 10 \times 10\%$ / 62,3 / 10,3 KV.

Potencia: 60-75 / 60-75 / 25-30 MVA.

Grupo Conexión: Ynyn0 / Ynd11.

Frecuencia: 60 Hz.

Enfriamiento: ONAN / ONAF.

Calentamiento: 60 / 65 °C.

Altitud: 1000 m.s.n.m.

Aislamiento Interno (KV): AT 460 / 1050 BIL.
NAT 230 / 550 BIL.

Aislamiento Externo (KV): BT 140 / 325 BIL.
NBT 95 / 250 BIL.
Terc. 28 / 75 BIL.

Tension Cortocircuito: AT – BT (75MVA) 15.5%
AT – Terc. (30MVA) 9.0%
BT – Terc. (30MVA) 2.0%

5.2.- Pruebas realizadas.

- A. Medida de la Resistencia Óhmica de los Arrollamientos en Posiciones Nominal, Superior e Inferior del Conmutador de tomas. **(Tabla 5.1)**
- B. Comprobación de la Relación de transformación de los Arrollamientos en todas las posiciones del conmutador de tomas. **(Tabla 5.2)**
- C. Comprobación de la polaridad de los Arrollamientos con el Conmutador de tomas en posición nominal. **(Tabla 5.3)**
- D. Determinación de las pérdidas en vacío a tensión y frecuencia nominal con el conmutador de tomas en posición nominal. **(Tabla 5.4)**
- E. Medición del nivel de ruido sin y con los ventiladores en servicio. **(Tabla 5.5)**
- F. Medición de la Impedancia de Secuencia cero. **(Tabla 5.6)**
- G. Determinación de las pérdidas en carga y de la tensión de Cortocircuito a la intensidad nominal del transformador. **(Tabla 5.7)**
- H. Prueba de tensión Inducida (Tiempo Corto) y Aplicada. **(Tabla 5.8)**
- I. Prueba de tensión inducida (Tiempo largo con medidas descargas Parciales). **(Tabla 5.9)**
- J. Ensayo de calentamiento a Potencia nominal ONAN y ONAF. **(Tabla 5.10)**
- K. Prueba de Impulso AT/BT/ Terciario. **(Tabla 5.11)**
- L. Determinación de la capacitancia y fdp del aislamiento del Arrollamiento antes y después de las pruebas. **(Tabla 5.12)**

M. Análisis Físico – Químico y Cromatográfico del aceite aislante antes y después de las pruebas. **(Tabla 5.13)**

N. Medida de la Resistencia de Aislamiento. **(Tabla 5.14)**

O. Pruebas complementarias y accesorios de control. **(Tabla 5.15)**

A.- Tabla 5.1: Medida de la Resistencia Óhmica de los Arrollamientos en Posiciones Nominal, Superior e Inferior del Conmutador de tomas.

Bornes	<u>TENSIÓN</u>			<u>CORRIENTE</u>			<u>RESISTENCIA (r)</u>	
	Lectura	Cte.	Voltios	Lectura	Cte.	Amperios	Medida 20.6 °C	Calculada 21.0 °C
A.T. Pos 1.								
UU – VV	17.2600	1	17.2600	10.40	1	10.40	1.659615	
VV–WW	17.3600	1	17.3600	10.60	1	10.60	1.637736	
WW- UU	17.3600	1	17.3600	10.70	1	10.70	1.622440	
						PROM	1.639927	1.64293

A.T. Pos. 11B								
UU-VV	15.72	1	15.72	10.60	1	10.60	1.483019	
VV-WW	15.30	1	15.30	10.40	1	10.40	1.471154	
WW-UU	15.87	1	15.87	10.90	1	10.90	1.455963	
						PROM	1.470045	1.472346
A.T. Pos. 21								
UU-VV	17.39	1	17.39	10.40	1	10.40	1.672115	
VV-WW	17.45	1	17.45	10.60	1	10.60	1.646226	
WW-UU	17.34	1	17.34	10.65	1	10.65	1.628169	
						PROM	1.648837	1.651417

Bornes	TENSIÓN			CORRIENTE			RESISTENCIA (r)	
	Lectura	Cte.	Voltios	Lectura	Cte.	Amperios	Medida 20.6 °C	Calculada 21.0 °C
BT								
U-V	1.3760	1	1.3760	13.20	1	13.20	0.104242	
V-W	1.3820	1	1.3820	13.20	1	13.20	0.104607	
W-V	1.3780	1	1.3780	13.20	1	13.20	0.105191	
							PROM	0.104874
Terciario								
u-v	0.07520	1	0.07520	13.35	1	13.35	0.005633	
v-w	0.07560	1	0.07560	13.35	1	13.35	0.005663	
w-u	0.07470	1	0.07470	13.30	1	13.30	0.005617	
							PROM	0.005646

Instrumentos utilizados:

Voltímetro CC: VA-002, marca GOERZ, Tipo 244330, precisión +/-0.2 ; 0-500 V, No serie 866190.

Amperímetro CC: AP-001, marca H&B, tipo Fta 4, precisión +/- 0.5, serie 06524588.

B.- Tabla 5.2: Comprobación de la Relación de transformación de los Arrollamientos en todas las posiciones del conmutador de tomas.

Relación de transformación Primario-Secundario

POSICION DEL CONMUTADOR BAJO CARGA	ARROLLAM. PRIMARIO V1	ARROLLAM. SECUNDARIO V2	RELACION DE TRANSF.		ERROR DE RELACIÓN %			GRUPO
			TRANSF	PUENTE	BARRAS	BARRAS	BARRAS	
			V1/V2=r	CTE=0.2	U-V	V-W	W-V	
1	231000	623000	3.708	18.54	0.17	0.15	0.15	BIEN
2	228900	623000	3.674	18.37	0.37	0.35	0.3	BIEN
3	226800	623000	3.640	18.20	0.12	0.2	0.2	BIEN
.....	
.....	
11A	210000	623000	3.371	16.85	0.13	0.11	0.12	BIEN
11B	210000	623000	3.371	16.85	0.13	0.11	0.11	BIEN
11C	210000	623000	3.371	16.85	0.13	0.11	0.12	BIEN
.....	
.....	
19	193200	62300	3.101	15.51	0.04	0.02	0.02	BIEN
20	191100	62300	3.067	15.54	-0.02	-0.05	-0.05	BIEN
21	189000	62300	3.034	15.17	0.1	0.08	0.08	BIEN

Max Error mas menos 0.5% , Instrumento Utilizado Puente de Relacion AVO TK800

Relación de transformación Primario-Terciario

POSICION DEL CONMUTADOR BAJO CARGA	ARROLLAM. U1	ARROLLAM. U2	RELACION TRANSFORMADOR		ERROR DE RELACIÓN %			GRUPO
			TRANS	PUERTA	BARRAS	BARRAS	BARRAS	
			U1/U2x2/1.7321	CTE. = 2	U-V	V-W	W-U	
1	231000	10300	25.896	12.95	0.13	0.09	0.11	BIEN
.....	
.....	
11B	210000	10300	23.542	11.77	0.04	0.00	0.02	BIEN
.....	
.....	
21	189000	10300	21.188	10.59	-0.06	-0.10	-0.08	BIEN

Relacion de transformación Secundario-Terciario

ARROLLAM U1	ARROLLAM U2	RELACION TRANSFORMADOR		ERROR DE RELACIÓN %			GRUPO
		TRANS	PUERTA	BARRAS	BARRAS	BARRAS	
		U1/U2x2/1.7321	CTE. = 0.5	U-V	V-W	W-U	
62300	10300	6.984	13.97	-0.12	-0.12	-0.11	OK

C.- Tabla 5.3: Determinación de las pérdidas en vacío a tensión y frecuencia nominal con el conmutador de tomas en posición nominal.

(Alimentado x el bobinado terciario; bornes u,v,w; Unom:10,3 KV; frec= 60 Hz)

%	Tension	VALORES MEDIDOS				RESUMEN			
		Corriente (A)			Potencia	Corriente (Amp)		Pérdidas (W)	
		lu	lv	lw	(W)	Medida	Garantizada	Medida	Garantizada
Unon	(V)								
90									
95	9785	4.256	3.858	4.494	42806	4.203	.....	42806	.....
100	10300	5.682	5.166	5.788	47305	5.545	.....	47305	42500
105	10815	7.276	6.786	7.248	54637	7.103	.....	54637	.....
110									

Instrumentos
Utilizados:

Vatímetro monofasico YEW WP-002 / WP-004 / WP-007 /
WP-008 modelo 2504, 0-300V, 0-10A, 47-65Hz, clase
precision +/-0.25%
Multímetro marca BBC Goerz , modelo Unigor A41 MU-
003 , clase +/-0.5%, 0-1000V y 0-6A,

D.- Tabla 5.4: Medición del nivel de ruido sin y con los ventiladores en servicio.*** Detalles del Transformador**

MVA: 60 / 75, Nivel de Tensión: 210/62.3/10.3, Grupo: YNyn0 / YNd11

*** Detalles del Instrumento de Medida**

Marca: Simpson; Tipo: 899-2; Tipo de Micrófono: TYPE - HOLDER.
 Calibrador del Instrumento y micrófono: Calibrador Simpson Tipo 886.

Condiciones de Prueba

Voltaje de Excitación: 10.3 KV; Frecuencia: 60HZ; Pos. Conm (tap): 11B

Transf. con ventiladores: Si NO

Posición	dB			Posición	dB		
	1	2	3		1	2	3
1	75	.....	72	13	73		71
2	71	.....	70	14	73		72
3	.....	.....	.....	15	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....	16	.....	.....	.....
5	.....	.....	.....	17	.....	.....	.....
6	.....	.....	.....	18	.....	.....	.....
7	.....	.....	.....	19	.....	.....	.....
8	.....	.....	.....	20	.....	.....	.....
9	.....	.....	.....	21	.....	.....	.....
10	70.5	.....	72	22	.....	.....	.....
11	75	.....	72	23	.....	.....	.....
12	72	.....	71	24	.....	.....	.....

Promedio lectura. 0,30 mt **con los Ventiladores Apagados.** 1) 1/3 Altura.Y

3) 2/3 de Altura / Ruido de Fondo: Antes de las medidas: 65 dB. Después de las medidas 65 dB

1	2	3
73.1		71.8

Luego lectura. 2,00 mt **con los Ventiladores Encendido.** 1) 1/3 Altura.Y

3) 2/3 de Altura / Ruido de Fondo: Antes de las medidas: 65 dB. Después de las medidas 65 dB

1	2	3
76.7		76.8

E.- Tabla 5.5: Medición de la Impedancia de Secuencia Cero.***AT - Terciario***

Potencia Base = 25MVA	6.142% (Pos1)	6.056% (Pos11B)	6.143%(Pos21)
Potencia Base = 30MVA	7.369% (Pos1)	7.272% (Pos11B)	7.366%(Pos21)

BT - Terciario

Potencia Base = 25MVA	1.716%
Potencia Base = 30MVA	2.059%

Instrumentos Utilizados: YEW WP-002 / WP-004 / WP-007 / WP-008

F.- Tabla 5.6: Determinación de las pérdidas en carga y de la tensión de Cortocircuito a la intensidad nominal del transformador.

* Entre AT - BT; Potencia Base = 60MVA

POSICIÓN	PÉRDIDAS 21°C (KW)	PÉRDIDAS 75°C (KW)	Impedancia Medida (%)		Garantías a 75°C	
			Z 21°C	Z 75°C	PÉRDIDAS (KW)	Z (%)
CONMUTADOR						
1	123.384	141.941	12.230	12.231	---	---
11B	133.176	151.836	11.787	11.788	---	---
21	154.226	178.144	11.559	11.560	---	---

* Entre AT - BT, Potencia Base = 75MVA

POSICIÓN	PÉRDIDAS 21°C (KW)	PÉRDIDAS 75°C (KW)	Impedancia Medida (%)		Garantías a 75°C	
			Z 21°C	Z 75°C	PÉRDIDAS (KW)	Z (%)
CONMUTADOR						
1	192.787	221.787	15.287	15.288	---	---
11B	208.088	237.243	14.733	14.734	258	15.5
21	240.978	278.349	14.449	14.450	---	---

* Entre AT - Terciario, Potencia Base = 25MVA

POSICIÓN	PÉRDIDAS	PÉRDIDAS	Impedancia Medida (%)		Garantías a 75°c	
			Z 21°C	Z 75°C	PÉRDIDAS	Z (%)
CONMUTADOR	21°C (KW)	75°C (KW)			(KW)	
1	35.089	39.077	7.382	7.382	---	---
11B	35.657	39.885	7.150	7.150	---	---
21	40.145	45.115	6.943	6.943	---	---

* Entre AT - Terciario, Potencia Base = 30MVA

POSICIÓN	PÉRDIDAS	PÉRDIDAS	Impedancia Medida (%)		Garantías a 75°c	
			Z 21°C	Z 75°C	PÉRDIDAS	Z (%)
CONMUTADOR	21°C (KW)	75°C (KW)			(KW)	
1	50.502	56.249	8.856	8.857	---	---
11B	51.395	57.431	8.584	8.585	66	---
21	57.759	64.924	8.328	8.329	---	---

* Entre BT - Terciario, Potencia Base = 25MVA

POSICIÓN	PÉRDIDAS 21°C (KW)	PÉRDIDAS 75°C (KW)	Impedancia Medida (%)		Garantías a 75°C	
			Z 21°C	Z 75°C	PÉRDIDAS (KW)	Z (%)
CONMUTADOR	26.76	31.744	1.696	1.697	---	---

* Entre BT - Terciario, Potencia Base = 30MVA

POSICIÓN	PÉRDIDAS 21°C (KW)	PÉRDIDAS 75°C (KW)	Impedancia Medida (%)		Garantías a 75°C	
			Z 21°C	Z 75°C	PÉRDIDAS (KW)	Z (%)
CONMUTADOR	38.524	45.704	2.034	2.036	44.5	---

G.- Tabla 5.7: Prueba de tensión Inducida (Tiempo Corto) y Aplicada.

H.- Tabla 5.8: Prueba de tensión inducida (Tiempo largo con medidas descargas Parciales).

1) Ensayo Tensión Aplicada con fuente Independiente / a 60 HZ; 1min.

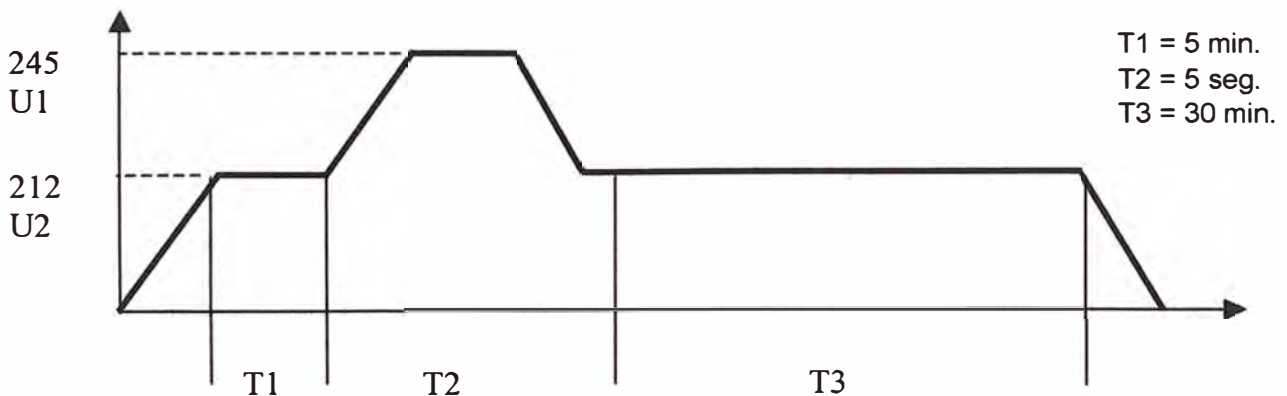
Bobinado	(KV) Tensión	Resultado
Prueba	Aplicada	
Alta Tensión	----	----
Media Tensión	----	----
Baja Tensión	28	Bien

2) Ensayo Tensión Inducida de **Corta Duración** Fase - Fase

Tension c/Fase AT a tierra :	460 KV
Tension c/Fase BT a tierra :	140 KV
Frecuencia :	120 Hz
Duración :	60 Seg

3) Ensayo Tensión Inducida de **Larga Duración** con medidas de Descargas Parciales a 120HZ

Posición del Conmutador de AT :	Pos 11B
Tensión Aplicada al Bobinado Terciario :	16400 / 18900 V
Tensión Fase AT a Tierra	212000 / 245000 V
Descargas Parciales entre los minutos 29 y 30 :	85 pc



Instrumentos utilizados:

Vatímetro YEW WP-001 . Medidor de Descargas Parciales MESS WANDLER.

Osciloscopio de Doble Canal BK Precisión.

J.- Tabla 5.10: Ensayo de calentamiento a Potencia nominal ONAN y ONAF.

Prueba Calentamiento ONAN

1. Potencia Disipada.

	AT/BT (60MVA)	AT/Terc. (25MVA)
Pérdidas en el Fierro °C	47,305 W	47,305 W
Pérdidas en el Cu 75 °C	151,836 W	39,885 W
	199,141 W	87,190 W

2. Calentamiento Aceite Superior, a 1000 m.s.n.m

Sobre la Temperatura Ambiente	41.0 °C	22.3 °C
-------------------------------	---------	---------

3. Calentamiento de los Arrollamientos.

Sobre la Temperatura Ambiente, a Intensidad nominal, a 1000 m.s.n.m

Baja Tensión	49.0 °C	---
Alta Tensión	49.6 °C	---
Terciario	---	29.9 °C
Temperatura Ambiente = 20 -25 °C		

Prueba Calentamiento ONAF

1. Potencia Disipada.

	AT/BT (75MVA)	AT/Terc. (30MVA)
Pérdidas en el Fierro °C	47305 W	47305 W
Pérdidas en el Cu 75 °C	237243 W	57431 W
	284548 W	104736 W

2. Calentamiento Aceite Superior, a 1000 m.s.n.m

Sobre la Temperatura Ambiente	33,9 °C	14,6 °C
-------------------------------	---------	---------

3. Calentamiento de los Arrollamientos

Sobre la Temperatura Ambiente, a Intensidad nominal, a 1000 m.s.n.m

Baja Tensión	49.9 °C	---
Alta Tensión	51.2 °C	---
Terciario	---	26.2 °C
Temperatura Ambiente = 20 -23 °C		

Prueba de Calentamiento ONAN

Fases	3	KVA	AT 60000	BT 60000	Terc. 25000
Tipo	TD3LF	V	210000	62300	10300
Conexión	Grupo	A	164,9	556,0	1401,3
AT-BT	YNyn0				
AT-Terc.	Ynd11				

1. Potencia Disipada.

	AT/BT (60MVA)	AT/Terc. (25MVA)
Pérdidas en el Fierro	47305 W	47305 W
Pérdidas en el Cobre a 75 °C	151836 W	39885 W
	199141 W	87190 W

2. Calentamiento del Aceite Superior, a 1000 m.s.n.m

Sobre la Temperatura Ambiente	41 °C	22.3 °C
-------------------------------	-------	---------

3. Calentamiento de los Arrollamientos

Sobre la Temperatura Ambiente, a Intensidad nominal, a 1000 m.s.n.m

Baja Tensión	49.0 °C	---
Alta Tensión	49.6 °C	---
Terciario	---	29.9 °C

Prueba realizada a Temperatura Ambiente = 20 -25 °C, IEC - 76 Norma.

Prueba de Calentamiento ONAF

Fases	3	KVA	AT 75000	BT 75000	Terc. 30000
Tipo	TD3LF	V	210000	62300	10300
Conexión	Grupo	A	206.2	695	1681.6
AT-BT	YN yn0				
AT-Terc.	Yn d11				

1. Potencia Disipada

	AT/BT (75MVA)	AT/Terc. (30MVA)
Pérdidas en el Fierro	47305 W	47305 W
Pérdidas en el Cobre a 75 °C	237243 W	57431 W
	284548 W	104736 W

2. Calentamiento del Aceite Superior, a 1000 m.s.n.m

Sobre la Temperatura Ambiente	33.9 °C	14.6 °C
-------------------------------	---------	---------

3. Calentamiento de los Arrollamientos

Sobre la Temperatura Ambiente, a Intensidad nominal, a 1000 m.s.n.m.

Baja Tensión	49.9 °C	
Alta Tensión	51.2 °C	
Terciario		26.2 °C

Prueba realizada con Temperatura Ambiente

20 a 23 °C.

* IEC - 76

Norma

K.- Tabla 5.11: Prueba de Impulso AT/BT/ Terciario.

POTENCIA: 60/75 MVA, TENSION: 210/62.3/10.3 KV, GRUPO: YNyn0/YNd11, 60HZ								
1. PRUEBA SEGÚN NORMA.....CEI Pub76								
Secuencia				Tolerancia de Tiempos				
1	2	Ondas reducidas						
2	.....	Onda cortada reducida			Frente + / - 30%			
3	2	Ondas cortadas plenas			Cola + / - 20%			
4	3	Ondas plenas			Corte entre 2 : 6 seg			
2. VALORES DE PRUEBA								
AT	1050	KV	BT	325	KV	Terc.	75	KV
3. CIRCUITO DE PRUEBA			SEGÚN Pag. N°					
.....								
.....								
4. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA								
Según Norma CEI Pub 52 con esferas de 500 mm de diámetro								
Divisor de tensión capacitivo, de las siguientes relaciones:								
AT : 1329								
BT : 889								
Terc. : 449								
Instrumento conectado a la salida del divisor de tensión:								
* Oscilógrafo de Impulso HAEFELY tipo E441 serie N° 72-080003-19-76								
5. RESULTADOS DE LA PRUEBA								
Formas de Onda								
AT	1.5 /	45 us;	NAT	...../	.....	us		
BT	1.3 /	30 us;	NBT	...../	.....	us		
Terc.	1.2 /	50 us;	NMT	...../	.....	us		
6. CONCLUSIÓN								
El examen de todos los oscilogramas e corriente y tensión y su comparación con los primeros oscilogramas de referencia de las pruebas de cada fase en particular muestran que no ha habido <i>ningún cambio en las ondas salvo amplitud</i> . Por lo tanto se considera que el transformador ha pasado satisfactoriamente las pruebas.								

L.- Tabla 5.12: Determinación de la capacitancia y fdp del aislamiento del Arrollamiento antes y después de las pruebas.

		<u>Condiciones Ambientales de Prueba</u>						
Humedad: 62%		Temperatura del Aire						
		Temperatura del Aceite						
<u>Resultado de las Mediciones</u>								
Bobinados en Prueba	Cktos Usados	V V	mA	Watts	% PF medido	Factor de Corrección	% PF Correg.	Capacitancia medida
CH + CHL	GAR-B	10	42.58	1,22	0,29	1,00	0,29	11295 pF
CH	GAR-RB	10	18.77	0,53	0,28	1,00	0,28	4981.3 pF
CHL	UST-R	10	23.81	0,691	0,29	1,00	0,29	6313.7 pF
CL + CLT	GAR-B	10	57.7	1,927	0,33	1,00	0,33	15307 pF
CL	GAR-RB	10	8.028	0,342	0,43	1,00	0,43	2129.4 pF
CLT	UST-R	10	49.67	1,584	0,32	1,00	0,32	13176 pF
CT + CTH	GAR-B	5	64.4	2,200	0,34	1,00	0,34	17082 pF
CT	GAR-RB	5	64.01	2,182	0,34	1,00	0,34	16979 pF
CTH	UST-R	5	0.389	0,018	0,45	1,00	0,45	103.2 pF
Line Configuración: 10KV; Line Frequency modulation: 60HZ								
Nota 1: Prueba realizada antes de las Pruebas Dieléctricas								
Equipo utilizado: Analizador de Aislamiento Doble M4000								
Nota 2: También se realiza la Prueba después de las Pruebas Dieléctricas								

M.- Tabla 5.13: Análisis Físico-Químico y Cromatográfico del aceite aislante antes y después de las pruebas.

Informe de Ensayo Físico- Químico (Análisis aceite aislante antes de las Pruebas Eléctricas finales)				
Análisis del Aceite antes de las Pruebas Eléctricas			Resultados	Val. Orientacion
Indice neutralización: ASTM D-974			<0,01 mg KOH/g aceite	0,03 max.
Rigidez Dieléctrica: ASTM D-1816			70 KV / 2.0 mm	52 min.
Tensión Interfacial: ASTM D-971			39 mN / m	30 min.
Contenido de H2O Fisher: ASTM D-1533			10 ppmp	15 max.
Informe de Ensayo Cromatográfico: (Análisis de gases disueltos en aceite aislante antes de las Pruebas Eléctricas finales)				
			Resultados(ppmv)	
Gases analizados:	Hidrógeno (H2)		3	
	Oxígeno (O2)		1000	
	Nitrógeno (N2)		3000	
Norma Analisis	Metano (CH4)		ND	
ASTMD 3612-85	Mon. Carbono(CO)		ND	
	Diox. Carbono(CO2)		12	
	Etileno (C2H4)		ND	
	Etano (C2H6)		ND	
	Acetileno (C2H2)		ND	
	Total Gases Combustibles		3	
	Total Gases General		4015	
ND: No Detectado.				
Norma Analisis: ASTM D 3612-85				
Norma Diagnóstico: IEC599				
También se efectúa:		Análisis gases disueltos aceite después de las Pruebas. Análisis aceite después de las Pruebas.		

N.- Tabla 5.14: Medida de la resistencia de aislamiento**O.- Tabla 5.15: Pruebas Complementarias y Control de Accesorios**

- 1) Control Cableado Accesorios _____ OK
- 2) Funcionamiento Accesorios Trafo
 - Relé Bucholz _____ OK
 - Relé Protección del Conmutador bajo carga ___ OK
 - Valv. Seguridad (3 Piezas) _____ OK
 - Indicador nivel aceite Transformador. _____ OK
 - Indicador nivel aceite conmutador _____ OK
 - Indicador temperatura aceite AKM _____ OK
 - Indicador relé Imagen térmica AT/BT _____ OK
 - Polaridad transf. Corriente _____ OK
 - Sensor de temperatura PT100 _____ OK

Medida Aislamiento con Megger - (5 KVdc)

AT – BT = 3000 Mohms
 AT – Terc = 2500 Mohms
 BT – Masa = 600 Mohms

AT – Masa = 1000 Mohms
 BT – Terc. = 1000 Mohms
 Terc – Masa = 500 Mohms

- Pruebas en el panel de regulación de tensión _____ OK
- Pruebas conmutador baja carga _____ OK
- Pruebas baterías de los ventiladores _____ OK
- Prueba de hermeticidad _____ OK

Instrumentos Utilizados: - Multímetro Unigor A41 MU-003.
 - Megohmetro Megabrass 5 KVdc.

CONCLUSIONES.

- 1.- La medida de la resistencia del devanado primario promedio fue 1.470045 ohmios a 20.6°C en la posición 11B, la medida de la resistencia del devanado secundario promedio fue 0.10468 ohmios a 20.6°C y la medida de la resistencia del devanado terciario promedio fue 0.005628 ohmios a 20.6°C. Dichos valores corresponden a sus valores de diseño respectivos 1.472346 en el devanado primario, 0.104874 en el devanado secundario y 0.005646 en el devanado terciario.
- 2.- Los errores de relación de transformación de los arrollamientos son considerables debido a la clase de precisión de los transformadores de tensión (clase de precisión 0.2%) y corriente empleados para los equipos y el puente de medición.
- 3.- Las pérdidas en vacío medidas a la tensión, frecuencia y posición nominal, con alimentación por el bobinado terciario de 10,3 KV es de 47,305W. Las pérdidas en vacío garantizadas en las citadas condiciones son de 42,500W, y representan un +10.16% de error con una tolerancia admisible de +15%.
- 4.- Se efectuó la medición del nivel de ruido para las etapas de funcionamiento ONAN y ONAF, para el desarrollo de las mismas se colocó un micrófono a 1/3 y 2/3 de la altura, a una distancia horizontal del transformador de 0.30 m. y 2 m. con el ventilador apagado y encendido respectivamente. Los valores medidos para todas las posiciones están dentro del rango establecido por la norma CEI 551 de 88 dB para transformadores de potencia de 60/70MVA.
- 5.- Los valores medidos de la impedancia de secuencia cero para AT-Terciario en la posición 11B son de 6.056%(25MVA) y 7.272%(30MVA). Para BT-Terciario los valores medidos de la impedancia homopolar en la posición 11B son de 1.716%(25MVA) y 2.059%(30MVA). con el ventilador apagado y encendido respectivamente.

- 6.- Para la medición de pérdidas en el cobre y de la tensión de cortocircuito, los valores obtenidos a 21°C para las combinaciones AT-BT, AT-terciario y BT-terciario se corrigen a la temperatura según IEC 75°C. Dichos valores medidos están por debajo de lo garantizado por el fabricante, por lo que no hay ningún inconveniente.
- 7.- Se realiza la prueba de tensión inducida (tiempo corto), la prueba de tensión aplicada, y la prueba de tensión inducida con medidas de descargas parciales, con resultados satisfactorios que demuestran una buena de fabricación que a su vez garantice un eficiente funcionamiento de acuerdo a las condiciones de diseño. Entre los procedimientos efectuados: Se aplico una tensión de 28KV a 60Hz de tensión al devanado terciario 10,3KV a tierra (Aplicada), se aplico una tensión c/fase AT a tierra de 460KV y de c/fase BT a tierra de 140KV a 120Hz, con una duración de 60 segundos (Inducida de corta duración), se aplico tensión al bobinado terciario entre 16,4/18,900 KV y una tensión fase AT a tierra entre 212 / 245KV encontrándose descargas parciales entre los minutos 29 y 30 de 85pc.
- 8.- Para el ensayo de calentamiento ONAN realizados a una temperatura ambiente de 20-25°C, se obtienen valores de calentamiento del aceite superior como de calentamiento de los devanados que se encuentran dentro de los valores permisibles, y que garanticen la entrega de la potencia completa con las perdidas garantizadas.
- 9.- Para la prueba de impulso AT/BT/Terciario se establece como valores de prueba AT 1050 KV, BT 325 KV y Terc 75KV. Se obtuvo como resultados formas de onda en AT de 1.5 / 45 us; en BT de 1.3 / 30 us y Terc de 1.2 / 50 us. El examen de todos los oscilogramas de corriente y tensión, y su comparación con los primeros oscilogramas de cada fase en particular muestran que no hubo cambio alguno en las ondas salvo amplitud. Por lo tanto se considera que el transformador ha pasado satisfactoriamente las pruebas.

- 10.- Los valores arrojados en el análisis físico-químico del aceite antes y después de las pruebas, están dentro de los valores de orientación de acuerdo a las Normas ASTM. Igualmente los resultados arrojados en el análisis de gases disueltos en el aceite antes y después de las pruebas, muestran valores dentro de lo que la misma Norma contempla.

- 11.- Se efectúan las pruebas complementarias de control de accesorios, para verificar el correcto desempeño de los mismos con el transformador en servicio. Se efectúa una inspección del cableado de los accesorios, el funcionamiento de los accesorios del transformador tales como el relé buholz, el relé de protección del conmutador bajo carga, las válvulas de seguridad, los indicadores de nivel de aceite del transformador como del conmutador, temperatura del aceite AKM, relé de imagen térmica AT/BT, la polaridad de los TCs, los sensores de temperatura PT100. Además, las pruebas en el panel de regulación de tensión, en el conmutador bajo carga, en el tablero de control de ventiladores, como prueba de hermeticidad.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- American National Standard Institute**, "IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers", IEEE Std C57.12.90-1993.
- 2.- American National Standard Institute**, Publicación C57.12.00, 1993, pags. 42 a 45.
- 3.- International Electrical Committee**, Publicación IEC 76-1, 1993., pags. 63 a 73.
- 4.- ABB Service**, Articulo "Análisis de aceites aislantes en el mantenimiento de transformadores".
- 5.- Cigré Comité Mexicano**, Articulo "Experiencias en el desarrollo de sistemas de monitoreo y diagnostico para transformadores de potencia", Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2001.
- 6.- León Ojeda Jaime**, Articulo "Nuevas tendencias en el Aislamiento de transformadores".