

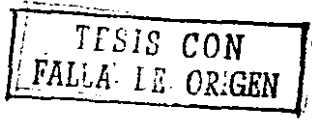
870117

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA DE INGENIERIA

21 ²
Ejemplar



"Puesta en servicio de un autotransformador de potencia 230/115 13.8 kv., 25/33.3 mva, de la subestación Santiago II".

TESIS PROFESIONAL

que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:

JOSE LUIS HERNANDEZ HERNANDEZ



FAC. ING. MEC. ELEC.

GUADALAJARA, JALISCO

DICIEMBRE DE 1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	PAG.
CAPITULO I.- Generalidades	2
1.- Introducción	2
2.- Conceptos y Principios Generales	4
Definiciones	9
Ley de Lenz	12
Principio de Conducción Eléctrica	12
Circuito Equivalente y Diagrama Vectorial	21
Ventajas y Desventajas en el Uso de Autotransformadores de Potencia.	33
3.- Objetivos	39
4.- Antecedentes	40
Características Principales de la Subestación	43
Datos de Placa del Autotransformador	44
Descripción del Autotransformador	49
CAPITULO II.- Preparación del Autotransformador	75
1.- Preparación para la Puesta en Servicio	75
a) Recepción	76
b) Inspección Externa e Interna	79
c) Reparación de Daños	84
d) Armado, Chequeo y Corrección de Fugas	85
2.- Pruebas de Campo Preliminares	95
Técnica General de las Pruebas	96
a) Factor de Potencia	97
b) Prueba de Resistencia de Aislamiento	125
c) Pruebas de Relación de Transformación y Polaridad a Devanados	148
d) Prueba de Corriente de Excitación	156
e) Pruebas de Polaridad de Transformación y Polaridad	162
3.- Humedad Residual en Aislamiento Sólidos del Autotransformador	177
Métodos para Determinar la Humedad Residual	180
4.- Métodos de Secado	188
Objetivo	188

	PAG.
Métodos de Secado para Transformadores de Potencia	189
a) Calor por Corriente de Cortocircuito	190
b) Calor con Aceite Caliente	191
c) Calor por Vapor de Vacío	191
d) Calor por Aire Caliente	192
e) Secado con Alto Vacío Auxiliando con Calentamiento Simultáneo por medio de Atomización de Aceite Caliente	195
Selección del Método de Secado	196
Aplicación del Método de Secado por Calor de Alto Vacío	197
Selección de la Bomba	199
Tubería de Alto Vacío	206
Reforzador Mecánico (BOOSTER)	206
Trampas Frías para Condensación de Humedad	207
Medición de Vacío	210
Medición de Temperaturas	211
Medición del % de Humedad	212
Recomendaciones para la Supervisión y Control del Proceso	213
Proceso de Secado al Autotransformador en Estudios	214
 CAPITULO III.- Aceites Aislantes.	 226
1.- Características del Aceite Aislante	227
2.- Pruebas de Campo	235
3.- Acondicionamiento del Aceite y Llenado del Autotransformador de Potencia.	260
Objetivo	260
Procedimientos para el Tratamiento del Aceite Aislante	262
Recomendaciones para el Tratamiento del Aceite	267
Recomendaciones para el Muestreo del Aceite	268
Equipo de Desgasificación y Deshidratación	271
Proceso de Acondicionamiento y Llenado	276
 CAPITULO IV.- Puesta en Servicio	 281
1.- Pruebas de Campo Finales al Autotransformador	282
a) Factor de Potencia a Devanados y Boquillas	283
b) Resistencia de Aislamiento a Devanados y Boquillas	286
c) Pruebas de Relación de Transformación y Polaridad a Devanados.	289
d) Prueba de Corriente de Excitación	290

e) Resistencia Ohmica a Devanados	293
f) Impedancia a Devanados	299
Otras pruebas	305
2.- Pruebas y Ajustes Finales al Equipo Accesorio	306
3.- Arreglos Finales	328
4.- Puesta en Operación	330
CAPITULO V.- Conclusiones	333
CAPITULO VI.- Bibliografía	340

CAPITULO I.- GENERALIDADES.

1.- INTRODUCCION

2.- CONCEPTOS Y PRINCIPIOS GENERALES

3.- OBJETIVO

4.- ANTECEDENTES

CAPITULO I.- GENERALIDADES.

1.- INTRODUCCION.

En México, al igual que en todos los Países del orbe, la evolución de los sistemas eléctricos constituyen una base primordial en su crecimiento Industrial, así como un medio para el mejoramiento de sus niveles de vida, económica, social y cultural.

Así pues, la importancia del desarrollo de la Industria Eléctrica Nacionalizada en México, es sumamente grande y prioritaria.

Nuestro País crece en una forma acelerada. En la capital de la República el desarrollo en los últimos años ha sido dramático y espectacular, mientras tanto la Provincia comienza a recibir los impulsos de la descentralización Industrio-Económico, social y cultural.

Es así, como la Industria Eléctrica Nacionalizada, actualmente fundamento de este desarrollo en gran medida, deberá ir siempre a la vanguardia, ya que la urbanización é industrialización en México imponen al sector eléctrico el deber de incrementar su capacidad para contrarrestar grandes demandas de energía.

El descubrimiento de nuevas fuentes de energía, su transporte de un lugar a otro y la conversión de la misma en la forma más útil, son partes esenciales de nuestra economía Industrial.

El aumento progresivo en la productividad aunado al crecimiento de la población, impone necesidades de energía cada vez mayores. Esto a su vez, imponen una trascendencia importante en el suministro de dicha energía y por consecuencia toda deficiencia en su disponibilidad, trae consigo perjuicios que se traducen en pérdidas económicas, tanto para los consumidores, como para la Empresa Distribuidora.

El crecimiento de las cargas generalmente no está bajo control y es función de la planeación, el predecir la demanda futura con la mayor precisión posible, para así disponer de plantas generadoras bien situadas y de un sistema tanto de transmisión como de distribución flexible, confiable y bien coordinado para suministrar la demanda requerida.

La planeación a un sistema eléctrico deberá tomar en cuenta: Las capacidades, tensiones y limitaciones en la regulación, con fiabilidad del servicio, requerimientos estéticos y constructivos y desde luego flexibilidad.

La flexibilidad es de suma importancia, ya que los sistemas de electricidad deberán ser adaptables a futuros cambios provocados por las variaciones en la demanda y a la variación de la tecnología.

El tema elegido para esta tesis, tratará sobre la puesta en servicio de uno de los más importantes elementos de un sistema eléctrico, como lo es un autotransformador de potencia con terciario, de la Subestación Santiago II, que se pondrá en operación para dar al sistema interconectado de la Región de Transmisión Norte, mayor Confabilidad en el suministro de energía, a una de las Zonas Mineras y Madereras más importantes del Norte del País.

Este equipo forma parte del Banco de Transformación, de la Subestación reductora de 230 a 115 KV, constituida por 3 autotransformadores monofásicos y uno más para reserva, conectados en alta en estrella, en baja en estrella y el terciario en delta.

Esta instalación vendrá a mejorar el servicio eléctrico a la región, así como, darle al sistema la flexibilidad necesaria, para enfrentar las posibles contingencias.

2.- CONCEPTOS Y PRINCIPIOS GENERALES.

Para el empleo de la Energía Eléctrica cualquiera que sea su aplicación: Industrial, Comercial ó Residencial, toman parte una gran cantidad de personal especializado y un enorme número de máquinas, equipo y dispositivos eléctricos.

Al conjunto de equipo, máquinas, dispositivos y accesorios eléctricos, que tienen como fin la generación, distribución y utilización de la Energía Eléctrica lo denominamos "SISTEMA ELECTRICO".

La forma más simple de un sistema eléctrico, estaría principalmente constituido por el elemento generador, transportador, distribuidor de la Energía Eléctrica, (ver Fig. 1.1) y los consumidores.

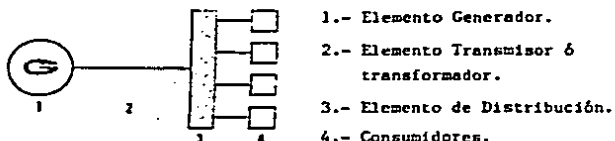


Fig. 1.1. FORMA SIMPLE DE UN SISTEMA ELECTRICO Y SUS ELEMENTOS — PRINCIPALES.

Las plantas generadoras se encargan de la conversión de la energía proveniente de los puntos primarios, (Agua, Petróleo, Gas, Carbón, Uranio, Etc.), en energía eléctrica. Esto se logra por medio de — distintos métodos como son: Hidráulicos, térmicos, Turbogás, Ciclos Combinados, Nucleares, Etc., con ayuda de los convertidores de — energía como lo son: calderas, turbinas alternadores y muchas más.

Las líneas de transmisión son los eslabones que conectan todas las plantas generadoras con los sistemas de distribución, haciendo la labor de elementos transportadores de la energía.

El sistema de distribución conecta todas las cargas individuales en el área determinada, alimentándolas con energía proveniente de las Líneas de Transmisión.

En las Centrales de Generación, los voltajes son por razones técnicas (enfriamiento, aislamiento, tamaño, etc), relativamente bajos (generalmente hasta 25 Kv).

Resultaría entonces absolutamente antieconómico, transportar grandes bloques de Energía a enormes distancias, a las tensiones de generación, ya que las caídas de voltaje y las pérdidas por efecto Joule ($I^2 R$) serían excesivas.

La forma substancialmente más económica para transportar estos bloques de Energía sobre grandes distancias es empleando altos voltajes.

Entonces, en los centros generadores, deberá elevarse el voltaje a un nivel convencional para la transmisión de Energía, así como también, en los centros de consumo ó receptores, deberá reducirse al valor conveniente para su empleo.

Esta importante misión la componen las denominadas SUBESTACIONES ELECTRICAS, que son tan sólo uno de los miembros, que toman parte en el proceso de generación-consumo de electricidad.

Entonces definiremos:

SUBESTACIONES ELECTRICAS: Son un conjunto interconectado de equipo y dispositivos eléctricos, cuyo fin es el de variar los parámetros de la potencia y mantenerlos dentro de ciertas características específicas.

Podemos clasificar a las Subestaciones de acuerdo a la función que desempeñan, de la manera siguiente:

- a).- Subestaciones de Centrales Generadoras.
- b).- Subestaciones Principales ó receptoras primarias.
- c).- Subestaciones Receptoras Secundarias.

a).- SUBESTACIONES DE CENTRALES GENERADORAS.

Son Subestaciones elevadoras que nos permiten modificar los parámetros de la potencia, de tal forma que ésta pase de los centros de generación (entre 4 y 25 KV), a la línea de transmisión (de 69 a 400 KV), para la transportación de la Energía Eléctrica.

b).- SUBESTACIONES PRINCIPALES O RECEPTORAS PRIMARIAS.

Son Subestaciones alimentadas directamente por líneas de Transmisión; se encargan de la reducción del voltaje de Suministro, a valores estandarizados para la alimentación de redes de distribución o sistema de Subtransmisión (Generalmente de 400, 230 a 115, 34.5, 13.8 K. etc.).

c).- SUBESTACIONES RECEPTORAS SECUNDARIAS.

Subestaciones reductoras, que reciben la potencia de las redes de subtransmisión y cuya función es la de ser fuentes de alimentación a las redes de distribución (Generalmente de 115, 69 a 34.5, 13.8, 6.6 KV. etc.).

Un diagrama elemental del proceso de generación-consumo y sus partes integrantes, sería como el indicado en la figura, (ver Fig. 1.2).

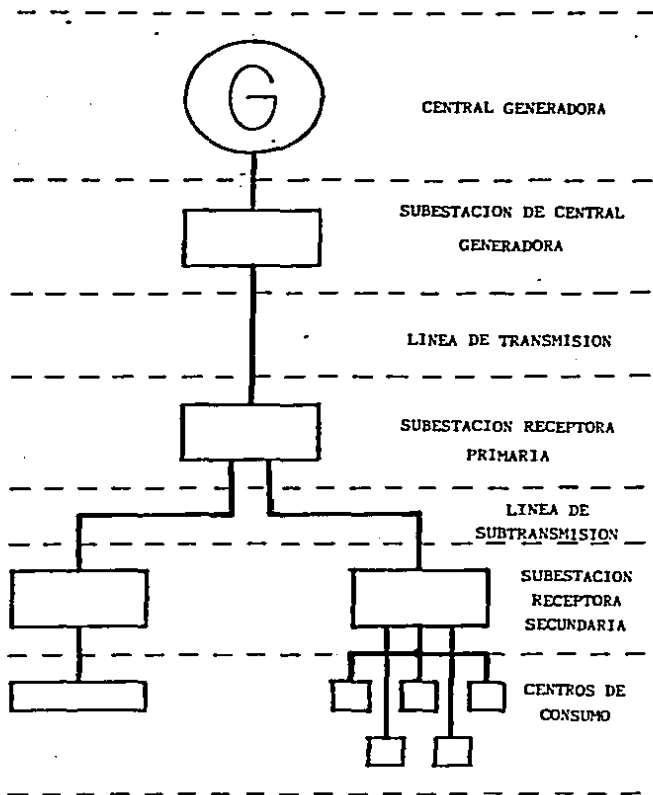


FIG. 1.2 DIAGRAMA ELEMENTAL DEL PROCESO DE GENERACION - CONSUMO CON SUS ELEMENTOS PRINCIPALES.

Los requisitos fundamentales que deberán cumplir todas instalaciones eléctricas serán por mencionar algunos:

- a).- Conservar la continuidad en el suministro de energía eléctrica.
- b).- Conservar dentro de los rangos normalizados los parámetros de la potencia, como lo son: Voltajes y Frecuencia.
- c).- Establecer esquemas de Protección selectiva, para aislar del circuito o sistema eléctrico únicamente la parte dañada.
- d).- Cumplir con los requisitos de seguridad e higiene para el personal.
- e).- Una vida útil redituable a la inversión hecha.

Los elementos principales de una Subestación son:

- 1).- Banco de Transformación.
- 2).- Equipo Interruptor, (Interruptores de Potencia, Circuit Switcher, Restauradores, etc.).
- 3).- Cuchillas, (Desconectadoras, Seccionadoras, By Pass, Fusibles, de pruebas, etc.).
- 4).- Transformadores para instrumento, (de potencial, de corriente y dispositivos de potencial tipo capacitivo).
- 5).- Tableros de protección, medición, control y servicios propios.
- 6).- Banco de baterías y cargadores.
- 7).- Apartarrajos.
- 8).- Capacitores, (serie o paralelo).
- 9).- Equipo auxiliar y/o secundario, (como lo son: cables de control, cables de potencia, cables de alumbrado, caseta de control, trincheras, ductos y drenes, estructuras metálicas, conectores y herrajes, sistemas de comunicación, cercas delimitadoras, nomenclaturas, avisos de seguridad, etc.).

Nos ocuparemos únicamente en este trabajo, del elemento inicial, que es el "Banco de Transformación", que en nuestro caso es - "Banco de Autotransformadores, para ir tomando el curso del tema

que nos ocupará.

Todos los equipos o elementos de una Subestación de Potencia, tienen una función específica que cumplir y cada uno tiene su importancia de acuerdo a la ubicación que guarda en la instalación.

El transformador es el equipo más importante de una Subestación de Potencia, ya que es el que transfiere la energía de un circuito a otro, siendo a la vez el más costoso en relación a los demás. Los hay monofásicos, trifásicos, tanto en el tipo auto-transformador como transformador.

DEFINICIONES .

TRANSFORMADOR: Es un dispositivo o máquina eléctrica estática, que funciona bajo el principio de la inducción electromagnética. Con sus circuitos magnéticamente eslabonados pero eléctricamente aislados; capaz de transferir la potencia eléctrica de un circuito a otro, sufriendo si es requerida una modificación en dos de sus parámetros, que son: Voltaje y Corriente pero sin sufrir variación alguna en la frecuencia.

AUTOTRANSFORMADOR: Es un dispositivo ó máquina eléctrica estática, que funciona mediante los principios de conducción eléctrica ó inducción electromagnética; con un circuito magnético, teniendo sus circuitos eléctricos unidos entre sí, capaz de transferir la potencia eléctrica de un circuito a otro, sufriendo una modificación en los parámetros voltajes y corriente sin alteración de la frecuencia.

PRINCIPIO DE INDUCCION ELECTROMAGNETICA: Oersted, había descubierto que la corriente fluyendo por un conductor, ha de producir invariablemente un campo magnético; por otra parte, Michael Faraday, comprobó que un campo magnético a su vez, produce una corriente eléctrica estableciendo así, el principio de la inducción electromagnética.

Este principio consiste en lo siguiente: Al cerrar el interruptor S, figura No. 1.3, comienza a circular una corriente I por la bobina No. 1. Este corriente parte de cero y si suponemos que su dirección es en el sentido expresado en la figura, por el principio de Oersted, se establece un flujo magnético en el núcleo de hierro, en el sentido de las manecillas del reloj, de acuerdo con la regla de ampere de la mano derecha.

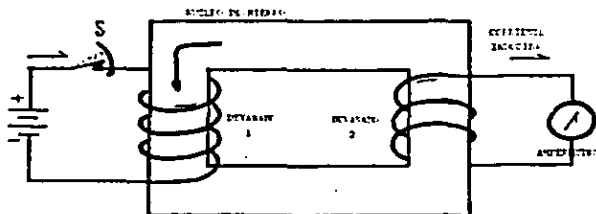


Fig. 1.3.- EXPERIMENTO DE COMPROBACION DE LA LEY DE INDUCCION ELECTROMAGNETICA.

Este flujo magnético del núcleo, producirá a su vez, en el instante de cierre del interruptor S, un flujo creciente de inducción en el devanado 2. Este último efecto, equivale al movimiento de un imán en un devanado, lo cual produce una corriente inducida, (ver Fig. No. 1.4).

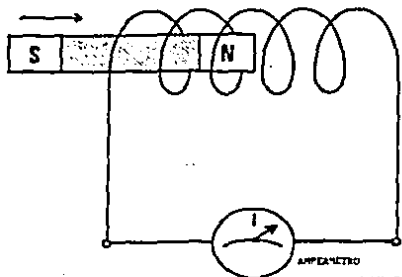


FIG.1.4.-EFECTO SIMILAR AL CIERRE DEL INTERRUPTOR S DE LA FIG. 1.3

Al abrir el interruptor S, la corriente tendrá bruscamente hacia cero en el devanado 1, desapareciendo por tanto el flujo magnético, produciendo una corriente inducida en sentido contra rio a la anterior a la bobina 2.

Este otro efecto es equivalente a la salida del imán del devanado 2, invirtiendo la corriente inducida su sentido. (ver Fig. No. 1.5).

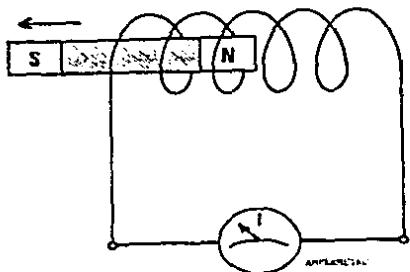


FIG.1.5.-EFECTO SIMILAR A LA APERTURA DEL INTERRUPTOR S DE LA FIG. 1.3

Así pues, cuando la corriente en el devanado 1 aumenta, la corriente inducida I_2 produce un flujo opuesto al producido por la corriente I del devanado 1, cumpliéndose así también con la Ley de Lenz.

La corriente alterna, viene a equivaler al cierre y apertura del interruptor S, cumpliendo así con el requisito de variación de flujo magnético necesario para la transformación, transfiriéndose así la energía de la bobina 1 a la bobina 2 por medio del flujo magnético que enlaza a ambas.

La fem (Fuerza Electromotriz) inducida en el devanado 2 tendrá una amplitud proporcional al flujo que la barre y al número de espiras del mismo, permaneciendo la frecuencia constante.

LEY DE LENZ: "Si una corriente constante fluye en un circuito primario y si, por el movimiento del primario o del circuito secundario, una corriente es inducida en este último la dirección de esta corriente inducida será tal que, por su acción electromagnética en el primario, tiende siempre a oponerse al movimiento relativo de los circuitos". (A Treatise on Electricity and Magnetism", por J.C. Maxwell, Vol. II, Art. 542).

PRINCIPIO DE CONDUCCION ELECTRICA: Si al devanado AB. (Ver Fig. No. I.6) se le extrae una derivación en algún punto intermedio, por ejemplo en C y se embobina sobre un núcleo de hierro laminado, al aplicarle un voltaje de corriente alterna al devanado completo, se establecerá un flujo magnético tal, que alcanzará a todas las espiras, induciéndose una fuerza contraelectromotriz en la bobina completa. A la vez, induciremos una fuerza electromotriz entre AC.

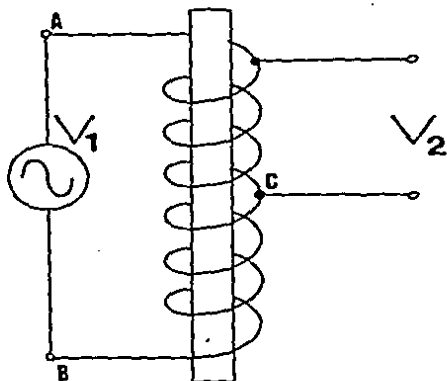


FIG. 1.6.- DERIVACION TOMADA EN C AL DEVANADO AB, DEL PRINCIPIO DE CONDUCCION ELECTRICA.

De ahora en adelante, profundizaremos un poco en el estudio de Autotransformadores, por ser el tema específico a tratar en este trabajo, no sin hacer en el momento más conveniente, las observaciones y comparaciones pertinentes con los transformadores normales.

Por tanto, por el principio de conducción eléctrica, se debe de cumplir que:

$$\begin{aligned} \text{Fem } 1 &= KN_1\phi \\ \text{Fem } 2 &= KN_2\phi \end{aligned} \quad \text{Ec.1,2.1}$$

Donde: Fem 1 = fuerza electromotriz entre A y B
 K = Constante de proporcionalidad
 N_1 = No de vueltas del primario
 ϕ = Flujo

Fem 2 = Fuerza electromotriz
entre A y C.

N_2 = N° de vueltas del se
cundario.

$$\text{Entonces } K_0 = \frac{\text{Fem 1}}{N_1} = \frac{\text{Fem 2}}{N_2}$$

$$\text{Así que: } \frac{\text{Fem 1}}{\text{Fem 2}} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Ec. 1.2.2.}$$

A la relación contenida en la Ec. 1.2.2, se le denomina Relación de Transformación. (R.T.).

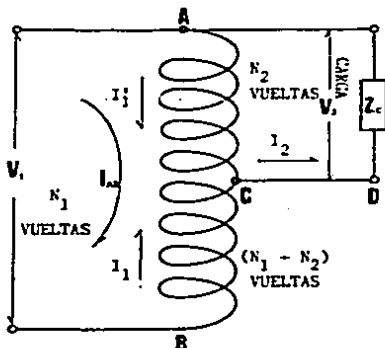


FIG. I.7.- AUTOTRANSFORMADOR.

En la FIG. I.7, de AB hay N_1 vueltas, de AC hay N_2 vueltas, de
hay $(N_1 - N_2)$ vueltas.

Suponiendo que el autotransformador es reductor, como en reali-

dad va a trabajar:

Por la Ley de Corrientes de Kirchoff en el nodo C:

$$I_2 = I_1 + I_1' \quad \text{ó} \quad I_1' = I_2 - I_1$$

Ec. 1.2.2a.

Suponiendo condiciones ideales, esto es, sin pérdidas de ninguna especie, (ni en núcleo, ni en cobre), la corriente magnetizante y la reactancia de dispersión, tienden a ser despreciables dejando como relación:

$$V_1 I_1 = V_2 I_2. \quad \text{Siendo} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = R.T. \quad \text{Ec. 1.2.3.}$$

Si seguimos suponiendo que la corriente de excitación es despreciable, la fuerza magnetomotriz de la corriente I_1' , Fig. - I.7, en las espiras comprendidas entre AC (N_2), es opuesta e igual a la fuerza magnetomotriz de la corriente I_1 en las espiras de BC, así que:

$$I_1' N_2 = I_1 (N_1 - N_2)$$

$$I_1' = I_1 \frac{(N_1 - N_2)}{N_2}$$

$$I_1' = I_1 \frac{(K_1 - 1)}{K_2} \quad \text{De la Ec. 1.2.2}$$

$$I_1' = I_1 (R.T. - 1) \quad \text{Ec. 1.2.4.}$$

También por la Ley de Corrientes de Kirchoff en el nodo C:

$$I_2 = I_1 + I_1'$$

$$I_1 = I_2 - I_1' \quad \text{De la Ec. 1.2.4.}$$

$$I_1' = I_1 (R.T. - 1) = I_2 - I_1 \quad \text{Ec. 1.2.5.}$$

La potencia suministrada a la carga es:

$$P = V_2 I_2$$

$$\text{pero } I_2 = I_1 + I_1'$$

entonces:

$$P = V_2 (I_1 + I_1')$$

$$P = V_2 I_1 + V_2 I_1' \quad \text{De la Ec. 1.2.2a.}$$

$$P = V_2 I_1 + V_2 (I_2 - I_1) \quad \text{Ec. 1.2.6.}$$

Podemos ahora confirmar de esta ecuación (1.2.6.) la definición que en párrafos anteriores establecimos para el autotransformador, partiendo de que la potencia total aparente podemos considerarla formada por 2 partes:

1a.)- $V_2 I_1'$: Es la potencia transferida a la carga, en forma conductiva por el devanado BC.

2a.)- $V_2 (I_2 - I_1)$: Es la potencia transferida a la carga en forma inductiva, por AC.

De aquí se deduce que:

$$\frac{\text{Potencia inductiva}}{\text{Potencia total}} = \frac{V_2 (I_2 - I_1)}{V_2 I_2}$$

$$\frac{P_i}{P_t} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} = 1 - \frac{I_1}{I_2} \quad \text{De la Ec. 1.2.3.}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \text{R.T.}$$

$$\frac{P_i}{P_t} = 1 - \frac{V_2}{V_1} \quad \delta$$

$$\frac{P_i}{P_t} = 1 - \frac{1}{\text{R.T.}}$$

$$\frac{P_i}{P_t} = \frac{V_1 - V_2}{V_1}$$

Potencia inductiva	=	$\frac{\text{Voltaje de alta Tension} - \text{Voltaje de baja tension}}{\text{Voltaje de alta tension}}$
Potencia total		

Ec. 1.2.7.

Expresado en otra forma:

$$\frac{P \text{ inductiva}}{P \text{ total}} = \frac{V_H - V_X}{V_H}$$

Y la relación de la potencia transferida conductivamente entre la potencia total es:

$$\frac{\text{Potencia conductiva}}{\text{Potencia total}} = \frac{V_2 I_1}{V_2 I_2}$$

$$= \frac{I_1}{I_2} \quad \text{de la Ec. 1.2.3.}$$

$$= \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{R.T.}$$

$\frac{\text{Potencia conductiva}}{\text{Potencia total}} = \frac{\text{Voltaje de Baja tensión}}{\text{Voltaje de alta tensión}}$	Ec. 1.2.8.
--	------------

Expresado de otra forma:

$$\frac{P_{\text{conductiva}}}{P_{\text{total}}} = \frac{V_x}{V_H}$$

Para estas ecuaciones, no interesa que devanado sea el primario ó el secundario.

Si un transformador de doble devanado es conectado como auto-transformador, tendrá un régimen de potencia igual a:

$$\frac{P_{\text{inductiva}}}{P_{\text{total}}} = (1 - \frac{1}{R.T.})$$

$$P_{\text{total}} = \frac{P_{\text{inductiva}}}{(1 - \frac{1}{R.T.})}$$

$$P_{\text{total}} = \frac{P_{\text{inductiva}}}{(R.T. - 1)}$$

R.T.

$$P_{\text{total}} = P_{\text{inductiva}} \left(\frac{R.T.}{R.T. - 1} \right)$$

Ec. 1.2.9.

O sea $R.T./ (R.T. - 1)$ veces su régimen de transformador común. Si hacemos que $R.T. = 1$:

$$\frac{P_{\text{conductiva}}}{P_{\text{total}}} = \frac{1}{R.T.} \quad \text{con } R.T. = 1, P_{\text{conductiva}} = P_{\text{total}}$$

Esto es, la potencia transferida en forma conductiva, será igual a la potencia total de entrada y la potencia transferida inductivamente tenderá a cero:

$$P_{\text{inductiva}} = P_T \left(\frac{R.T. - 1}{R.T.} \right) \quad \text{con } R.T. = 1, P_{\text{inductiva}} = 0$$

Donde: $P_T =$ Potencia total.

Con esto queremos decir, que es de una gran utilidad el autotransformador para relaciones de transformación bajas, a medida que la $R.T.$ tiende a ser uno, pero en el caso de $R.T.$ sea igual a 1, ya no es necesario el autotransformador.

Para que un transformador de doble devanado sea utilizado como autotransformador, deberá ser diseñado para un régimen tal que:

$$P_{\text{inductiva}} = P_T \left(1 - \frac{1}{R.T.} \right) = P_T \left(1 - \frac{V_2}{V_1} \right)$$

Ec. 1.2.10.

Si V_2 tiende a ser igual que V_1 , (Ec. 1.2.10), el régimen va siendo mucho menor, pudiéndose utilizar el material en el autotransformador al máximo por que:

$$P \text{ conductiva} = P_T \frac{1}{R.T.}$$

$$P \text{ conductiva} = P_T \frac{V_2}{V_1}$$

$$P \text{ conductiva} = P \text{ total} \text{ cuando } V_2 = V_1$$

Cuanto mayor sea la relación de transformación (R.T.), tanto más se aproxima el autotransformador al transformador ordinario.

Si representamos en forma sencilla un transformador y un autotransformador monofásico, el lado de alta tensión lo denominaremos con la letra H y el devanado de baja tensión con la X, para estar acordes con la mayoría de los autores y fabricantes (Ver Fig. No. 1.8).

Como lado primario, se tomará invariablemente al devanado donde está conectada la fuente de alimentación, siendo el secundario el lado donde se encuentra conectada la carga.

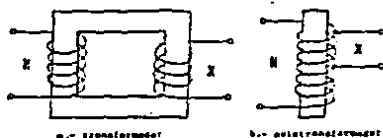


FIG. 1.8.-REPRESENTACION SENCILLA DE UN TRANSFORMADOR Y UN AUTOTRANSFORMADOR.

Un transformador ó autotransformador, se considerará elevador, si tiene como primario el devanado X y Secundario la bobina H y reductor, en caso contrario, cumpliéndose para ésto:

$$R.T. > 1 \text{ Reductor}$$

$$R.T. < 1 \text{ Elevador}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE Y DIAGRAMA VECTORIAL:

Para la elaboración del circuito equivalente del autotransformador y de su diagrama vectorial, partiremos de la misma suposición, de que la corriente magnetizante es reducida, de tal manera que las pérdidas en cobre y hierro son despreciables.

Si el flujo mutuo que enlaza las N_1 espiras, (espiras del punto "a" al punto "b"), de la figura No. 1.9, es Φ , cuya magnitud esta expresada en webers, las fuerzas electromotrices inducidas en los devanados "ac" y "cb", retrazados 90° de Φ , serán las siguientes:

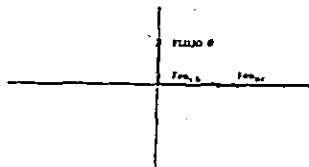


FIG.1.9.- RELACION VECTORIAL ENTRE EL FLUJO Φ Y LAS FUERZAS ELECTROMOTRICES INDUCIDAS.

$$Fem_{ac} = KN_{ac}\dot{\Phi} = KN_2\dot{\Phi} \quad \text{Ec.1.2.11}$$

$$Fem_{cb} = KN_{cb}\dot{\Phi} = K(N_{ab} - N_{ac})\dot{\Phi}$$

$$Fem_{cb} = K(N_1 - N_2)\dot{\Phi} \quad \text{Ec.1.2.12}$$

De las ecuaciones 1.2.11 y 1.2.12:

$$\frac{F_{m_{ac}}}{N_2} = \frac{F_{m_{cb}}}{(N_1 - N_2)} = K\theta$$

Por lo que podemos igualar las 2 ecuaciones

$$\frac{F_{m_{ac}}}{N_2} = \frac{F_{m_{cb}}}{(N_1 - N_2)}$$

$$\frac{F_{m_{ac}}}{F_{m_{cb}}} = \frac{N_2}{N_1 - N_2}$$

Dividiendo entre N_2 el dividendo y divisor de la parte derecha de la igualdad:

$$\frac{F_{m_{ac}}}{F_{m_{cb}}} = \frac{1}{(N_1/N_2 - 1)}$$

Como $N_1/N_2 = R.T.$ (Ec. 1.2.2)

$$\frac{F_{m_{ac}}}{F_{m_{cb}}} = \frac{1}{(R.T. - 1)} \quad \text{Ec. 1.2.13}$$

entonces:

$$F_{m_{cb}} = F_{m_{ac}} (R.T. - 1) \quad \text{Ec. 1.2.13a.}$$

Siguiendo con la misma hipótesis, podemos igualar a cero, la suma geométrica de fuerzas magnetomotrices, conforme la ley de Kirchhoff, dando el sentido arbitrario a la corriente de la malla conforme a la fig. 1.7:

$$I_{ac}N_{ac} + I_{cb}N_{cb} = 0$$

Como:

$$N_{cb} = N_{ab} - N_{ac}$$

$$I_{ac}N_{ac} + I_{cb}(N_{ab} - N_{ac}) = 0$$

$$I_{ac}N_{ac} = -I_{cb}(N_{ab} - N_{ac})$$

$$I_{ac} = -I_{cb} \frac{(N_{ab} - N_{ac})}{N_{ac}}$$

$$I_{ac} = -I_{cb} \left(\frac{N_{ab}}{N_{ac}} - 1 \right)$$

Como:

$$N_{ab} = N_1 \text{ y } N_{ac} = N_2$$

$$I_{ac} = -I_{cb} \left(\frac{N_1}{N_2} - 1 \right)$$

$$\text{Si } \frac{N_1}{N_2} = R.T.$$

$$I_{ac} = -I_{cb} (R.T. - 1) \text{ Ec. 1.2.14}$$

Por la Ley de Corrientes de Kirchhoff en el nodo C:

$$I_{ac} + I_{bc} = I_{cd}$$

$$I_{cd} = I_{ac} - I_{cb} \quad \text{Ec.1.2.14a.}$$

Entonces, sustituyendo la ecuación 1.2.14 en la 1.2.14a

$$I_{cd} = I_{cb} (R.T. - 1) - I_{cb}$$

$$I_{cd} = - I_{cb} (R.T.) + I_{cb} - I_{cb}$$

$$I_{cd} = - I_{cb} (R.T.) \quad \text{Ec. 1.2.15}$$

Como: $I_{cb} = - I_1$

$$I_{cb} = - I_{bc}$$

$$I_{cd} = I_2, I_{ac} = I'_1$$

de origen a:

$$I_2 = I_1 (R.T.) \quad \text{Ec. 1.2.15A.}$$

y la EC. 1.2.14 queda:

$$I'_1 = I_1 (R.T. - 1)$$

Con los sentidos de las corrientes de la Fig. 1.7.

Intentaremos comenzar con el diagrama vectorial del auto-transformador con los datos hasta ahora reunidos, suponiendo también, que la carga conectada en el lado secundario o lado de baja tensión, es inductiva, por lo que I_2 se retrasará a la F_{emc} original. (Fig. No. I.10).

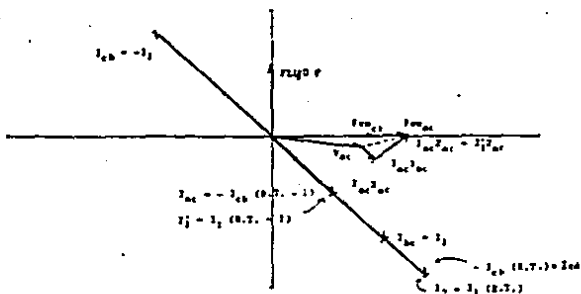


FIG. I.10.- DIAGRAMA VECTORIAL INCONCLUSO DEL AUTOTRANSFORMADOR

Por lo tanto, la Fem_{ac} inducida será:

$$Fem_{ac} = V_{ac} + I_1' (R_{ac} + X_{ac}) \quad \text{Ec. I.2.16.}$$

$$Fem_{ac} = V_2 + I_1' Z_{ac} \quad \text{donde: } I_1' = I_{ac}$$

$$\text{Si } Z_{ac} = Z_2$$

$$Fem_{ac} = V_2 + I_1' Z_2 \quad \text{Ec. I.2.16a.}$$

Donde $V_{ac} = V_2$, que es la tensión en bornes del secundario y es a su vez la caída debida a la impedancia de carga.

$$V_2 = I_2 Z_{carga}$$

$$Z_{carga} = Z_t$$

$$Fem_{ac} = I_{cd} Z_t + I_{ac} Z_{cd}$$

De las Ecuaciones 1.2.14 y 1.2.15

$$Fem_{ac} = -I_{cb} (R.T.)Z - I_{cb} (R.T. - 1)Z_2$$

$$Fem_{ac} = -I_{cb} [(R.T.)Z - (R.T. - 1)Z_2] \quad \text{Ec. 1.2.16b.}$$

A su vez, la fuerza electromotriz de "c" a "b", Fem_{bc} , será:

$$Fem_{cb} = V_{cb} + I_{cb}Z_{cb}.$$

Lo que da como consecuencia:

$$Fem_{bc} = V_{bc} + I_{bc}Z_{cb} \quad \text{y también:}$$

$$Fem_{bc} = V_{bc} - I_{cb}Z_{cb} \quad \text{entonces:}$$

$$V_{bc} = Fem_{bc} + I_{cb}Z_{cb} \quad \text{Ec. 1.2.17.}$$

Por la Ley de Kirchhoff de voltajes.

$$V_{ab} = V_{ac} + V_{cb} \quad \text{ó} \quad V_{ba} = V_{cb} + V_{bc} \quad \text{Ec. 1.2.18.}$$

$$V_{ba} = V_1 = V_{bc} - V_{ac}$$

El diagrama vectorial aproximado del autotransformador, en lo referente al circuito primario-secundario, lo mostramos en la Fig. 1.11, el cual fué constituido tomando como base las ecuaciones anteriormente deducidas.

Para completar el diagrama vectorial del autotransformador — nuestro, únicamente nos falta tomar en cuenta el terciario. — Para ésto consideramos que funcionalmente al devanado primario y terciario, como un transformador monofásico de 2 devanados,

para los cuales:

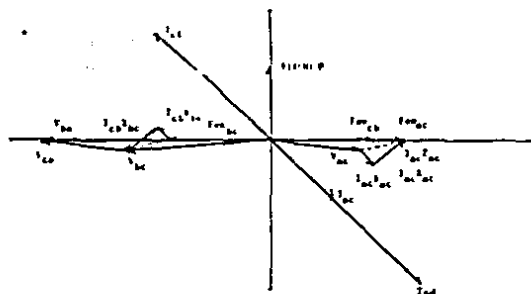


FIG. I.11.- DIAGRAMA VECTORIAL APROXIMADO DEL CIRCUITO PRIMARIO-SECUNDARIO DEL AUTOTRANSFORMADOR.

El razonamiento es similar al hecho anteriormente, con las mismas consideraciones. De la Fig. No. I.12, el ángulo que marca el retraso entre la fuerza electromotriz inducida en el terciario y la corriente en el mismo devanado, para lo cual suponemos una carga inductiva.

Dicho ángulo está por la Ec. 1.2.16a.

$$\tan \theta = \frac{X_t + X'_{ct}}{R_t + R'_{ct}}$$

Ec. 1.2.18a.

Mientras que la corriente esta dada por la Ec:

$$I_t = \frac{Fem_t}{(R_t + R'_c) + j(X_t + X'_c)}$$

Donde: θ = Angulo entre la Fem del terciario y su corriente.

X_t = Reactancia del devanado terciario.

R_t = Resistencia del devanado terciario.

X'_{ct} = Reactancia de carga del terciario.

R'_{ct} = Resistencia de la carga del terciario.

Fem_t = Fuerza electromotriz inducida en el terciario.

Otra de las condiciones que se cumplen es la suma geométrica de los Amperes-Vuelta:

$$N_{ac} I_{ac} + N_t I_t = N_{ac} I_o$$

Ec. 1.2.18b.

O sea que los Amperes-Vuelta de excitación del secundario ($N_{ac} I_o$) debe ser el resultado de la suma geométrica de los Amperes-Vuelta del secundario y terciario. Para terminar, la corriente de excitación I_o , la consideramos como la resultante de 2 componentes, la primera en fase con el flujo que es la corriente magnetizante I_ϕ y la segunda en cuadratura con él y corresponde a la componente de potencia I_h .

La corriente resultante tiene un ángulo de adelanto con respecto al flujo ϕ y es el denominado ángulo de histéresis. (Ver Fig 1.12).

$$I_o = I_h + I_\phi$$

Ec. 1.2.18c.

Tenemos ahora los elementos suficientes para terminar el diagrama vectorial que en las Figs. 1.10 y 1.11 dejamos incompleto, las relaciones que rigen la representación de la Fig. 1.12 son:

$$- F_{m_{cb}} = F_{m_{ac}} (R.T. - 1) \quad \text{Ec. 1.2.13a}$$

$$- F_{m_{ac}} = V_{ac} + I_{ac} (R_{ac} + X_{ac}) \quad \text{Ec. 1.2.16}$$

- I_2 retraza a la $F_{m_{ac}}$

$$- I_2 = -I_{cb} (R.T.) \quad \text{Ec. 1.2.15}$$

$$- I_{ac} = -I_{cb} (R.T. - 1) \quad \text{Ec. 1.2.14}$$

$$- V_{bc} = F_{m_{bc}} + I_{cb} Z_{cb} \quad \text{Ec. 1.2.17}$$

$$- V_1 = V_{bc} - V_{ac} \quad \text{Ec. 1.2.18}$$

$$- N_{ac} I_{ac} + N_t I_t = N_{ac} I_o \quad \text{Ec. 1.2.18b}$$

$$- I_o = I_h + I_d \quad \text{Ec. 1.2.18c}$$

Para obtener el circuito equivalente proseguiremos a partir de:

$$V_1 = V_{bc} - V_{ac}$$

Despejando V_{bc}

$$V_{bc} = V_1 + V_{ac}$$

$$\text{Si } V_{ac} = I_{cd} Z = I_2 Z$$

$$V_{bc} = V_1 + I_2 Z \quad \text{Ec. 1.2.18d}$$

De la ecuación 1.2.17

$$F_{m_{bc}} = V_{bc} - I_{cb} Z_{cb}$$

De la ecuación 1.2.18d.

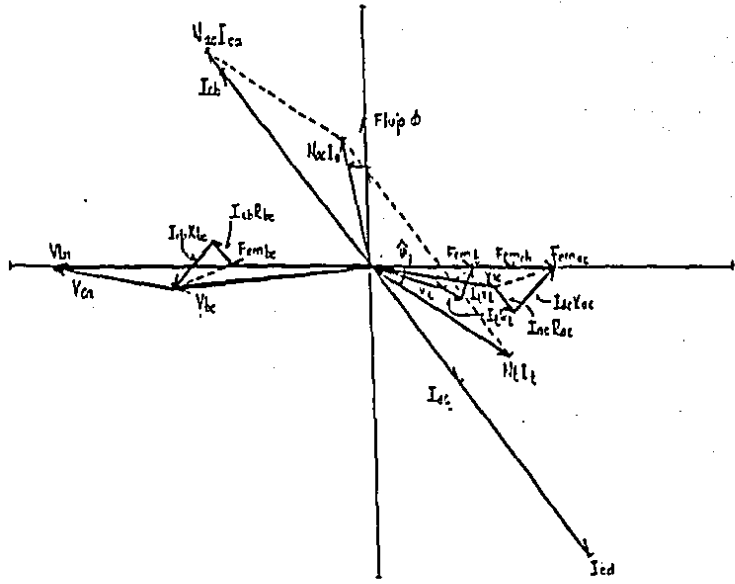


FIG. I. 12.- DIAGRAMA VECTORIAL APROXIMADO DEL AUTOTRANSFORMADOR.

$$F_{em_{bc}} = V_1 + I_2 Z - I_{cb} Z_{cb}$$

Por la ecuación 1.2.15

$$F_{em_{bc}} = V_1 - I_{cb} (R.T.)Z - I_{cb} Z_{cb}$$

$$F_{em_{bc}} = V_1 - I_{cb} [(R.T.)Z + Z_{cb}]$$

De otra forma:

$$F_{em_{cb}} = I_{cb} [(R.T.)Z + Z_{cb}] - V_1 \quad \text{Ec. 1.2.19}$$

$$\text{Siendo } Z_{cb} = Z_1$$

Si dividimos la ecuación 1.2.16b entre la Ec. 1.2.19, para encontrar la relación que existe entre la fuerza electromotriz del devanado "ac" y la fuerza electromotriz del devanado "cb".

$$\frac{F_{em_{ac}}}{F_{em_{cb}}} = \frac{-I_{cb} [(R.T.)Z + (R.T. - 1)Z_2]}{I_{cb} [(R.T.)Z + Z_1] - V_1}$$

Por la Ec. 1.2.13

$$\frac{1}{R.T. - 1} = \frac{-I_{cb} [(R.T.)Z + (R.T. - 1)Z_2]}{I_{cb} [(R.T.)Z + Z_1] - V_1}$$

Despejando V_1

$$\frac{I_{cb} [(R.T.)Z + Z_1] - V_1}{(R.T. - 1)} = \frac{-I_{cb} [(R.T.)Z + (R.T. - 1)Z_2]}{(R.T. - 1)}$$

$$V_1 = I_{cb} (R.T. - 1) [(R.T.)Z + (R.T. - 1)Z_2] + I_{cb} [(R.T.)Z + Z_1]$$

$$V_1 = I_{cb} [(R.T. - 1) (R.T.)Z + (R.T. - 1)^2 Z_2 + (R.T.)Z + Z_1]$$

$$V_1 = I_{cb} [(R.T.)^2 Z - (R.T.)Z + (R.T. - 1)^2 Z_2 + (R.T.)Z + Z_1]$$

$$V_1 = I_{cb} [(R.T.)^2 Z + (R.T. - 1)^2 Z_2 + Z_1] \quad \text{Ec. 1.2.20}$$

Con esta ecuación, ya podemos construir el circuito equivalente del autotransformador:

$$V_1 = I_{cb} [(R.T.)^2 Z_{\text{carga}} + (R.T. - 1)^2 Z_{ac} + Z_{cb}]$$

$$\text{Siendo } Z_{cb} = R_{cb} + jX_{cb}$$

$$Z_{ac} = R_{ac} + jX_{ac}$$

$$Z_{\text{carga}} = R_{\text{carga}} + jX_{\text{carga}}$$

Así el circuito equivalente quedará, (ver fig. 1.13)

El circuito equivalente del terciario, se obtiene en forma análoga, solo que no es de tanta importancia, por que funcionara como delta interconectada entre los 3 autotransformadores, sin carga, o con la carga de los servicios propios, que es muy reducida en comparación de la capacidad del equipo, por lo que omitimos su deducción, a modo de no hacer muy extenso este trabajo.

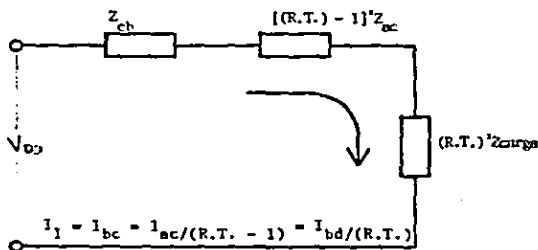


Fig. 1.13 Circuito equivalente del autotransformador.

De aquí deducimos con suma facilidad, que la impedancia de dispersión en función del devanado "ab", en función del lado de alta tensión es:

$$Z_{\text{dispersión}} = Z_{cb} + [(R.T.) - 1]^2 Z_{ac}$$

Ec. I.2.21

VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE AUTOTRANSFORMADORES DE POTENCIA.-

Los autotransformadores de potencia, o como suelen llamarle algunos autores, "Transformadores Autoconectados", tienen ciertas ventajas sobre los transformadores comunes, entre las más importantes podemos citar:

- I).- El rango menor en las partes transformadoras, hace al autotransformador más pequeño en tamaño, peso y volumen, abatiendo así los costos en cantidades considerables.
- II).- Si las partes transformadoras existen en menor cantidad en los autotransformadores, las pérdidas en cobre y núcleo son más bajas, convirtiéndolo en una máquina estática de mucho mayor eficiencia.
- III).- La regulación de voltaje es mejor en un autotransformador de potencia, que en un transformador común de doble devanado, esto debido a la impedancia en serie bajo que presenta. Esto lo analizaremos de la siguiente manera: Comparando la reactancia de dispersión del autotransformador como del transformador. Para ésto, supondremos primero que el flujo y las corrientes en las dos partes de los embobinados son los mismos, así como también, que el transformador es de doble devanado y es el mismo que está siendo utilizado como autotransformador, tendremos que la relación de transformación de transformador de doble devanado equivalente es:

$$(R.T.) \text{ Transf} = \frac{1}{(R.T.) - 1}$$

Ec. 1.21a

Y así, el circuito equivalente será el de la figura No. 1.14.

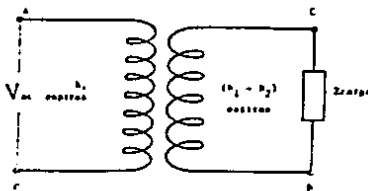


FIG. 1.14.- TRANSFORMADOR DE DOBLE DEVANADO CORRESPONDIENTE.

Como sabemos, para referir las corrientes secundarias al lado primario habrá que dividir la corriente secundaria por la relación de transformación.

$$I \text{ prim.} = \frac{I \text{ secundaria}}{(R.T.)}$$

Para referir la impedancia del lado secundario al primario, lo haremos de la siguiente manera:

Si $V_{\text{primario}} = V_{\text{secundario}} (R.T.) \text{ Transf.}$
entonces $I_p Z_p = I_s Z_s (R.T.) \text{ Transf.}$

donde: I_p = corriente primaria

Z_p = Impedancia primaria

I_s = Corriente secundaria

Z_s = Impedancia secundaria

$(R.T.) \text{ Transf}$ = Relación de transformación
del transformador de doble
devanado.

$$\text{Despejando } Z_p = \frac{I_s Z_s (R.T.) \text{Transf}}{I_p}$$

$$\text{Como } I_p = I_s / (R.T.) \text{Transf, } Z_p = \frac{I_s Z_s (R.T.) \text{Transf}}{I_s / (R.T.) \text{Transf}}$$

$$\text{Resulta } \boxed{Z_p = Z_s (R.T.)^2 \text{Transf}} \quad \text{Ec. 1.21b}$$

$$\text{Por la Ec. 1.21a } (R.T.) \text{Transf} = \frac{1}{(R.T.) - 1}$$

$$Z_p = \frac{Z_s}{[(R.T.) - 1]^2} \quad \text{Ec. 1.21c.}$$

El circuito equivalente será entonces como el de la figura No. 1.15, en forma aproximada.

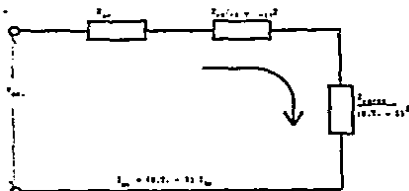


FIG. 1.15.-CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR DE DOBLE DEVANADO CORRESPONDIENTE.

Con estas condiciones, la relación de caídas de tensión entre la impedancia de dispersión y el voltaje en terminales del devanado primario en el caso de un autotransformador es:

$$r_{\text{autotransformador}} = \frac{I_1 [Z_{cb} + [(R.T.) - 1]^2 Z_{sc}]}{V_1}$$

Ec. 1.2.22

Y en un transformador de doble devanado:

$$r_{\text{transformador}} = \frac{I_1' [Z_{ac} + Z_{cb}/(R.T.) - 1]'}{V_2}$$

$$r_{\text{transformador}} = \frac{I_1 [(R.T.) - 1] [Z_{ac} + Z_{cb}/(R.T.) - 1]'}{V_2}$$

$$r_{\text{transformador}} = \frac{I_1 [(R.T.) - 1] Z_{ac} + Z_{cb}/[(R.T.) - 1]'}{V_2}$$

Ec. 1.2.23

Relacionando las pérdidas por impedancia de dispersión del autotransformador entre las del transformador de doble devanado, tenemos:

$$\frac{r_{\text{autotransformador}}}{r_{\text{transformador}}} = r = \frac{[Z_{cb} + (R.T.) - 1] Z_{ac} I_1 V_2}{[(R.T.) - 1] Z_{ac} + Z_{cb}/[(R.T.) - 1] I_1 V_1}$$

$$\text{Pero: } \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{R.T.}$$

$$r^1 = \frac{Z_{cb} + [(R.T.) - 1] Z_{ac}}{[(R.T.) - 1] Z_{ac} + Z_{cb}} \times \frac{1}{(R.T.) - 1}$$

$$r^1 = \frac{Z_{cb} + [(R.T.) - 1] Z_{ac}}{[(R.T.) - 1] Z_{ac} + Z_{cb}} \times \frac{(R.T.) - 1}{(R.T.)}$$

$$r^1 = \frac{(R.T.)}{(R.T.)} = 1 \quad \text{Ec. 1.2.24.}$$

Como siempre, la relación de transformación será mayor que 1, por lo tanto, la relación de las pérdidas por impedancia de dispersión del autotransformador entre las del transformador común siempre será menor que la unidad, esto es, que las pérdidas serán menores por este concepto en los autotransformadores. En otras palabras, significa que la regulación de voltaje será mayor en un autotransformador de potencia que en un transformador común de doble devanado.

Las principales desventajas que ofrecen los autotransformadores respecto a los transformadores comunes, son por mencionar algunas:

- 1).- Existe un aumento considerable en la corriente de corto circuito, esto implicaría la necesidad de utilizar interruptores con capacidades de ruptura mayores que en el caso de transformadores comunes, por las razones que a continuación se enuncian:

En un transformador con una impedancia de dispersión "Z", expresada en % o en por unidad, con régimen de transformación lógico, si se conecta como autotransformador para trabajar a un régimen V_1/V_2 , cercano a la unidad, por la ecuación 1.2.24 tenemos:

Por ejemplificar, si $V_1 = 230 \text{ Kv}$ y $V_2 = 115 \text{ Kv}$, el régimen de transformación será igual a dos:

O sea, la caída por impedancia será solamente el 50% de la correspondiente al transformador, en nuestro caso.

Si el autotransformador se cortocircuita, teniendo el voltaje total primario, la tensión de cortocircuito será dos veces mayor en el autotransformador que en el transformador común; la corriente de cortocircuito en el transformador será 1/2 veces la corriente nominal, mientras que en el caso del autotransformador es de 1/0.52 veces la corriente nominal de régimen.

Si la R.T. va tendiendo a 1, las corrientes de cortocircuito en los autotransformadores se tornarán excesivas y destructivas.

ii).- Como lo vimos en el inciso anterior los potenciales en los devanados serán mayores, esto implicará más aislamiento que en un transformador común de doble devanado, siendo relativamente de poca importancia en relaciones de transformación bajas.

iii).- Existe un aumento en los esfuerzos anormales internos, haciendo que los medios de sujeción de laminaciones y devanados sean más robustos para resistir esfuerzos hasta del cuadrado de la corriente de cortocircuito.

En conclusión, tiene muy pocos inconvenientes y muy grandes ventajas el uso de autotransformadores en relaciones de transformación relativamente bajas, ejem. 1.73, 2, 3.4 y son de un gran beneficio en conexiones de líneas de transmisión y subtransmisión, ejem: de 400 a 230 KV, de 230 a 115 KV, de 400 a 115 KV, etc.

3.- OBJETIVOS.

Por la gran expansión que se ha exigido a los sistemas eléctricos de potencia, aunado a la gran expansión en la utilización de cada vez más altos voltajes en equipos de Subestaciones, para la transportación de grandes bloques de energía, aumenta la importancia de la puesta en servicio de equipo eléctrico primario.

Este trabajo tiene como objetivo principal, el de presentar un procedimiento de uso común y de relativa facilidad, para la - puesta en servicio de autotransformadores monofásicos de potencia con devanado terciario, teniendo aplicación para cualquier tipo de transformador de potencia.

Los equipos autotransformadores en la actualidad arrojan excelentes resultados a nivel de zonas operativas de transmisión en voltajes primarios de 400 y 230 KV.

Se hace necesario entonces, normalizar los criterios para la puesta en servicio de estos equipos, ya que depende de los procedimientos empleados, la confiabilidad y la continuidad en el servicio de energía eléctrica, así como la vida útil de los equipos primarios de las subestaciones de potencia.

4.- ANTECEDENTES:

Debido al gran crecimiento presentado por las zonas mineras y forestales de Hidalgo del Parral, San Francisco del Oro, Santa Bárbara y otras zonas más del Estado de Chihuahua y norte de Durango, se hace necesario de acuerdo a los estudios técnicos y económicos del mercado eléctrico, la construcción de la Subestación Santiago II.

En la actualidad estas zonas son abastecidas por la Subestación Parral, localizada en los suburbios de la ciudad de Hidalgo del Parral, Chih., que cuenta con un banco de tres transformadores trifásicos de potencia conectados en paralelo, con una capacidad instalada de 32.5 MVA, la Subestación Santiago I con un banco de dos transformadores trifásicos de potencia en paralelo y una capacidad instalada de 60 MVA.

La Subestación Parral se alimenta en forma directa de la Subestación de la Planta Termoeléctrica Francisco Villa ubicada en la Cd. de Delicias, Chih. La Subestación Santiago recibe la energía a través del banco de autotransformadores de la Subestación Camargo II de la Cd. de Camargo, Chih. En la Fig. No. I.16, se muestra el diagrama unifilar de esta zona antes de la construcción de la Subestación Santiago II, en la Fig. No. I.17 con la Subestación conectada.

El banco de autotransformadores de la Subestación Camargo II, tiene agotada su capacidad, haciendo difícil el suministro de energía eléctrica a esa zona, previéndose un aumento de capacidad hasta dentro de varios años.

Por tanto, las cargas mineras y forestales que se han desarrollado y las que se esperan en los próximos años, hicieron necesario elevar el voltaje primario de 115 a 230 KV en esta zona y la construcción de la Subestación Santiago II, con el fin además, de desahogar el banco autotransformador de la Subestación Camargo II.

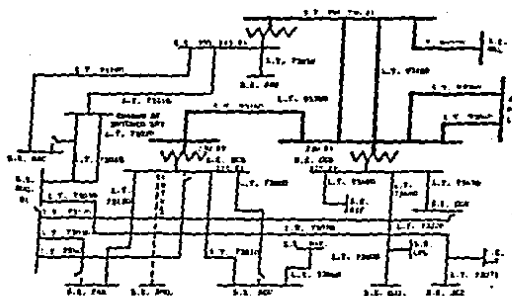


FIG. I.16.- DIAGRAMA UNIFILAR DE LA ZONA DE TRANSMISION ANTES DE LA PUESTA EN SERVICIO DE LA SUBESTACION SANTIAGO II.

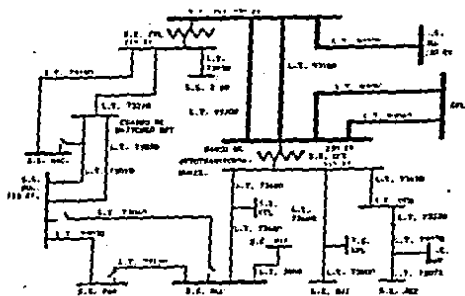


FIG. I.17.- DIAGRAMA UNIFILAR DE LA ZONA DE TRANSMISION CON LA SUBESTACION SANTIAGO II EN OPERACION.

A B R E V I A T U R A S

S.E. FVL	Subestación de la Central Hidroeléctrica Gral. - Francisco Villa, (Cd. Delicias, Chihuahua), 100 MVA.
S.E. CGD	Subestación Camargo II, (Cd. Camargo, Chih), 110 MVA.
S.E. HRL	Subestación Hércules, (Mineral de Hércules, Coah). Subestación particular de la Minera del Norte S.A.
GPL	Zona de Transmisión Laguna.
S.E. SGD	Subestación Santiago II, (San Fco. del Oro, Chih), 100 MVA.
S.E. PAR	Subestación Parral, (H. del Parral, Chih), 32.5 MVA.
S.E. SGO	Subestación Santiago I, (San Fco. del Oro, Chih), 60 MVA.
S.E. CGU	Subestación Camargo I, (Cd. Camargo, Chih), 40 MVA.
S.E. BOQ	Subestación de la Central Hidroeléctrica Boquilla (La Boquilla, Chih), Banco de transformación y - Planta fuera de servicio.
S.E. NAC	Subestación Naica, (Mineral de Naica, Chih). Subestación particular de la Cia. Fresnillo.
S.E. BUF	Subestación Búfalo, (Búfalo, Chih), 9.375 MVA.
S.E. JEZ	Subestación Jimenez, (Cd. Jiménez, Chih), 47.5 MVA.
S.E. RIF	Subestación Rio Florido, (Torreoncitos, Chih), 20 MVA.
S.E. K00	Subestación Kilómetro Ochenta y Ocho (Cd. Delicias, Chih), 20 MVA.
S.E. SMO	Subestación Santa María del Oro, (Santa. María del Oro, Dgo), 9.375 MVA.
S.E. BAR	Subestación Santa Bárbara, (Santa Bárbara, Chih). Subestación particular de la Minera y Metalurgica del Norte, S.A.
SRT	Cuadro de Switchéo Santa. Rita (Naica, Chih).
S.E. LPL	Subestación la Perla, (Mineral de la Perla, Chih), Subestación particular, propiedad de Altos Hornos de México S.A., AHMSA.

La Subestación Santiago II, contará con una capacidad mucho mayor, a modo de satisfacer las cargas mineras y forestales futuras, de las que según estudios de planeación se prevee un crecimiento de la manera siguiente:

AÑO	S.E. PARRAL	S.E. SANTIAGO
1982	24 MW	18 MW
1983	26 MW	21 MW
1984	28 MW	26 MW
1985	30 MW	38 MW
1986	32 MW	42 MW
1987	34 MW	46 MW
1988	37 MW	56 MW

(Datos proporcionados por la Subgerencia de estudios eléctricos de C.F.E.)

La fecha de la puesta en servicio de la Subestación Santiago II será a fines de 1985 y alimentará a las subestaciones existentes, algunas de las cuales estarán saturadas para esta fecha, para esto se contemplan otras 2 instalaciones de 7.5/9.375 MVA, 115-13.8 KV una en San Francisco del Oro, Chih. y la otra en Sta. María del Oro, Dgo.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA SUBESTACION:

La obra consiste de un banco de tres autotransformadores monofásicos con capacidades de 25/33.3 MVA, OA/FA, más uno de reserva; tendrá un alimentador en 230 KV el cual recibirá la carga proveniente del enlace Francisco Villa-Camargo II - Gómez Palacio. Fig. No. 1.18. De la instalación saldrán cuatro alimentadores en 115 KV, radiales a las subestaciones de Santa María del Oro, Dgo. y San Francisco del Oro, Chih., una línea a la Subestación Parral y otra a la Subestación Santiago I.

DATOS DE LA PLACA DEL AUTOTRANSFORMADOR:

AUTOTRANSFORMADOR DE 25/33.33 MVA. EN ACEITE CLASE OA/FA
FORMA NUCLEO 730/2300/2100 FASES 1 60 Hz. SERIE N° F-646-
01-00.

CAPACIDAD EN KVA			
DEV.	OA	FA	°C
H	25,000	33,333	55
X	25,000	33,333	55
Y	7,500	10,000	55

Z IMPEDANCIA A 75°C		
KVA	BASE	VOLTS BASE
HX=	33,333	230,000/1,732
HY=	10,000	230,000/1,732
XY=	10,000	115,000/1,732

TENSION EN VOLTS
230,000/1,732/115,000/1,732/13,800

ELEVACION DE TEMPERATURA

A PLENA CARGA CONTINUA
A 1,000 MSNM 55°C.

NIVELES BASICOS DE IMPULSO EN KV. DE ONDA COMPLETA					
	A.T.	B.T.		NEUTRO	TERCIARIO
BOQUILLA	1,050	650	/	200	110
DEVANADO	900	550	/	200	110

Pesos Aproximados Núcleo y Bobinas	34,000 Kg.
Tanque y Accesorios	14,800 Kg.
Aceite	30,528 Kg.
TOTAL	79,328 Kg.

Lts. cont. Aceite Tanque 29,486 Radiadores 1,620 conserva-
dor 2,644 Total 33,920 Lts.

DEVANADO	VOLTS	AMP E R E S		CAMBIADOR	BAJO	CARGA		
		DA	FA				POS	SELECTOR DE DERIVACIONES
ALTA TENSION	253,000/1.732	171	228	10L	1	(+)		
	250,700/1.732	173	230	9L	2			
	248,400/1.732	174	232	8L	3			
	246,100/1.732	176	235	7L	4			
	243,800/1.732	178	237	6L	5			
	241,500/1.732	179	239	5L	6			
	239,200/1.732	181	241	4L	7			
	236,900/1.732	183	244	3L	8			
	234,600/1.732	185	246	2L	9			
	232,300/1.732	186	249	1L	10			
	BAJA TENSION	230,000/1.732	188	251	HL		11	(-)
					H		k	
					HF		l	
		227,700/1.732	190	254	1R		2	
225,400/1.732		192	256	2R	3			
223,100/1.732		194	259	3R	4			
220,800/1.732		196	261	4R	5			
218,500/1.732		198	264	5R	6			
216,200/1.732		200	267	6	7			
213,900/1.732		202	270	7R	8			
211,600/1.732	205	273	8R	9				
209,300/1.732	207	275	9R	10				
207,000/1.732	209	279	10R	11				
BAJA TENSION	115,000/1.732	377	502					
TERCIARIO	13,800	543	725					

IMPEDANCIAS I

HX = 5

XY = 9.9

HY = 8.27

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

H/X + T = 4500 M Ω a 19°C y 500 Volts.

D.T./H + X + T = 5000 M Ω a 19°C y 500 Volts.

VER NOTA N° 1 SIG. PAG.

FACTOR DE POTENCIA

H/X + D.T. = 0.59 %, Capacitancia = 437 pF x K, K = 10 a 60 Hz.
20°C y 2500 Volts.

D.T./A.T. + T + B.T. = 0.37 %, Capacitancia = 623 pF x K, K=10

VER NOTA N° 2 SIG. PAG.

RELACIONES DE T.C.'s.

CONEXION	A M P E R E S	
	600/5	5000/5
X ₂ - X ₃	50	500
X ₁ - X ₂	100	1500
X ₁ - X ₃	150	2000
X ₄ - X ₅	200	1000
X ₃ - X ₄	250	2000
X ₂ - X ₄	300	2500
X ₁ - X ₄	400	4000
X ₃ - X ₅	450	3000
X ₂ - X ₅	500	3500
X ₁ - X ₅	600	5000

NOTA Nº 1: $H/X + T$ = Resistencia de Aislamiento entre el Devanado de Alta y Baja tensión (cortocircuitados) con respecto a tierra (el tanque).

$D.T./H + X + T$ = Resistencia de Aislamiento entre el Devanado Terciario y el de Alta Tensión más la correspondiente a Baja Tensión y las Resistencias con respecto a tierra.

NOTA Nº 2: $H/X + D.T.$ = Factor de Potencia entre los devanados Alta-Baja con respecto al terciario.

$D.T./A.T. + T + B.T.$ = Factor de Potencia los Devanados Terciario, de Alta y Baja tensión con respecto a tierra.

Datos de Placa Boquilla X₁

Boquilla Nº	HL7957407 - H
TIPO	UTXF
KV	145
BIL	650 KV
AMP.	630 A.
MARCA	MICAFIL

Datos de Placa Boquilla X₀

Boquilla Nº	39 - 56295
TIPO	B - 81315
KV	34.5
BIL	200 KV
AMP.	1200 A.
MARCA	LAPP INS. DIV. OF INTERFASE CORP.

Datos de Placa Boquilla H₁

Boquilla Nº	HL8050304
TIPO	UTXF
KV	245
BIL	1050 KV
AMP.	800 A.
MARCA	MECAFIL

PRECAUCIONES

- 1.- El nivel del aceite bajo la superficie de la brida de registro hombre más alto a 25°C es 0 cm.
- 2.- Llene el transformador con aceite aislante hasta que el indicador del nivel llegue a la marca de 25° C.
- 3.- El nivel del aceite cambia 1.6 Cm. por 10°C del cambio de temperatura del aceite.
- 4.- Nunca opere el transformador cuando el indicador esté bajo del límite inferior de su escala.
- 5.- Las conexiones de las derivaciones de alta tensión son hechas por su cambiador bajo carga.
- 6.- Cambiador de derivaciones MSI - 301 - 150/B -12233 w.
- 7.- El devanado terciario solamente se usa para estabilizar el neutro y suprimir armónicas.
- 8.- El transformador deberá estar con la boquilla Ho Xo adecuadamente aterrizado.
- 9.- Presión de operación del sist. de preservación de aceite 0.28 - 0.035 Kg/Cm² positivos.
- 10.- Pieza más pesada 45.000 Kg para embarque
- 11.- Presión de diseño de tanque y accesorios 1.03 Kg/Cm² --- positivos.
- 12.- Polaridad sustractiva
negativos. 1.03 Kg/Cm²
(Vacío completo).

DESCRIPCION DEL AUTOTRANSFORMADOR:

El autotransformador es acorazado, teniendo como principales componentes exteriores los siguientes, (Ver figuras I.18, I.19 y I.20).

- 1.- Base con ruedas orientables a 90°.
- 2.- Refuerzos para palanqueo y gatos.
- 3.- Placa para conexión a tierra para cables desde 2/0 AWG hasta 500 MCM.
- 4.- Válvula interconstruida para drenaje 50.8 Ø Nom. tipo globo.
- 5.- Placa conexión núcleo tierra.
- 6.- Válvula superior para el filtro prensa 50.8 Ø Nom tipo globo.
- 7.- Gabinete de control incluye tabllillas para instrumentos y accesorios equipo FA.
- 8.- Placa de características y nivel de aislamiento.
- 9.- Control de mando para cambiador de derivaciones.
- 10.- Indicador de temperatura del aceite.
- 11.- Orejas para el izaje del conjunto.
- 12.- Orejas para levantar la tapa.
- 13.- Indicador de nivel de aceite.
- 14.- Relevador Buchholz.
- 15.- Boquilla H_1 , conector cable ACSR 900 MCM.
- 16.- Boquilla X_1 , conector cable ACSR 795 MCM.
- 17.- Equipo de nitrógeno automático inerte.
- 18.- Relevador mecánico de sobrepresión.
- 19.- Registro hombre 550 mm. diam.
- 20.- Tanque conservador conectado al equipo de nitrógeno.
- 21.- Válvula para llenado 50.8 Ø Nom.
- 22.- Radiadores desmontables 6 baterías 27 oleas c/u L = 2896.
- 23.- Válvulas de paso del aceite para los radiadores.
- 24.- Ventiladores de flujo axial marca ASEA, 1/2 HP, 220 V, 3Ø, 60 HZ.
- 25.- Válvula de drenaje del conservador 50.8 Ø Nom. tipo globo.
- 26.- Válvula de paso del conservador al tanque principal 76.2

- Ø.
- 27.- Cople de drenaje para los radiadores con tapón macho 25.4 Ø Nom.
 - 28.- Relevador de protección para el cambiador.
 - 29.- Cubierta soldada.
 - 30.- Caja de salida de los TC,s.
 - 31.- Refuerzos horizontales del tanque conectados al equipo de nitrógeno.
 - 32.- Boquilla Y₁, conector tubo Al 38.1Ø IPS.
 - 33.- Boquilla Y₂, conector tubo Al 38.1Ø IPS.
 - 34.- Caja para boquilla de A. T.
 - 35.- Boquilla Xo Ho, conector tubo 38.1 Ø.
 - 36.- Indicador de temperatura del punto más caliente.
 - 37.- Salida para el instrumento registrador de temperatura.
 - 38.- Manovacuometro marca Imperial incluido en el equipo de nitrógeno.
 - 39.- Cambiador de derivaciones bajo carga.
 - 40.- Válvula de paso de conservador al cambiador 25.4 Ø Nom. tipo globo.
 - 41.- Soporte apartarrayos A. T.
 - 42.- Válvula para llenado del conservador 50.8Ø Nom. tipo globo.
 - 43.- Tubería para muestreo de gases del buchholz.
 - 44.- Escalera con protección y porta candado.
 - 45.- Base para anclaje.
 - 46.- Registro para levantar la parte viva 266 mm. Diam.
 - 47.- Conector para boquilla de H₁, X₁ Burndy NDR 6544 - T14 W.
 - 49.- Conector para boquilla de Ho, Xo Burndy XD 6617-T12 W tipo Expansión.
 - 50.- Frasco desecador con sílica-gel para cambiador de taps bajo carga.
 - 51.- Registro inspección cambiador 284 X 400.

El cambiador de derivaciones bajo carga, (NO. 39 a la fig. I.20), es un elemento importantísimo en la operación del equipo, ya que nos permite variar la relación de transformación, sin necesidad de realizar onerosas interrupciones en el suministro de la ener-

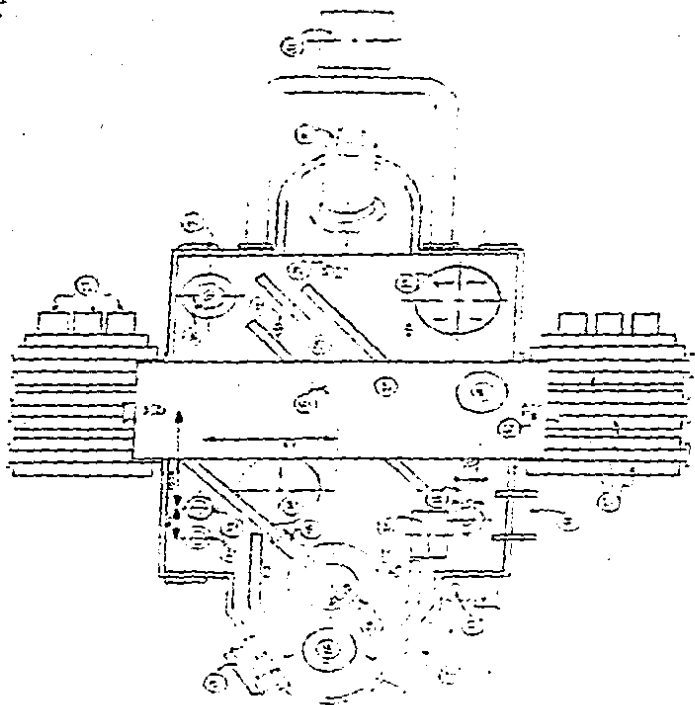


FIG. 1.20: COMPONENTES EXTERIORES PRINCIPALES DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA.

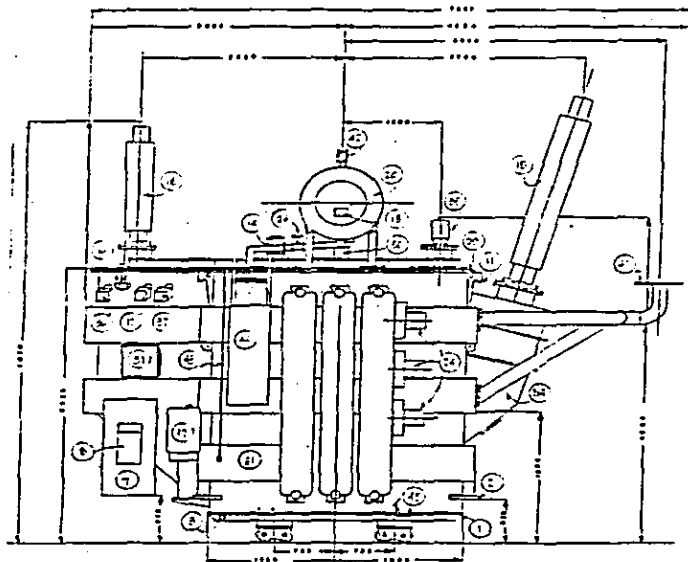


FIG. 1.21: COMPONENTES EXTERIORES PRINCIPALES DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA.

gía eléctrica, que acarrearán pérdidas a la empresa distribuidora y al usuario mismo. Esto nos auxilia, en la conservación del nivel de voltaje secundario requerido, aún con variaciones en la carga y en el potencial primario.

Las características principales que debe reunir para efectuar su funcionamiento, son:

- Servicio intemperie, donde las partes que están en contacto con el aire, deberán ser diseñadas para una temperatura ambiente mínima de -25°C y máxima de 50°C , las partes que estén sumergidas o en contacto con el aceite, deberán diseñarse para temperaturas de operación entre -25°C y 90°C .
- El conmutador deberá operar en un recipiente de aceite propio e independiente, para evitar la contaminación del aceite del transformador.
- El cambiador debe soportar las condiciones de presión y vacío, que el autotransformador soporte en conjunto; debe además contar con un relevador Buchholz o similar, con contactos independientes de alarma y disparo, así como también de un diafragma de neopreno o relevador para sobrepresión.
- El cambiador debe contar con un mando de operación manual y con motor eléctrico, que deberán estar contenidos en un gabinete de control, el cual a su vez contendrá lo siguiente:
 - a).- Conmutadores para los circuitos de control de subir y bajar posición (Contactos momentáneos).
 - b).- Indicador de posición, así como provisión para el indicador remoto.
 - c).- Contactos de disparo por mecanismo trabado.

- d).- Contador de operaciones.
- e).- Termostato y resistencia calefactora.
- f).- Contactores paso a paso, para que cada operación del conmutador cause solamente el movimiento de un paso a otro consecutivo, independientemente de la duración del pulso de control.
- g).- Contactores de fin de carrera o de posiciones extremas.
- h).- Tablillas terminales para fuerza y control.

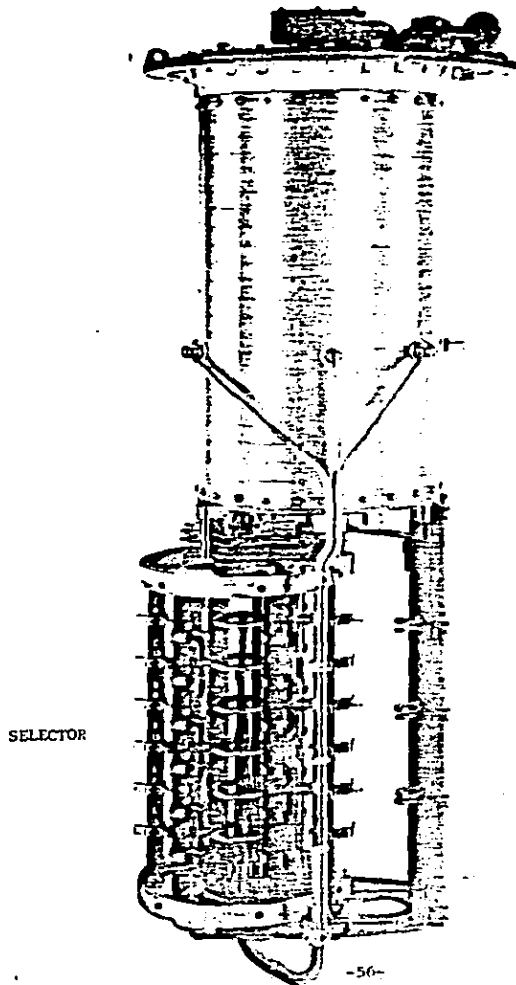
- El cambiador deberá contar con las flechas, reductores y engranes, necesarios para transmitir la energía mecánica del mando a motor al conmutador-selector.

El cambiador de taps o derivaciones, consta de las siguientes partes esenciales, (ver Fig. 1.21, 1.21A, 1.21B, 1.21C, 1.21D, 1.21E),

- 1.- La cabeza o cabezal del conmutador.
- 2.- El compartimiento de aceite.
- 3.- El cuerpo insertable o ruptor.
- 4.- El conmutador.
- 5.- El selector.
- 6.- Relevador RS 2001.
- 7.- Diafragma para liberación de presión.
- 8.- Mando a motor.

Los datos técnicos más relevantes son:

Modelo: MSI 301
 Marca: MASCHINENFABRIK REINHAUSEN
 No. de Polos: Uno
 Corriente máxima: 300 Amperes.
 Resistencia al cortocircuito (KA)
 térmica (3 seg): 5
 dinámica (valor pico): 12.5
 Tensión máxima por escalón: 3000 Volts.



CABEZA DEL
CONSTRADOR

COMPARTIMIENTO DEL
ACEITE

SELECTOR

FIG. 1. 21: CAMBIA
DOR DE DERIVACIONES
BAJO CARGA.- MARCA
MASCHINENFABRIK REIN
HAUSEN, MODELO MSI
301.

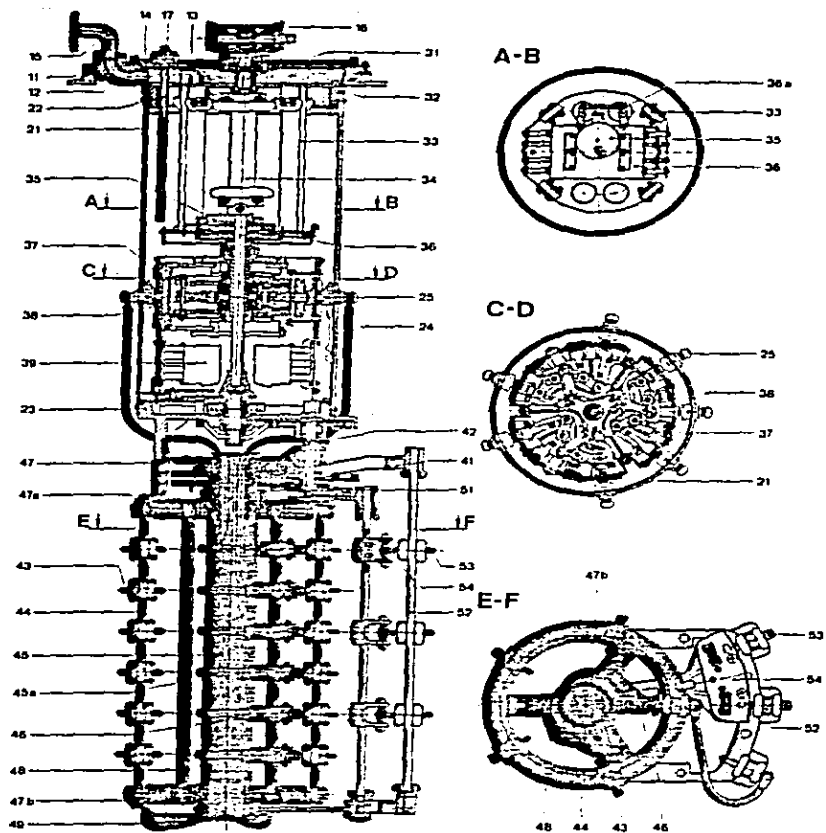


FIG. 1: 21 A COMPONENTES PRINCIPALES DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO CARGA.

Grupo 10 Cabezal del conmutador

- 11 brida de montaje
- 12 caja del cabezal del conmutador
- 13 tapa del cabezal del conmutador
- 14 disco indicador de posición
- 15 conexión para tubería (orientable)
- 16 engranaje superior de accionamiento (orientable)
- 17 tapón de purga

Grupo 20 Depósito de aceite del ruptor

- 21 cilindro del depósito de aceite
- 22 brida superior con junta
- 23 brida interior con junta
- 24 contacto deslizante
- 25 conector

Grupo 30 Ruptor propiamente dicho

- 31 acoplamiento
- 32 placa soporte
- 33 barra soporte
- 34 Eje accionamiento
- 35 excéntrica
- 36 acumulador de energía con trinquete 36a.
- 37 sistema de contactos fijos
- 38 sistema de contactos móviles
- 39 resistencia de paso

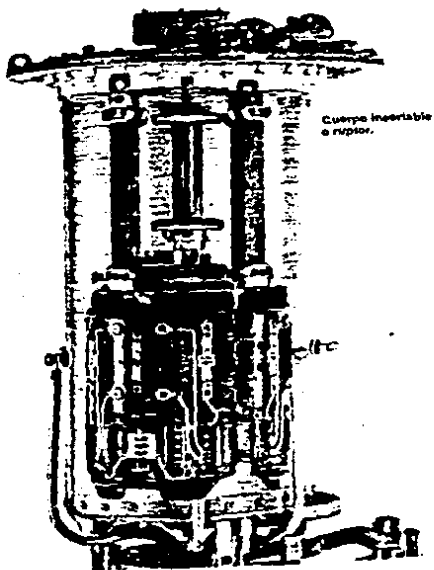
Grupo 40 Selector fino

- 41 engranaje de transmisión del selector
- 42 acoplamiento
- 43 terminal de conexión
- 44 barra de papel baquelizado
- 45 eje central del selector con los anillos de salida 45a.
- 46 contacto deslizante del selector
- 47 fijación del selector
 - 47a aro superior
 - 47b aro inferior

Grupo 50 Inversor

- 51 accionamiento del inversor
- 52 Barra contactos fijos del inversor
- 53 terminal de conexión
- 54 contacto móvil.

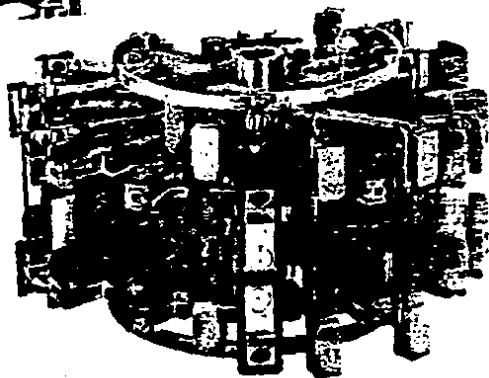
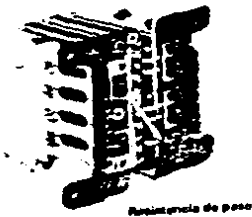
FIG. 1. 21 B: DIVERTER SWITCH DEL
CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO CARGA.
(RUPTOR Y CONMUTADOR).



Martillo deslizante
Tensor de muelle
Tirante



CONMUTADOR



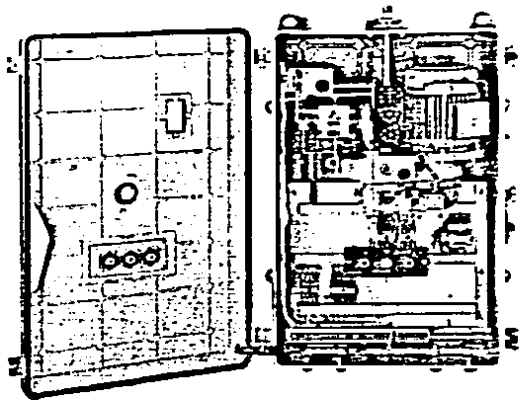


FIG. 1. 21 C: MANDO A MOTOR MA - 7

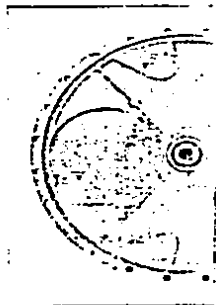


FIG. 1.21 D: DIAFRAGMA PARA LA
LIBERACION DE PRESION

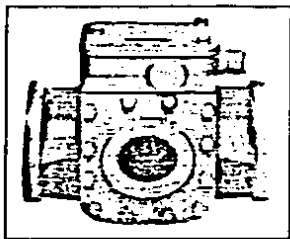


FIG. 1.21 E: RELEVADOR RS 2001

Potencia máxima por escalón: 900 KVA
Posición de servicio: 23 con inversor
Frecuencia nominal: 60 ± 5 Hz.

Con accionamiento a motor MA-7, caja con protección de intemperie, motor 220/380V, 3Ø, 60 Hz, 3.0 Kw.

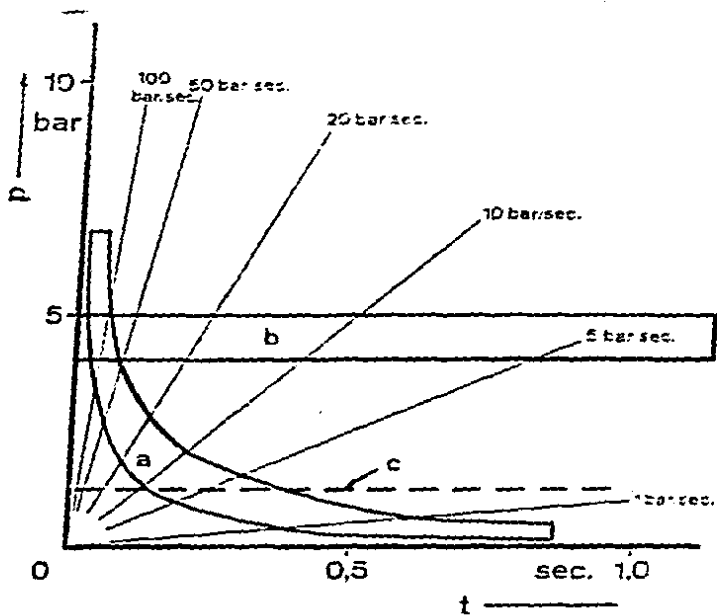
Operación paso a paso, con control local y remoto, fines de carrera eléctricos y mecánicos, posibilidad para indicación remota de posiciones (instrumento, de bobina cruzadas, lámpara ó digital). Accionamiento manual de emergencia y para ajuste.

Para la protección del cambiador de derivaciones, se cuenta con un relevador RS 2001, (No. 28 de la Fig. 1.20), cuyo funcionamiento no puede ser provocado más que por la circulación de un flujo de aceite, desde la cabeza del regulador hacia el tanque conservador de aceite. Este flujo empuja una clapeta haciéndola bascular a la posición de desconexión. Este relevador debe ser conectado de tal manera, que su funcionamiento provoque la desconexión inmediata del autotransformador, por medio de sus interruptores.

También se tiene para protección del cambiador de taps un diafragma integrado a la tapa, el cual actúa cuando existe una falla en el ruptor, misma que produciría presiones excesivas al liberarse grandes cantidades de energía, rompiéndose.

Las características de respuesta de estos sistemas de protección se muestran en la figura siguiente: (Ver Fig. No. 1.22).

La boquilla H₁, clase 230 KV, modelo UTxF 245-1050/60 y la boquilla X₁, clase 138 KV, modelo UTxF 145-650/630, ambas de la marca MICAFIL, (Nos. 15 y 16 de la Fig. 1.19 y 1.20), son bushings cuyo principal aislante es su núcleo de DRISOMIC, que es una nueva laminación de papel impregnado de una resina sintética, caracterizada por quedar libre de descargas parciales,



- a.- Relevador RS 2001
 b.- Diafragma
 c.- Relevador DW 2000

FIG. 1. 22: CARACTERISTICA DE RESPUESTA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES.

con capas condensadoras para el control del campo.

Este material da a la boquilla un principio de descarga parcial mayor o igual a 1.5 veces el voltaje de servicio a tierra pertenece a la clase térmica E, cuya temperatura continua debe ser menor o igual a 120°C.

El papel está enrollado directamente sobre el tubo metálico central, siendo hermético al aceite la unión o fijación de la brida sobre el cuerpo aislante. Los empaques son de corcho con impregnación de hule a prueba de aceite. El espacio entre el núcleo aislante y el cuerpo de la porcelana está lleno con aceite aislante de muy alta viscosidad.



FIG. I.23: BOQUILLA X₁, CLASE 138 KV, (Izq.) Y BOQUILLA H₁, CLASE 230 KV, (Der.), MARCA MICAFIL.

La cámara de expansión de aceite está en la parte superior de la boquilla con un sello hermético. En la brida hay una conexión para el relevador Buchholz o para la desairación del — transformador. (Ver Fig. I.23). Los bushings están acondicionados con un tap de medición propio de tierra, para la prueba del factor de potencia y capacitancia con la brida aterrizada.

Las boquillas Y_1 y Y_2 , (Nos. 32 y 33 en la figura I.20), de — clase 15 KV, tipo NMC, de 2000 amperes marca LAPP DIV. INTERPACE CORP., de porcelana estándar. (Ver fig. I.24). La boquilla $X_{O_2H_0}$, (No. 35 en la figura I.20), clase 34.5 KV, tipo — B-82315, de 1200 amperes, es de la marca MC. GRAY. (Ver fig. I.24).

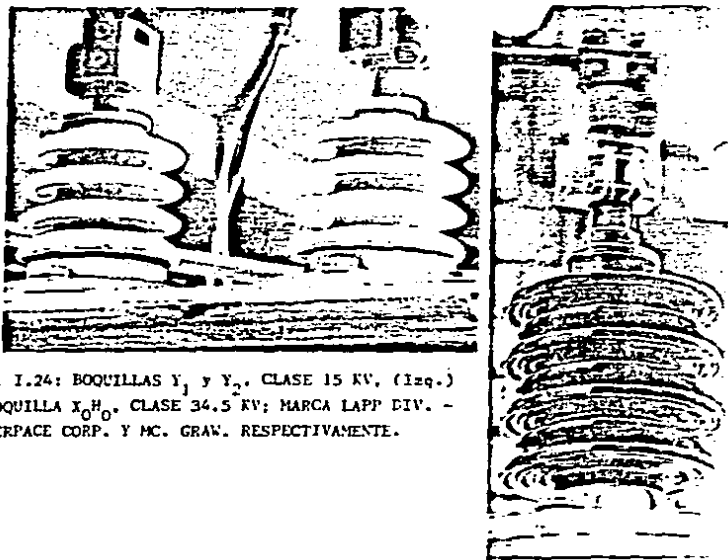


FIG. I.24: BOQUILLAS Y_1 y Y_2 , CLASE 15 KV, (Izq.) Y BOQUILLA $X_{O_2H_0}$, CLASE 34.5 KV; MARCA LAPP DIV. - INTERPACE CORP. Y MC. GRAY. RESPECTIVAMENTE.

Gabinete de control (No. 7 de la fig. 1.19 y 1.20), contiene las tabletillas de las terminales de los transformadores de corriente tipo bushing que se encuentra en el interior del transformador, las terminales de los instrumentos de protección y medición propios y de los accesorios para el equipo FA. (Ver fig. 1.25).

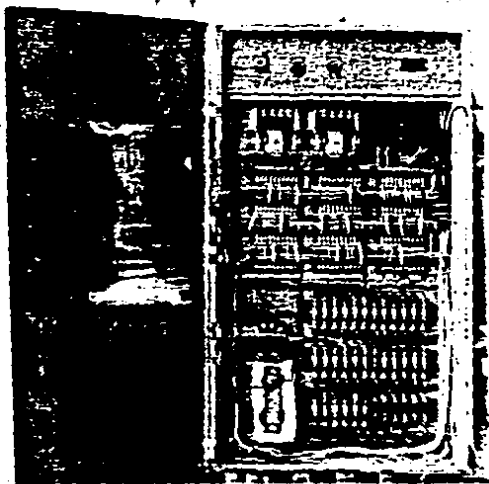


FIG. 1.25: GABINETE DE CONTROL.

El equipo inerte de nitrógeno marca PYEESA, número 17 de las Fig. 1.19 y 1.20, es el sistema que nos ayuda a eliminar el oxigeno y humedad, que por los cambios de volúmen del aceite, dife-rencias de temperatura entre el interior y el exterior o algu-nas otras causas, pudieran ser absorbidos en un momento dado dentro del autotransformador.

Este equipo de nitrógeno mantiene un colchón de gas inerte den-tro del tanque, evitando así la oxidación del aceite dielectrí-co, (ver fig. 1.26), consta además de un sistema de alarma que

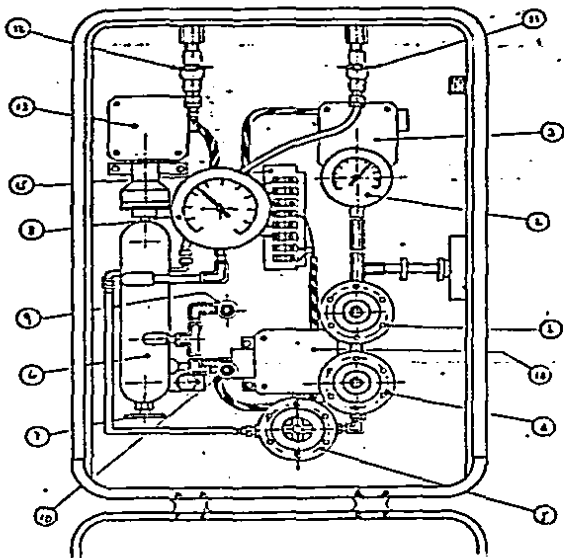


FIG. I.26: EQUIPO INERTER DE NITROGENO MARCA PYEESA.

- 1.- Regulador del 1er. Inso
- 2.- Manómetro
- 3.- Presostato del cilindro de nitrógeno
- 4.- Regulador del 2º Inso
- 5.- Regulador del 3er. Inso
- 6.- Tanque de Sumidero
- 7.- Válvula de Purga
- 8.- Manovacuómetro
- 9.- Válvula de alivio de 6.5 PSI
- 10.- Válvula de alivio de 4 PSI
- 11.- Válvula de cierre del sistema
- 12.- Válvula de muestra
- 13.- Presostato de alta presión
- 14.- Presostato de Vacío

acciona cuando en el cilindro queda poca cantidad, otra alarma acciona cuando la presión del tanque llega a ser muy alta y una tercera cuando se forma vacío.

El relevador buchholz, marca MICAFIL, modelo MA 103, (No. 14 de la figura 1.19 y 1.20), es un dispositivo de protección cuyo propósito es el de anunciar fallas menores en equipo eléctrico con una señal de alarma y operar los equipos interruptores para librar el transformador en caso de fallas serias, previniendo con esto consecuencias más graves en situaciones de falla.

La reacción del relevador es inmediata y es producida por el gas que se forma durante el cortocircuito y que es recogido en la parte superior de un alojamiento donde acciona dos flotadores localizados uno arriba de otro, mismos que varían hacia la posición más baja cuando la burbuja de gas se aloja.

El flotador superior reacciona obviamente con una pequeña acumulación de gas, cerrando su contacto A, señalizando la anomalía. El flotador inferior acciona con una gran acumulación de gas, activando el contacto que dispara el o los interruptores que desenergizan el equipo transformador. (Ver fig. 1.27).

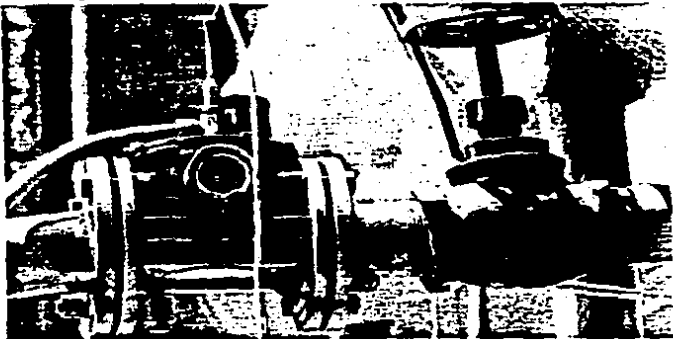
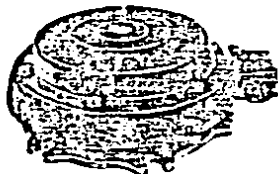


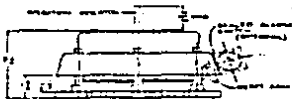
FIG. 1.27: RELEVADOR BUCHHOLZ. MARCA MICAFIL MA 103.

El relevador mecánico de sobrepresión QUALITROL 208-60F, (No. 18 en la Fig. 1.20), juega un papel muy importante en la protección del autotransformador. Si ocurriese una falla o cortocircuito, instantáneamente el arco vaporiza el aceite aislante, causando un extremadamente rápido aumento en la presión del gas, la cual, de no liberarse adecuadamente en milésimas de segundo, el tanque del transformador correría el riesgo de romperse y rociar aceite inflamado al área adyacente.

Las posibilidades de daño y riesgo de incendio como consecuencia de esto, son obvios, por lo cual, es imperativo tomar las medidas necesarias para prevenirlo. El diseño de relevador mecánico es tan sensible que libera presiones peligrosas en aproximadamente 2 milisegundos. (Ver fig. 1.28).



- 1 Brida de montaje
- 2 Encaque para anillo de montaje
- 3 Disco de la válvula con carga de resorte
- 4 y 5 Anillos de sello
- 6 Cubierta
- 7 Tornillos
- 8 Puntera mecánico indicador, reset. c. d.
- 9 Tornillo del switch de alarma al alam.
- 10 Placa de reset de la alarma.



ALARMA DE SEÑAL SWITCH REPONDAI



Item	Descripción
1	Alarma de Señal Reponda
2	Alarma de Señal Reponda
3	Alarma de Señal Reponda
4	Alarma de Señal Reponda
5	Alarma de Señal Reponda
6	Alarma de Señal Reponda
7	Alarma de Señal Reponda
8	Alarma de Señal Reponda
9	Alarma de Señal Reponda
10	Alarma de Señal Reponda
11	Alarma de Señal Reponda
12	Alarma de Señal Reponda
13	Alarma de Señal Reponda
14	Alarma de Señal Reponda
15	Alarma de Señal Reponda
16	Alarma de Señal Reponda
17	Alarma de Señal Reponda
18	Alarma de Señal Reponda
19	Alarma de Señal Reponda
20	Alarma de Señal Reponda
21	Alarma de Señal Reponda
22	Alarma de Señal Reponda
23	Alarma de Señal Reponda
24	Alarma de Señal Reponda
25	Alarma de Señal Reponda
26	Alarma de Señal Reponda
27	Alarma de Señal Reponda
28	Alarma de Señal Reponda
29	Alarma de Señal Reponda
30	Alarma de Señal Reponda
31	Alarma de Señal Reponda
32	Alarma de Señal Reponda
33	Alarma de Señal Reponda
34	Alarma de Señal Reponda
35	Alarma de Señal Reponda
36	Alarma de Señal Reponda
37	Alarma de Señal Reponda
38	Alarma de Señal Reponda
39	Alarma de Señal Reponda
40	Alarma de Señal Reponda
41	Alarma de Señal Reponda
42	Alarma de Señal Reponda
43	Alarma de Señal Reponda
44	Alarma de Señal Reponda
45	Alarma de Señal Reponda
46	Alarma de Señal Reponda
47	Alarma de Señal Reponda
48	Alarma de Señal Reponda
49	Alarma de Señal Reponda
50	Alarma de Señal Reponda
51	Alarma de Señal Reponda
52	Alarma de Señal Reponda
53	Alarma de Señal Reponda
54	Alarma de Señal Reponda
55	Alarma de Señal Reponda
56	Alarma de Señal Reponda
57	Alarma de Señal Reponda
58	Alarma de Señal Reponda
59	Alarma de Señal Reponda
60	Alarma de Señal Reponda
61	Alarma de Señal Reponda
62	Alarma de Señal Reponda
63	Alarma de Señal Reponda
64	Alarma de Señal Reponda
65	Alarma de Señal Reponda
66	Alarma de Señal Reponda
67	Alarma de Señal Reponda
68	Alarma de Señal Reponda
69	Alarma de Señal Reponda
70	Alarma de Señal Reponda
71	Alarma de Señal Reponda
72	Alarma de Señal Reponda
73	Alarma de Señal Reponda
74	Alarma de Señal Reponda
75	Alarma de Señal Reponda
76	Alarma de Señal Reponda
77	Alarma de Señal Reponda
78	Alarma de Señal Reponda
79	Alarma de Señal Reponda
80	Alarma de Señal Reponda
81	Alarma de Señal Reponda
82	Alarma de Señal Reponda
83	Alarma de Señal Reponda
84	Alarma de Señal Reponda
85	Alarma de Señal Reponda
86	Alarma de Señal Reponda
87	Alarma de Señal Reponda
88	Alarma de Señal Reponda
89	Alarma de Señal Reponda
90	Alarma de Señal Reponda
91	Alarma de Señal Reponda
92	Alarma de Señal Reponda
93	Alarma de Señal Reponda
94	Alarma de Señal Reponda
95	Alarma de Señal Reponda
96	Alarma de Señal Reponda
97	Alarma de Señal Reponda
98	Alarma de Señal Reponda
99	Alarma de Señal Reponda
100	Alarma de Señal Reponda

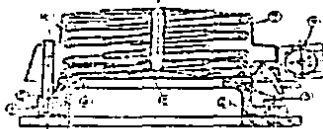


FIG. 1. 28: RELEVADOR MECANICO DE SOBREPRESION QUALITROL 208 - 60F.

El indicador de temperatura del aceite, marca IESA NP 105 (No. 10 en la fig. 1.19), se utiliza por los requerimientos y alarma por alta temperatura y el arranque de los ventiladores a una temperatura predeterminada. Es un instrumento con carátula operando por un elemento bimetálico, fabricado a prueba de intemperie.

Los dos interruptores del indicador están graduados para operar a diferente temperatura; el interruptor del nivel más bajo, controla el circuito de ventiladores, mientras que el del nivel más alto opera directamente sobre los equipos interruptores. (Ver Fig. No. 1.29).

El indicador de punto más caliente, (No. 36 de la fig. 1.19), marca IESA tipo TPC-3 NP-108, es operado por un elemento bimetálico y una bobina calefactora, esta última tiene como función calentar al elemento a la temperatura del punto más caliente del devanado del transformador, haciendo circular por ella una corriente que es, en todo momento proporcional a la corriente de carga.

El indicador tiene montados tres micro interruptores calibrados a diferentes niveles de temperatura; el primero de ellos opera el circuito de control del equipo de ventilación forzada, el segundo el circuito de alarma y el tercero el disparo de los interruptores del equipo.

De este modo, estos interruptores cumplen con cuatro funciones:

- Indican la temperatura máxima e indicada dentro del transformador.
- Proporcionan el cierre del circuito de control del enfriamiento adicional por medio de ventiladores.
- Operan un circuito de alarma cuando la temperatura alcanza un valor predeterminado.
- Opera los interruptores de protección del transformador cuando la temperatura alcanza un valor tal que pueda dañar los aislamientos del transformador.

La aguja indicadora de color rojo, nos registrará además la temperatura máxima alcanzada por los devanados del autotransformador. (Ver fig. I.30).

El indicador del nivel, marca IESA, Mod. NP-105, (No. 13 de la fig. I.19), señala el nivel de aceite interior del transformador. La marca de 25°C se considera el nivel normal, cuando se tiene dicha temperatura en el aceite. Este al calentarse tenderá a mover la aguja indicadora hacia la marca superior, pero de llegar a ella, opera un contacto que nos puede servir para un circuito de alarma. De igual forma sucede al disminuir su volumen por fuga o un enfriamiento brusco.

Es un indicador tipo carátula, utilizado para transformadores, cuyo junta con el tanque principal o tanque conservador cuando se tiene, es hermética para evitar fugas de aceite y entrada de humedad. (Ver fig. No. I.31).

Interiormente se encuentra tan solo, la parte sumergible del cambiador de derivaciones, el núcleo laminado, los devanados, los transformadores de corriente tipo bushings, los conectores de derivaciones al cambiador y una terminal para tierra, principalmente.

El tanque principal debe estar totalmente lleno de aceite, - cuando el transformador está en operación.

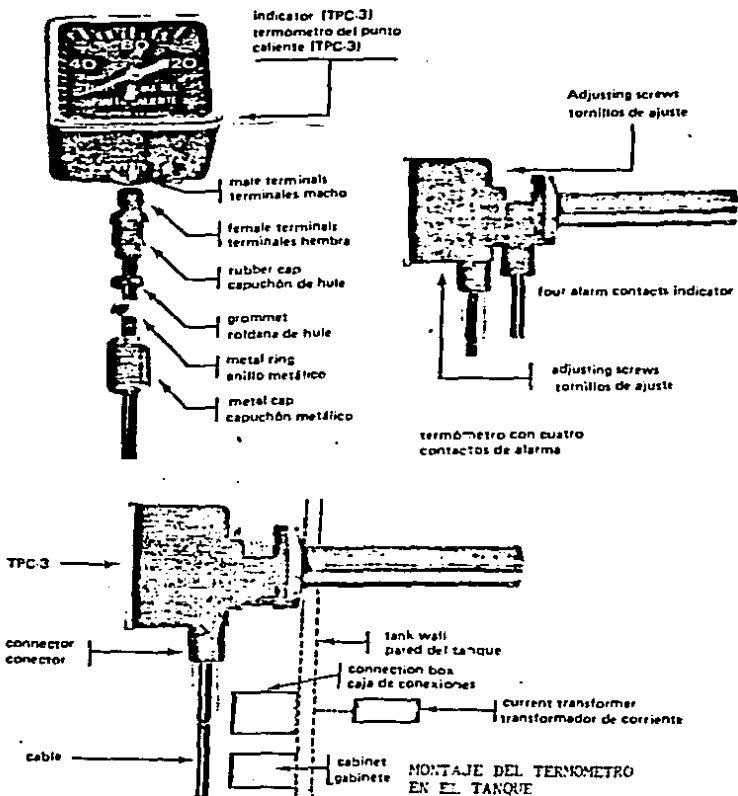


FIG. 1.30 : INDICADOR DEL PUNTO MAS CALIENTE, MARCA IESA, TIPO TPC-3-NP-108.

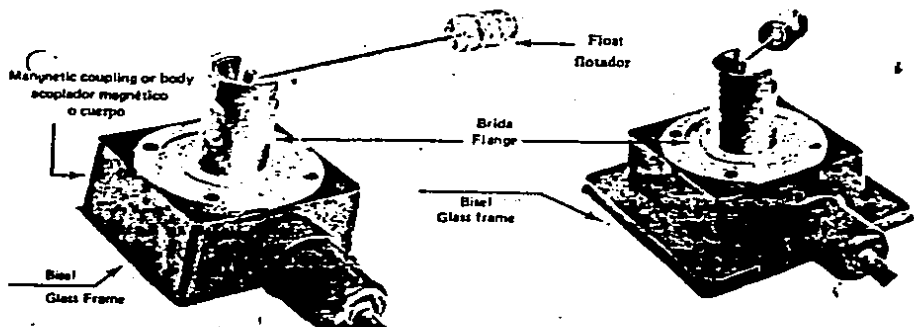
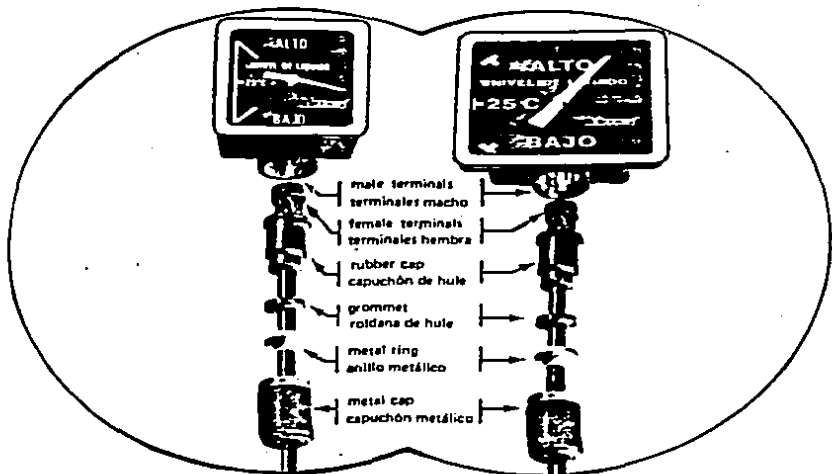


FIG. 1.31 : INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE, MARCA IESA. MOD. NP-105 .

CAPITULO II .- PREPARACION DEL AUTOTRANSFORMADOR.

- 1.- PREPARACION PARA LA PUESTA EN SERVICIO.
- 2.- PRUEBAS DE CAMPO PRELIMINARES.
- 3.- SOLIDOS DEL AUTOTRANSFORMADOR.
- 4.- METODOS DE SECADO.

CAPITULO II .- PREPARACION DEL AUTOTRANSFORMADOR.

1.- PREPARACION PARA LA PUESTA EN SERVICIO.

De vital importancia para la operación de un autotransformador lo es su puesta en servicio y para obtener buenos resultados es este renglón deberá ser preparado previamente en forma correcta.

La incidencia actual de fallas es estos equipos, nos indica dos causas principales: Daños ocasionados en el embarque y traslado y presencia de humedad en el interior del transformador:

Los daños ocasionados en el embarque y traslado pueden ser eliminados casi en su totalidad, estableciendo como normas:

- El Transporte por medios y vías adecuadas.
- Robustez en sus partes mecánicas.
- Sujeción de sus partes interiores.
- El embarque cuidadoso de bushings y accesorios.
- La meticolosa revisión de los registradores de impacto que son colocados en el equipo para su transporte.
- La minuciosa inspección interior y exterior del equipo en su lugar definitivo, revisadas y analizadas por personal técnico calificado.

La presencia de humedad en el interior de los transformadores puede ser eliminada por medio de algunas prácticas:

- Mantenimiento bajo presión positiva al equipo con nitrógeno desde su embarque en fábrica.
- Correcto traslado y almacenamiento de bushings, radiadores, tanque conservador, tuberías y demás equipo

accesorio.

- El chequeo y la corrección eficiente de fugas.
- La elección de un buen procedimiento de secado.
- Llenado con aceite seco.
- Sello hermético.

La preparación de un transformador, en nuestro caso del autotransformador, la dividiremos de la siguiente forma:

- A).- Recepción.
- B).- Inspección interior y exterior.
- C).- Reparación de daños.
- D).- Montaje, chequeo y corrección de fugas.

A).- RECEPCION:

Las condiciones en que un transformador se recibe, depende de su capacidad y voltaje. Transformadores con capacidades como el nuestro, se pueden recibir de las siguientes maneras:

- Transformador sin aceite, con presión positiva a base de nitrógeno y todos sus elementos accesorios aparte, (Bushings, radiadores ó enfriadores, tanque conservador, tuberías, indicadores, ruedas, terminales, etc).
- Transformador armado, sin aceite, con presión positiva a base de nitrógeno.
- Transformador completamente armado y lleno con aceite seco.

En nuestro caso, el autotransformador monofásico de potencia, marca CH, fue transportado vía terrestre desde su fábrica, en la ciudad de Monterrey, hasta el sitio donde se ubica la Subestación Santiago II, en las inmediaciones de San Francisco del Oro, Chih., sin aceite aislante, presurizado con nitrógeno, con sus accesorios separados perfectamente empacados y protegidos.

Antes de ser descargados, se verificaron los siguientes puntos:

- De acuerdo con la remisión del fabricante, se recibió el autotransformador y sus accesorios completos, a excepción del gabinete de control y equipo de Sílica Gel, que no llegaron en la remesa.
- Se analizó la posición en la que llegó el tanque y se comparó con la posición de salida en fábrica, llegándose a la conclusión de que el autotransformador no sufrió desplazamiento alguno en su traslado.
- Los sistemas de sujeción de la carga, (pernos, tornillos, tirantes, etc), no presentaban deformación o fractura que denotaran que hubiesen sido objeto de esfuerzos de consideración.
- Se realizó una inspección externa rápida, sin encontrar detalle de consideración, en el autotransformador ó sus accesorios.
- Se revisaron las gráficas del registrador de impactos, sin encontrar nada relevante. (Anexamos un fragmento de la gráfica en la Fig. No. 11.1).*
- Se verificó la presión de nitrógeno, tomando en cuenta la presión indicada en la tarjeta de embarque del autotransformador, haciendo para ésto las correcciones debidas con ayuda de la fórmula general de los gases:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{Ecuación 11.1.1}$$

*Como nota, diremos que los transformadores de potencia están diseñados para soportar impactos horizontales — hasta de 4g y verticales de 1g, donde 1g = peso del — autotransformador.

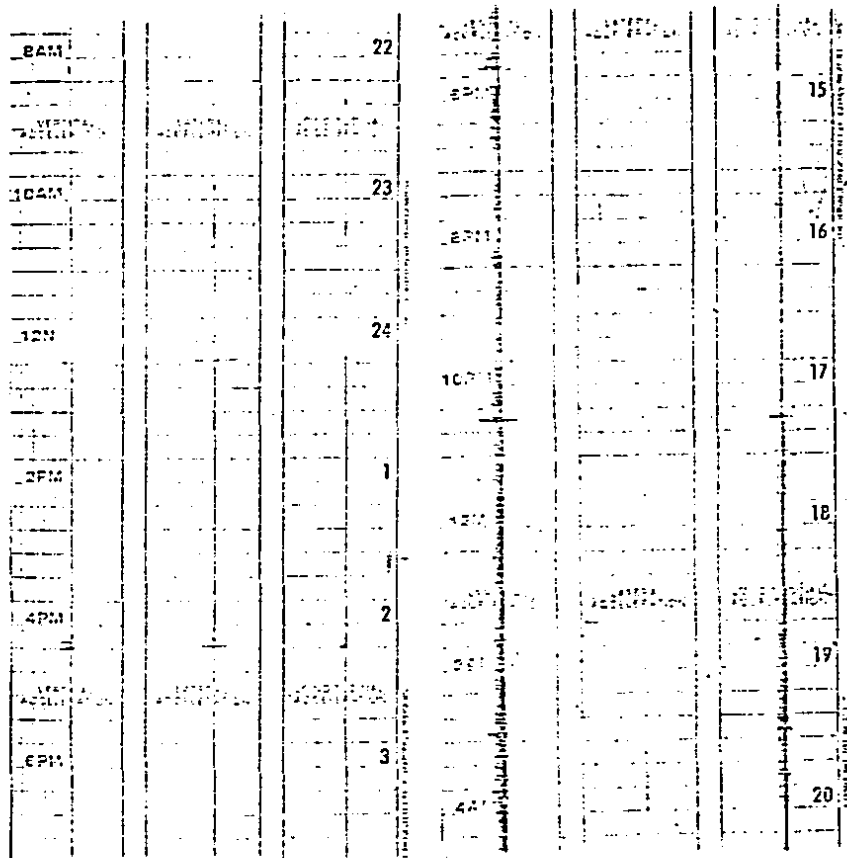


FIG. 11.1 : FRAGMENTOS DE LA GRAFICA DEL REGISTRADOR DE IMPACTOS

Como en nuestro caso, el proceso es isovolumétrico:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

En donde: P_1 .- Presión en el lugar de embarque, en Lbs/Pg³ o Kg/Cm³
 P_2 .- Presión en el lugar de recepción, en Lbs/Pg³ o Kg/Cm³
 T_1 .- Temperatura en el lugar embarque, en °K.
 T_2 .- Temperatura en el lugar de recepción, en °K.

Despejando:

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

La tarjeta de embarque señalaba 3.2 Lbs/pg³ a 27°C de temperatura, condiciones en las que se presurizó el autotransformador en fábrica. Como éste se recibió a 2.8 Lbs/pg³ a 35°C, tenemos:

$$P_2 = \frac{3.2 \text{ Lbs/pg}^3 \times 308.5}{300.5}$$

$$P_2 = 3.285 \text{ Lbs/pg}^3$$

Es obvio, que el autotransformador no se recibió con la presión debida, lo que nos indica que existe una fuga en el tanque principal, la cual explicaremos posteriormente como detectar y subsanar.

B).- INSPECCION EXTERNA E INTERNA:

INSPECCION EXTERNA: Revisión visual minuciosa, realizada en todo el exterior del autotransformador, con el fin de localizar posibles daños o defectos e inva-

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

riablemente incluye a sus accesorios.

Los principales puntos a verificar son los siguientes:

- a.- Radiadores.
- b.- Equipo inerte o sistema de nitrógeno.
- c.- Termómetro de líquido.
- ch.- Placa de características.
- d.- Relevador Térmico de sobrecarga o de punto más caliente.
- e.- Relevador Buchholz.
- f.- Relevador de sobrepresión.
- g.- Relevador de presión súbita del cambiador de taps RS 2001 y diafragma.
- h.- Indicador de nivel de aceite.
- i.- Tubo de alivio o cuello de ganso.
- j.- Cordones de soldadura.
- k.- Tanque principal.
- l.- Refuerzos y tapas.
- ll.- Tanque conservador y/o expansión.
- m.- Válvulas.
- n.- Birlos de bridas.
- ñ.- Ruedas.
- o.- Frenado.
- p.- Bridas, coples, etc.
- q.- Llave de estoperos y estoperos.
- r.- Gabinete de control o centralizador.
- rr.- Ventiladores.
- s.- Tuberías.
- t.- Conectores.
- u.- Gabinete de cambiador de taps bajo carga.
- v.- Equipo de sílica gel.
- w.- Buquillas o bushings.
- x.- Escaleras.
- y.- Tornillería.
- z.- Placa de conexión a tierra.

De los detalles encontrados al autotransformador CM...

tenemos como más sobresalientes los siguientes:

- d.- El relé térmico de sobrecarga (T.R.O.) carece de hermeticidad, requiere reemplazo.
- e.- El relevador Buchholz tiene un bulbo de mercurio lleno de aceite, dando como consecuencia que se tenga un sólo contacto disponible de dos que se requieren.
- g.- El relevador de presión súbita deberá ser cambiado por tener contactos normalmente cerrados, requiriéndose contactos normalmente abiertos.
- 11.- La tubería soldada de salida del tanque conservador es demasiado larga, por lo que deberá ajustarse de tal forma que pueda alojarse al relevador buchholz sin ejercer sobre él presión alguna.
Se encontraron bastantes rebabas metálicas alojadas en su interior.
- m.- Falta una válvula para desfogue rápido.
- n.- Reemplazar los birlos capados, oxidados y los excesivamente largos.
- ñ.- Rueda trasera izquierda presenta una fisura de consideración.
- r.- No llegó en el esburque el gabinete de control.
- s.- Existen tramos de tubería golpeados.
- u.- Gabinete de cambiador de derivaciones muy sucio.
- v.- Equipo de sílica gel faltante.
- w.- El bushing secundario tiene una campana o faldón más, no permitiendo el ajuste de su terminal interior. Deberá modificarse la rosca hembra de los flanges.

Entre los puntos anteriores los que no se mencionaron, algunos fué porque no se les encontró defecto o daño relevante.

INSPECCION INTERNA.- En todos los transformadores de potencia a preparar para su puesta en servicio se hace necesario realizar la inspección interna, a fin de comprobar que los aislamien

tos, estructuras, cambiadores de taps, etc.. no hayan sufrido daños durante el transporte, se encuentren completos y carezcan de defectos de fábrica, en caso de localizarse alguna anomalía notificarse de inmediato al fabricante para tomar las medidas respectivas para su rehabilitación, reemplazo o compostura.

Para poder efectuar una revisión interna, se hace absolutamente necesario tomar las precauciones extremas a fin de evitar riesgos de sofocación o contaminación por el nitrógeno, para esto, deberá evacuarse el gas con una bomba de vacío, para posteriormente destapar el tanque del transformador y esperar a que el contenido de oxígeno sea mayor al 19.5% en él, o dejarlo destapado aproximadamente por dos horas.

Un transformador jamás se deberá abrir en circunstancias que permitan la entrada de humedad, como días lluviosos ó con ambientes de humedad relativa alta, así como tampoco en lugares más calientes que el mismo tanque principal, en este último caso, se deberá abrir hasta que se elimine todos los signos de condensación externa.

Se deberá evitar que objeto extraño alguno quede dentro del transformador y las personas que intervengan en la revisión interior deberán abstenerse de traer objetos en los bolsillos, en las manos u otros no necesarios para estas labores, llevando atado con cinta de algodón, de lino o de vidrio las herramientas a usar.

Las partes principales a revisar en el interior de los transformadores son principalmente:

- a'.- Pantallas electrostáticas.
- b'.- Anillos electromagnéticos.
- c'.- Barreras entre fases.
- ch'.- Estructura aislante para guías.
- d'.- Guías.
- e'.- Cambiador de taps bajo carga, estado y operación.

- f'.- Bridas.
- g'.- Válvulas mariposa de radiador.
- h'.- Estoperos.
- i'.- Transformadores de corriente tipo bushing y conexiones.
- j'.- Núcleo.
- k'.- Bobinas y aislamientos.
- l'.- Tanque.
- ll'.- Terminales.
- m'.- Tierra.
- n'.- Pasamuros.

De los defectos principales encontrados en el interior del tanque transformador mencionaremos:

- a'.- La barrera presphan, entre el cambiador de derivaciones bajo carga y el tanque principal muy mal sujeta.
- ch'.- La estructura de madera impregnada en aceite aislante carecía de seis birlos y ocho tuercas de durco-ton, falta reapretarla en su totalidad.
- e'.- Se revisaron las flechas, pernos, engranes, cardanes, contactos fijos y móviles, guías, ruedas de ginebra, lubricación, indicadores, pasadores, etc., encontrándose el cambiador en óptimas condiciones, requiriendo tan sólo sincronización entre la posición interna y el mando externo. Se verificó también la secuencia de operación, siendo la correcta, de acuerdo con los datos de fabricante.
- g'.- La válvula de mariposa No. 11 requiere sustitución por tener una fractura en el visel.
- i'.- De los transformadores de corriente tipo bushing podemos mencionar que a pesar de tener un aislamiento adecuado tienen conexiones flojas y corroídas. Las terminales fueron ponchadas en fábrica (conectadas a base de compresión), no ofreciendo seguridad alguna, la sujeción de los transforma-

dores de corriente es segura sin faltar soporte; necesariamente, de estos detalles habrá que resaltar la urgencia de estañar las terminales y reemplazar los tornillos oxidados y rotos en los pasamuros.

j'.- Las tuercas de sujeción de la plancha del núcleo son correctas aunque cuatro de las contra tuercas se encontraron flojas, los seguros se encontraron mal colocados. La cintilla de conexión entre núcleo y tanque suelta. El aislamiento no sufrió daño, carece de defectos y no presenta señales de desplazamiento.

l'.- En el tanque se localizaron bastantes residuos de papel aislante, mucha suciedad y el poco aceite que no pudo extraerse estaba en pésimas condiciones.

Todos los demás detalles no mencionados carecen de desperfectos relevantes.

C).- REPARACION DE DAÑOS:

DAÑOS EXTERNOS:

d.- Se reemplazó el T.R.O.

e.- Se desarmó el relevador buchholz para sustituir el bulbo dañado.

f.- Se sustituyó el relé de presión súbita.

h.- Se recortó la tubería ajustándola al tamaño adecuado, se lavó completamente el interior del tanque conservador con aceite caliente.

m.- La falta de válvula de desfogue rápido será sustituida por una salida de cuatro pulgadas de un radiador no utilizable, haciendo para esto las adaptaciones pertinentes.

n.- Se reemplazaron los birlos capados, oxidados y largos.

ñ.- Se sustituyó la rueda dañada.

- r.- Se recibió el gabinete de control.
- s.- Se restituyó la tubería dañada.
- u.- Se dió limpieza completa al gabinete del cambiador de derivaciones bajo carga.
- v.- Se recibió equipo de Sílica gel.
- w.- Se cambió el bushing secundario.

Todas estas actividades fueron realizadas por personal de la Fábrica PROLEC, que fueron enviados a consecuencia del reporte de remisión externa hecho por personal de la Comisión Federal de Electricidad.

DAÑOS INTERNOS:

- a'.- Se sujetó firmemente la barrera presphan.
- ch'.- Se restituyeron los birlos y tuercas de durcotón respetándose toda la estructura soporte de guías.
- e'.- Se sincronizó el cambiador de taps bajo carga.
- g'.- Se reemplazó la válvula de mariposa No. 11.
- i'.- Se estañaron y repretaron todas y cada una de las terminales de conexión de los transformadores de corriente, sustituyendo además terminales corroídas y dañadas. Se suplantaron los tornillos oxidados de los pasamuros.
- j'.- Se apretaron las contratueras de la plancha de sujeción del núcleo y se colocaron los seguros en la posición correcta. Se sujetó firmemente la cinquilla de conexión entre tanque y núcleo.
- l'.- Se evacuó el aceite sucio del interior del tanque, dándose una limpieza general con aceite limpio.

Todas las reparaciones interiores fueron también realizadas - por personal de la Fábrica de Transformadores PROLEC.

D).- ARMADO, CHEQUEO Y CORRECCION DE FUGAS:

Ya finalizados los trabajos de inspección interna se procedió a dar inicio a los preparativos para el armado o montaje de los

accesorios del autotransformador en el tanque principal.

Los grandes transformadores, hablando de capacidad y voltaje, con el fin de facilitar su transporte, manejo y almacenaje, se construyen en secciones modulares separadas, así pues, viene el tanque principal en forma separada de los radiadores, bushings ó boquillas, tanque conservador, etc. y en ocasiones cuando los transformadores son excesivamente grandes, la tapa ó cubierta principal y el cambiador de derivaciones se envían aparte.

Las partes mencionadas además de ser enviadas por separado, vienen selladas con tapas provisionales para no permitir entrada de humedad y suciedad. Estas tapas son eliminadas paso a paso en ésta etapa de armado.

El autotransformador, tema de nuestro estudio, únicamente incluye en su tanque principal el cambiador de taps bajo carga.

Para su armado debemos antes que nada, tomar las mismas precauciones al abrir el autotransformador, que en la revisión interna, es decir, evacuamos el nitrógeno contenido y dejamos oxigenar perfectamente el tanque principal.

Realizando esto, procederemos en el siguiente orden para el montaje:

- Radiadores.
- Tanque conservador.
- Boquilla ó Bushings.
- tuberías.

RADIADORES: Los enfriadores o radiadores deberán manejarse siempre en forma vertical y antes de instalarse deben ser perfectamente lavados con aceite limpio y caliente, a modo de deshechar rebabas metálicas é impurezas contenidas en el interior de --

ellos. Se presurizarán, colocando los manómetros y válvulas - respectivas para verificar que la presión de nitrógeno alcanzada no rebase las especificaciones de los fabricantes.

El autotransformador CM tiene entre sus datos de placa la presión de diseño de tanque y accesorios y es igual a 1.03 kg/Cm² positivos o negativos, esto 15.14 Lbs/pg².

Se quitaron las tapas provisionales y presurizaron los radiadores, aproximadamente a 1.0 kg/Cm² verificando minuciosamente todas las uniones, obleas o tubos radiadores, cordones de soldadura, tirantes, etc., con espuma de jabonadura para encontrar fugas posibles antes de ser instalados y al mismo tiempo facilitar su reparación.

Localizadas las fugas pasamos a la etapa de reparación, los detalles encontrados en los seis radiadores del autotransformador fueron los siguientes:

- Radiador No. 1: Fuga en la parte superior de la tercera oblea, fuga en la unión de la oblea No. 7 y el tirante.
- Radiador No. 2: Fuga entre el tapón macho y la brida de dren.
- Radiador No. 3: Sin fuga.
- Radiador No. 4: Sin fuga.
- Radiador No. 5: sin fuga.
- Radiador No. 6: Fuga en la unión del canal superior principal y la oblea No. 5.

Determinados los lugares de fuga, se evacuó el nitrógeno, se dejó oxigenar los radiadores y les fueron aplicados los cordones de soldadura, a excepción de la fuga en el radiador No. 2, la cual fué subsanada colocando cinta teflón en la rosca del tapón macho.

Realizada la reparación se presurizan nuevamente a una presión razonable por unos días, esta presión deberá ser tal que con los cambios de temperatura no pueda rebasar los límites especificados. Los radiadores fueron probados con una presión original de 10 Lbs/ps² entre 30 y 36°C, verificando día a día durante una semana, que los cambios de presión fueran directamente proporcionales a los de temperatura, haciendo uso para esto de la ecuación 11.1.2.

Todos los radiadores se comportaron en forma correcta, exceptuando el radiador No. 3, el cual presentó una diminuta fuga en una porosidad en la soldadura en la parte inferior de la obleta No. 8, en la unión con el canal inferior principal, dicha fuga fué reparada inmediatamente después de evacuar y oxigenar el enfriador, para posteriormente presurizarlo de la forma indicada en el párrafo anterior, lográndose por fin su correcto comportamiento.

Probados y reparados son instalados en sus bridas correspondientes, respetando la numeración colocada para cada una de ellas y su radiador respectivo, previniendo que los empaques se coloquen en la forma correcta y a su vez sean del material adecuado. (Ver Fig. 11.2)

TANQUE CONSERVADOR: El tanque conservador o de expansión del autotransformador CN1, serie F-646-01-001, tiene dos cavidades, una para el tanque principal y la otra para la cuba del cambiador de taps bajo carga. (Ver Fig. No. 11.3).

El tanque se lavó perfectamente con aceite caliente, para posteriormente ser presurizado a 1.0 Kg/cm², detectándose defectuoso el empaque principal de una de las cavidades, problema subsanado de inmediato substituyendo el empaque original por empaque de corcho expreso de 3/8".

Se presurizó para finalizar la prueba a 10 Lbs. durante una semana para verificar su comportamiento; durante el transcurso



FIG. 11.2 : COLOCACION DE LOS RADIADORES EN SUS BRIDAS CORRESPONDIENTES
RADIADOR A, EN BRIDAS 1 Y 2 .

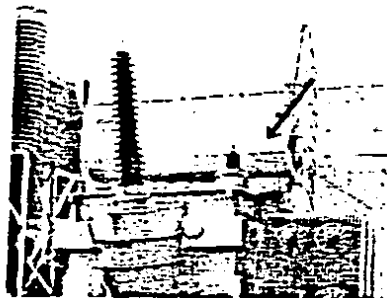


FIG. II.3 : TANQUE CONSERVADOR

de esta semana el tanque de expansión se comportó establemente, siendo colocado de inmediato en el lugar indicado por el constructor, en el manual de montaje.

BOQUILLAS O RUSHINGS: El manejo o instalación de las boquillas será siempre en forma vertical, tomando muy en cuenta las consideraciones propias del constructor.

Deberán de tomarse siempre extremas precauciones para que durante su manejo y montaje, no se ejerzan cargas mecánicas excesivas sobre sus extremos que pudieran ocasionar fracturas en la porcelana.

Se instalarán perfectamente limpias y secas, se tomará en el interior del transformador la terminal respectiva y se hará pasar el cable terminal en medio de la porcelana, para colocar el conector correspondiente debidamente ajustado con empaque corchoneopreno.

TUBERIAS: Las tuberías de aceite deberán, al igual que los radiadores, ser presurizados, reparadas, limpiadas con aceite caliente y colocadas según las normas de fábrica.

Las tuberías de gas se probarán a la presión de operación, se colocarán en sus lugares indicados, careciendo de dobles excesivos, torceduras o golpes que pudieran dañar su resistencia.

Es de vital importancia que al armar un transformador o un autotransformador, como es en nuestro caso, se cuente con un sello hermético en todas sus uniones. Para esto, es conveniente usar empaques elásticos adecuados que no sufran fracturas con el tiempo o la compresión y que no los ataque el aceite aislante.

Los tipos más usados para estos fines, son los empaques de corchoneopreno y neopreno. En el equipo autotransformador bajo es-

tudio, se colocaron empaques del tipo corchoneopreno, cuyas indicaciones a continuación exponemos:

Los empaques de corchoneopreno, no deberán comprimirse más de un 25% de su espesor, ni menos de un 15% del mismo. No requiere, ningún compuesto sellador, a menos que las superficies mecánicas estén sumamente deterioradas.

Al hacer uso de un sellador deberá procurarse que no vaya a afectar las propiedades del aceite o que se deteriore con el mismo aceite aislante.

En las bridas o uniones con ranura, deberá cortarse el empaque lo más preciso posible, ya que de no ser adecuado el corte, puede romperse el empaque al comprimirse, resultando como consecuencia un sello inadecuado.

Debe tenerse especial cuidado de revisar las roscas y las soldaduras en las bases de los birlos, cuando el transformador tenga bridas, tapas de registro o boquillas que se sujeten al tanque por medio de ellos, con el fin de preservar un apriete y una hermeticidad correctos. Si algún birlo tiene daño en la rosca o cordón de soldadura defectuoso deberá cambiarse o soldarse un nuevo birlo, con el transformador debidamente ventilado para no ocasionar una explosión.

A fin de lograr la hermeticidad requerida, deberán revisarse todas las válvulas de llenado, muestreo y dren. En el caso del cambiador de derivaciones bajo carga deberán empacarse perfectamente los estoperos.

CHEQUEO Y CORRECCION DE FUGAS: Para probar el sello de auto-transformador o su hermeticidad, se le aplicó presión con nitrógeno, teniendo la precaución necesaria para no exceder en ningún momento la capacidad de placa del equipo. En este caso, aplicamos menos de 1 kg/cm² (14.7 lbs/pg²), para evitar la de-

formación del tanque, refuerzos o accesorios.

El método más sencillo de probar y localizar las fugas, es aplicar espuma de jabón en todas las juntas, uniones y cordones de soldadura, que son los lugares donde pueden producirse escapes.

Instalamos a su vez, un manómetro con sus correspondientes válvulas, para el control, limitación y verificación de las presiones internas.

Cabe mencionar que un transformador puede también probarse aplicando en su interior aire comprimido, método que no es muy común porque introduce humedad en el interior del transformador.

Posteriormente se aplica al igual, la espuma de jabonadura.

Los resultados primarios en la detección de fugas fueron:

- 1a.- Fuga en la brida de la boquilla de tensión primaria.
- 2a.- Fuga en el pasamuro de los transformadores de corriente.
- 3a.- Fuga en la unión de la brida inferior y el radiador No. 4.
- 4a.- Fuga por porosidad en el cordón de soldadura de la parte superior derecha de la tapa principal del tanque del autotransformador.

La manera en que se subsanaron las fugas localizadas, fué la siguiente:

- 1a.- Se cambio el empaque por encontrarse roto y se reapretó conforme las especificaciones del empaque corchoneopreno.
- 2a.- Se reapretaron los tornillos de paso que sostienen el pasamuro.

- 3a.- Se despresurizó el autotransformador, para sustituir la válvula de mariposa, por presentar una fisura.
- 4a.- Aprovechando la despresurización, para la reparación de la fuga anterior, se dejó oxigenar perfectamente el tanque principal del autotransformador, para resoldar el tramo de soldadura poroso.

Corregidas estas anomalías, se presurizó el autotransformador en 10 lbs/pg², dejando el equipo de nitrógeno desconectado del tanque principal, pero preservando los manómetros indicadores conectados a éste, con el fin de realizar una vigilancia precisa durante el lapso que se crea conveniente. En este caso, se dejó bajo observación una semana completa, al final de la cual, la presión dejada de acuerdo con la ley general de los gases, fue la misma que se encontró, aunque en otras condiciones de temperatura.

Esto nos indica que en apariencia tenemos subsanadas las fugas principales, aunque en el proceso de vacío pudieran aparecer otras distintas.

El transformador queda listo para su secado en campo, no sin antes realizar las pruebas eléctricas preliminares, con lo que nos enteramos de las condiciones del equipo previas a la extracción de humedad.

2.- PRUEBAS DE CAMPO PRELIMINARES.

Las pruebas de campo que se realizan a los equipos, antes de su entrada en operación, son más que un simple trámite de aceptación, es una función técnica evaluativa, que nos permite conocer con certeza la confiabilidad del equipo bajo prueba o estudio y su estado operativo.

Estos ensayos nos ayudan también en el análisis de las consecuencias en condiciones controladas, así como, para el conocimiento de los efectos que se susciten al introducir cambios operativos o al variar ciertos parámetros.

Los resultados de prueba son la mejor base para verificar las condiciones de diseño y construcción de los equipos y materiales empleados en ellos. En el caso de equipos nuevos, son determinantes fundamentales para la aceptación o devolución de los citados, mientras que en los que se encuentran en operación, nos ayudan a conocer sus limitaciones y necesidades de mantenimiento.

También son imperativos para el conocimiento de daños no visibles, grados de secado en los transformadores, envejecimiento, etc. Las pruebas o ensayos preliminares que efectuamos son:

- A.- FACTOR DE POTENCIA A DEVANADOS Y BOQUILLAS.
- B.- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A DEVANADOS Y BOQUILLAS.
- C.- RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD.
- D.- CORRIENTE DE EXCITACION.
- E.- RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE TIPO BUSHING.

Estas pruebas en forma conjunta, nos darán cuenta del estado del autotransformador, aún en sitios donde las inspecciones visuales no son posibles. Por el hecho de ser pruebas preliminares, se harán sin aceite, poniendo a prueba solos los aislamientos sólidos, dándonos también el indicativo del grado de

secado que requiere el equipo.

A continuación, explicaremos brevemente el objetivo, forma e interpretación de cada una de las mencionadas pruebas, las cuales deberán complementarse con las que se hagan después del secado, a modo de tener la certeza de su mejoramiento y estabilidad.

TECNICA GENERAL DE LAS PRUEBAS:

Antes de realizar las referidas, deberá haber sido completado el proceso de preparación, revisión, reparación, montaje y sellado de los equipos.

No deberá utilizarse equipos cuyos voltajes de prueba en terminales sean mayores al que se considere seguro aplicar.

Los instrumentos de prueba se colocarán sobre bases firmes perfectamente niveladas; si el instrumento tiene en su salida opciones de potencial múltiple, seleccionar el voltaje al valor necesario.

Usense terminales de prueba con cables aislados de alta calidad, de gran resistencia al manejo y larga duración y antes de utilización es imprescindible verificar su estado.

Se deberá inspeccionar el equipo, tomando nota de todos los componentes que intervienen en la prueba, tanto del equipo a probar como del mismo equipo de prueba.

Deberán extremarse las medidas de seguridad para protección tanto del equipo como del personal.

Se preparará el área de trabajo indispensable, delimitándola correctamente, con el objeto de evitar el paso a personas ajenas. Vigilar que se tengan todas las fuentes apropiadas de energía al alcance.

Preparar los instrumentos de prueba conforme a los lineamientos de cada ensayo en particular, conectar adecuadamente los terminales de prueba al equipo bajo estudio, operar cuidadosamente los instrumentos, anotando los resultados en el reporte correspondiente y asentado las condiciones ambientales que prevalecieron durante la prueba.

Al terminar el ensayo, cerciorarse que el instrumento esté fuera de servicio, aterrizando el equipo probado, a fin de eliminar las cargas eléctricas capacitivas remanentes.

A.- FACTOR DE POTENCIA.

OBJETIVO DE LA PRUEBA:

La prueba de factor de potencia tiene como principal objetivo, la detección de ciertas modificaciones en las características de un aislamiento, mismas que pueden ser ocasionadas por agentes sumamente destructivos, como son: efecto corona, humedad, contaminación, etc.

En forma general, percibe cualquier aumento en las pérdidas dieléctricas de corriente alterna o de factor de potencia, como indicativo de deterioro, envejecimiento o contaminación de los materiales aislantes.

Este ensayo es en la actualidad, la base principal de análisis para el establecimiento de criterios de juicio de las condiciones de los dieléctricos de los equipos de potencia.

En este caso, hablando de equipo nuevo, será el indicativo de la contaminación por humedad en los detalles de construcción y ensamble de los aislamientos.

TEORIA GENERAL DE LA PRUEBA:

El factor de potencia de un aislamiento es una cantidad o fac-

tor adimensional, normalmente expresado en por ciento, que resulta del coseno del ángulo del defasamiento entre la corriente de carga que toma el dieléctrico y el voltaje aplicado.

Es en sí, una característica del comportamiento de los materiales aislantes al ser sometidos a un campo eléctrico.

Como no existen los materiales aislantes perfectos, además de la corriente capacitiva I_r , aparecerá una corriente en fase con el voltaje aplicado, corriente que ocasiona las pérdidas dieléctricas I_p . El comportamiento de los aislamientos podrá ser representado por el diagrama vectorial de la figura No. 11.4.

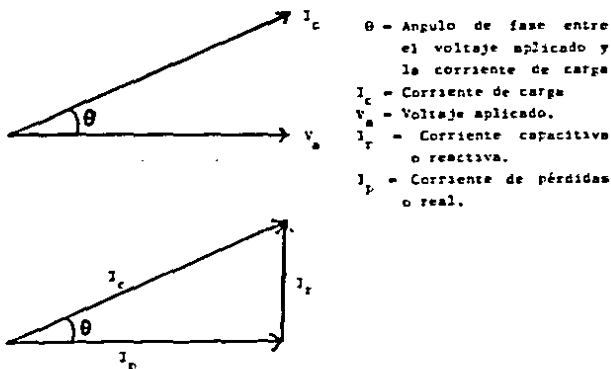


FIG. 11.4 : DIAGRAMA VECTORIAL PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS AISLANTES.

El factor de potencia estará dado por el coseno del ángulo comprendido entre la corriente de pérdidas I_p y la corriente de carga I_c .

Para efectos de prueba, el factor de potencia será obtenido por la medición de la potencia total el volt-amperes (P_t) y las pér-

didas en Watts (P_p), cuyo valor, al ser obtenido mediante la relación de estas magnitudes, será independiente del espesor o - área del dieléctrico, dependiendo única y exclusivamente de la humedad, la ionización, la temperatura y la contaminación por cualquiera de los agentes ya mencionados.

De la figura II.4, se desprende que:

$$\cos \theta = \frac{I_p}{I_c}$$

$\cos \theta =$ Factor de potencia

$\cos \theta =$ F.P.

$$\text{F.P.} = \frac{I_p}{I_c} \quad \text{Ec. II.2.1.}$$

y de la fig. II.5

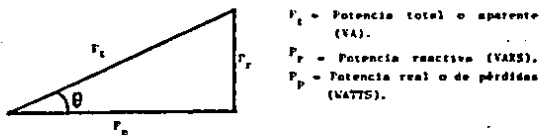


FIG. II.5 : DIAGRAMA VECTORIAL DE POTENCIAS PARA EL ANALISIS DEL FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLANTES.

$$\cos \theta = \frac{P_p}{P_t}$$

$\cos \theta =$ F.P.

$$\text{F.P.} = \frac{P_p}{P_t}$$

$$\% \text{ F.P.} = \frac{P_p}{P_t} \times 100 \% \quad \text{Ec. II.2.2.}$$

EQUIPO DE PRUEBA:

Normalmente hacemos uso del Equipo F.P., marca Doble Engineering Co., tipo MEU - 2500 y aunque existen otros en el mercado, en el presente trabajo nos referimos únicamente al mencionado, debido tanto a su generalización en pruebas en la C.F.E., como por su confiabilidad, siendo muy práctico para desarrollo de pruebas en campo y laboratorio. (Ver Fig. No. 11.6).

Está diseñado para trabajar con alimentación de corriente alterna comercial de 125 volts a 60 ciclos y mide la potencia total o aparente en milivoltamperes y la potencia real en miliwatts, a un voltaje de prueba hasta de 2500 volts. Posee un rango máximo de 100 000 mVA, 40 mA, a un potencial de 2.5 KV.

Con estas mediciones o lecturas podemos calcular el factor de Potencia, de acuerdo con la ecuación 11.2.2, anteriormente mencionada.

Además del probador, forman parte del equipo la caja de accesorios, los cables de prueba para alto voltaje y la celda o recipiente de prueba para aceites o líquidos aislantes. (Ver Fig. No. 11.7.). Esta última, es básicamente un capacitor que utiliza como dieléctrico el líquido bajo prueba, para mediciones de factor de potencia.

Las conexiones del equipo MEU-2500 al equipo bajo análisis, se hace por medio del cable de prueba HV, mismo que tiene 2 blindajes concéntricos al aislamiento, alrededor del conductor central con mufas en los extremos, suministrando los terminales para circuitos de guarda y tierra.

El circuito de medición es el cable central que termina en el gancho de la mufa. El circuito de medición de guarda está en el primer blindaje y es el primer anillo metálico de la mufa, este circuito se usa para evitar mediciones de corriente indeseables y practicamente está a tierra. El circuito de tierra es de blindaje exterior que termina en una base de aluminio cercana a la mufa. (Ver Fig. No. 11.8).

El cable de prueba de baja tensión LV, es un cable con 3 conductores protegidos por un blindaje, uno de ellos tiene la pellizqueta de prueba y los otros 2 van cortocircuitados al blindaje; en el otro extremo va la mufa terminal que conecta interiormente con el switch selector de bajo voltaje, el cual facilita la función de pruebas en Ground, Guard o UST, (Ver Fig. 11.8).

Los esquemas de medición para estas 3 funciones se muestran en el diagrama siguiente: (Ver Fig. 11.9).

OPERACION DEL EQUIPO:

- Aterrizar la caja con el cable de tierra a la red de subestación.
- Verificar que el equipo a probar esté a la misma red de tierras de la subestación.
- Verificar el estado y condiciones de los cables de prueba.
- Verificar que la alimentación al equipo de prueba sea de 125 Volts de corriente alterna y que esté con el neutro aterrizado a la red de la subestación.
- Insertar la clavija de alimentación en su lugar asignado en el lado izquierdo del probador. Al hacer ésto la lámpara verde se encenderá, quedando la aguja del indicador inestable, durante aproximadamente medio minuto.
- Colocar las mufas de los cables de prueba en sus correspondientes receptáculos, que se encuentran en el lado derecho del equipo de prueba cerciorándose de que se activen los candados de ambas terminales.
- Colocar el cable para el switch de seguridad en su lugar asignado en el lado izquierdo del probador.

NOTA: En la colocación de los cables, no hay margen de error, ya que cada uno posee una mufa y un receptáculo diferente.

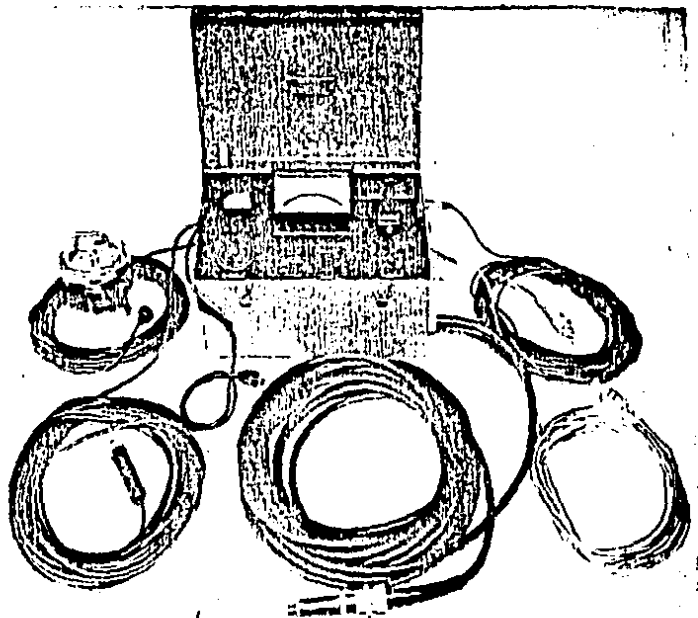
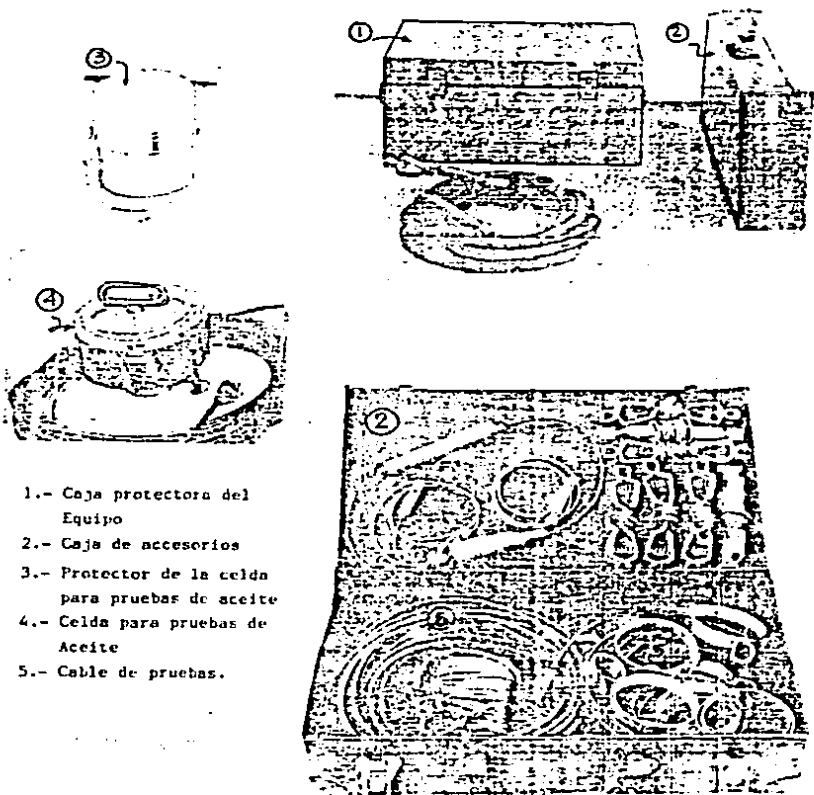
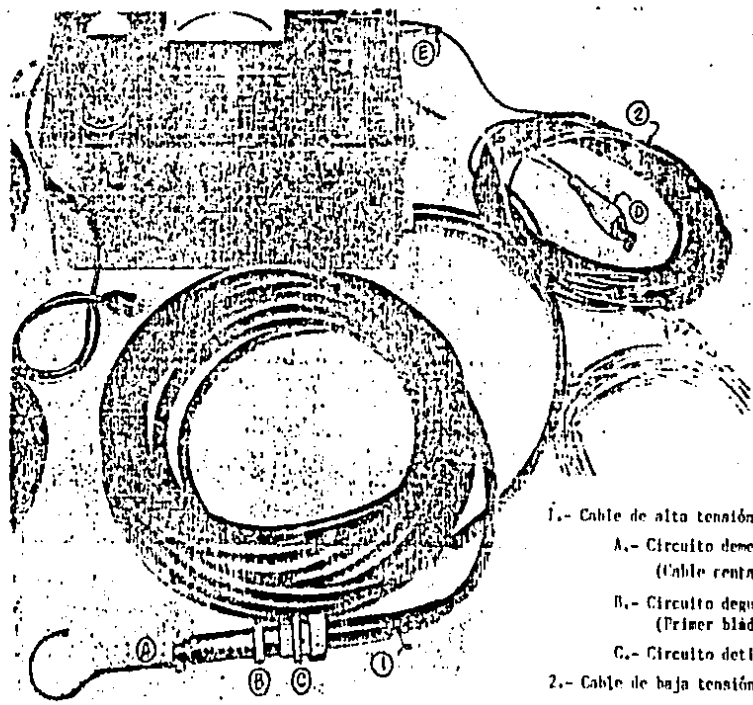


FIG. 11.6 : EQUIPO FACTOR DE POTENCIA, DOBLE ENGINEERING CO., TIPO NEI-2500 .



- 1.- Caja protectora del Equipo
- 2.- Caja de accesorios
- 3.- Protector de la celda para pruebas de aceite
- 4.- Celda para pruebas de Aceite
- 5.- Cable de pruebas.

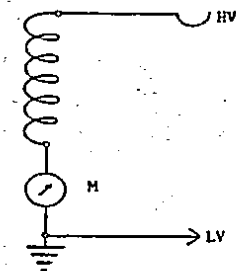
FIG. 11.7 : ACCESORIOS DEL PROBADOR DE FACTOR DE POTENCIA.



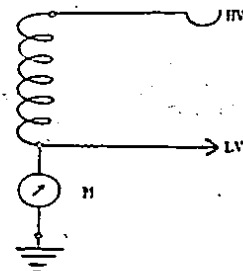
- 1.- Cable de alta tensión
 - A.- Circuito de medición (Cable rental).
 - B.- Circuito de guarda (Primer bládaje)
 - C.- Circuito de tierra
- 2.- Cable de baja tensión
 - D.- Pellizqueta
 - E.- Mufa terminal

FIG. 11.8 : CABLES PARA PRUEBAS

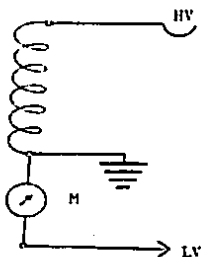
mA - miliamperes, mVA - milivoltamperes, mW - milliwatts, KV - kilovolts, son las unidades comúnmente utilizadas.



CIRCUITO
DE GROUND



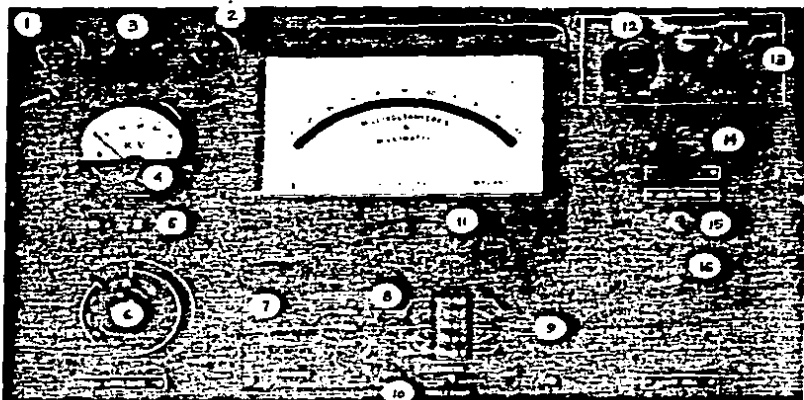
CIRCUITO
DE GUARD



CIRCUITO
DE UST.

HV TERMINAL DE ALTA TENSION
LV TERMINAL DE BAJA TENSION
M MEDICION DEL APARATO.

Fig. 11.9.- Circuitos de medición del equipo factor de potencia MEU-2500 de la Doble Engineering Co.



- 1.- LAMPARA VERDE
- 2.- LAMPARA ROJA
- 3.- FUSIBLES
- 4.- KILOVOLTMETRO
- 5.- SWITCH DE ENCENDIDO
- 6.- PERILLA DE CONTROL DE VOLTAJE
- 7.- SELECTOR DE RANGO DE MEDICION
- 8.- SELECTOR DEL MULTIPLICADOR DE mA
- 9.- SELECTOR DEL MULTIPLICADOR DE mV
- 10.- SELECTOR DE MEDICION
- 11.- MEDIDOR DE mA Y mV
- 12.- AJUSTE DEL MEDIDOR
- 13.- SELECTOR DEL CIRCUITO DE MEDICION
- 14.- PERILLA PARA POLARIDAD
- 15.- SWITCH REVERSIBLE
- 16.- AJUSTE DE mA

FIG. II.10 : CONTROLES BASICOS DEL EQUIPO PRYADOR DE F.P. MARCA -
 DOBLE ENGINEERING CO., TIPO MEV-2500

TECNICA DE APLICACION DE LA PRUEBA:

El gancho del cable de prueba (H.V.) se conectará a la terminal de equipo bajo análisis y en el otro lado de dicho equipo se conecta el cable de baja tensión (L.V.) y se procede con la siguiente secuencia:

- El control de voltaje se gira en contra de las manecillas del reloj hasta el tope, con lo cual el voltaje de prueba corresponderá a un valor cero.
- El interruptor del circuito se pasará a la posición de encendido (ON).
- El switch selector deberá estar en la posición intermedia (CHECK).
- El switch de los μVA deberá estar en el multiplicador más alto (2000).
- El switch de los mV deberá estar en el multiplicador más alto (200).
- El switch de rango deberá estar en la posición más alta (HIGH).
- El switch LV estará en la posición requerida (GROUND, GUARD O UST).
- El switch reversible deberá estar en cualquier posición extrema, ya que la posición central desconectará la alimentación en el equipo de prueba y éste no funcionará.

En la Fig. II.10 se ven los controles básicos del equipo.

- El switch de seguridad del operador se cierra haciendo presión con él sobre un costado de la tapa de la caja protectora de equipo, con lo cual el foco piloto de color verde deberá apagarse y energizar el Relé, si ésto no sucede, la polaridad de la alimentación del equipo de prueba está invertida, teniendo que invertir la clavija de la fuente de alimentación.
Si con ésto el Relé no cierra y la lámpara verde no se

- apaga, deberá usarse el capacitor de tierra suministrado con el equipo, para lo cual se conectará al circuito de la fuente, uniendo la pinza a la red de tierra y entonces insertando el enchufe al circuito de la fuente, antes de conectar la extensión de 125 V.C.A. de equipo de prueba.
- El switch de la extensión de seguridad se cierra, causando que se encienda la lámpara piloto de color rojo.
 - Vigilando el voltímetro el operador elevará gradualmente el voltaje a 2.5 KV, girando la perilla del control de voltaje en el sentido de las manecillas del reloj. (El voltímetro indica el voltaje aplicado al equipo bajo prueba).
 - Si el interruptor general de alimentación del aparato de prueba se dispara antes de llegar a 1.25 KV indicados en el voltímetro del aparato, el equipo de prueba estará fuera de rango del equipo de prueba (la capacidad del aparato de prueba no es suficiente para realizar la prueba).
 - Si el interruptor se dispara entre 1.25 y 2.5 KV, la prueba deberá relizarse a un voltaje más bajo, para adecuar la capacidad del equipo de prueba, ver instrucciones más adelante, (pruebas a voltajes menores a 2.5 KV).
 - Con el switch selector en la posición intermedia (CHECK) y a un voltaje de prueba de 2.5 KV, la aguja del medidor de KVA y mW se ajustará para leer 100 (Escala Plena), girando la perilla de control denominada ajuste de medición (METER ADJ).
 - Se mueve el switch selector de la posición intermedia a mVA.
 - El switch del multiplicador de mVA se llevará a la posición en que el valor medido registre máxima deflexión, procurando que ésta ocurra lo más próximo a la mitad de la escala, en ese momento se anotará separadamente este valor.
 - El valor obtenido en el punto anterior se verifica cambiando al extremo contrario el switch de inversión (REV).

SWITCH), si se observa alguna diferencia en las lecturas, ésta se deberá seguramente a la exposición del equipo bajo prueba a una interferencia electrostática, debido a la cercanía del mismo a líneas o equipo energizado.

Si éste es el caso, las dos lecturas obtenidas se promediarán sumándolas y dividiéndolas entre dos, éste será el valor que se registrará en la hoja de prueba. Deberá registrarse también el valor del multiplicador con el que se obtuvo la lectura de los mVA.

- Lectura y registro de los mW: las pérdidas en mW del equipo bajo prueba, es medida y registrada usando el multiplicador de escala que se requiera para los mW, pero conservando invariablemente el mismo rango con que se obtuvo la lectura de los mVA.

- Lleve el switch selector de la posición mVA a mW. La perilla de ajuste de mW se gira hasta obtener el mínimo valor, sin importar el sentido de giro en esta perilla.

- El multiplicador mW se reduce sucesivamente (sin cambiar el rango inicial), hasta en tanto se obtenga la mínima lectura y que ésta pueda leerse, los mW se leerán en el medidor en la proximidad de la mitad de la escala.

Obtenida esta mínima lectura, se verifica su polaridad con la perilla llamada de polaridad (Polarity), con lo cual, al girar ésta lentamente en el sentido de las manecillas del reloj, se deberá fijar la atención hacia donde se desvía la indicación de los mW, si ésta sucede hacia la izquierda, la lectura obtenida se considerará positiva; si se sucede la desviación de la aguja de los mW hacia la derecha, la lectura se considerará negativa.

- Deberá registrarse la lectura obtenida con su signo, inmediatamente después cambie el switch reversible a su siguiente posición extrema y ajuste de nuevo la mínima lectura, una vez establecida verifique su polaridad.

Si las dos lecturas obtenidas son positivas, súmelas y divídalas entre dos y ésta será la que se registre en el renglón de mW. Si de lo contrario, una lectura es po-

sitiva y la otra negativa, haga la sustracción y divida el valor obtenido entre dos y esa será la lectura que registrará en la hoja de prueba.

Así mismo, anote el multiplicador con que obtuvo estos valores. Estas diferencias de valores se deben como en la lectura de mVA, a interferencias electrostáticas.

- Regresar los controles a su posición original, con el siguiente orden:

- a).- El switch selector (CHECK) se regresa a su posición intermedia.
- b).- El control de voltaje se girará para regresar a cero el voltaje de prueba.
- c).- Los dos switch de seguridad se abren.
- d).- Con ésto la señal de la lámpara roja se apaga, encendiéndose la lámpara verde.
- e).- Los multiplicadores de los mVA y mW, así como el switch de rango, se pasen a sus posiciones de valores más altos. Si se van a efectuar pruebas subsiguientes a equipos similares en ese momento, los switch de los multiplicadores y rango no se moverán.

- Cálculo del factor de potencia al equipo probado.

El factor de potencia en por ciento del equipo probado se calcula de la forma ya conocida:

$$\% \text{ Factor de Potencia} = \frac{\text{mW}}{\text{mVA}} \times 100\% \quad \text{Ec. 11.2.2}$$

RECOMENDACIONES GENERALES:

TRANSPORTE:

Deberá trasladarse el equipo invariablemente en una caja acolchonada, a fin de evitar daños por golpes o desajustes en sus circuitos de medición. Deberá manejarse con sumo cuidado, debido a que es un equipo extremadamente delicado.

FACTORES QUE AFECTAN LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS:

Antes de probar cualquier equipo que tenga aislamiento de vidrio, epoxy-glass o porcelana, etc, deberán limpiarse con un solvente eléctrico aceptado, para retirar residuos contaminantes como depósitos químicos, lodos, cementos, sales y otros más que deterioran y afectan directamente a los resultados de prueba.

HUMEDAD:

Como recomendación, no deberán realizarse pruebas bajo condiciones de humedad relativa ambiental mayores del 75%, ya que influiría gravemente en los resultados obtenidos.

TEMPERATURA:

La resistencia de aislamiento es afectada en forma directamente proporcional por la temperatura, alterando así los valores de prueba de F.P. por lo tanto, deberán ajustarse a la temperatura base normalizada de 20°C, con el fin de llevar estadística correcta y poder hacer comparaciones en diferentes fechas y condiciones. Para ésto deberán usarse las tablas II.A y II.B de las páginas siguientes.

NOTA.- Si se presenta la dificultad de ajustar al mínimo valor de mW, registre únicamente el valor de mVA. Esto puede ocurrir en algunos equipos, por las características geométricas de los aislamientos, los cuales arrojan lecturas negativas de potencia real, que no pueden ser leídas en el medidor del aparato.

Si se desean hacer pruebas con diferentes potenciales, deberá tenerse cuidado de que en el voltaje de prueba sea posible ajustar el medidor a plena escala (Meter Adj.), con el selector en la posición Check. Proceder de la misma forma que en el potencial de 2.5 KV, corrigiendo los valores de la siguiente forma:

$MVA = 0.16 \times mVA \text{ medidos} \times KV^2$ de prueba Ec. II.2.3.

$MW = 0.16 \times mW \text{ medidos} \times KV^2$ de prueba Ec. II.2.4.

TABLE II.A

		BUSBARS				LIQUID & TRANSFORMER INSULATION					
CLASS	LAPP	OIL DRAIN				Test Temperature		Asphalt and Asphalt-Filled Traces	Oil and Oil-Filled Paper Traces (If recommended and Com-pressed Type)	Oil-Filled Paper Traces (Standard and Com-pressed Types)	Oil-Filled Paper Traces
		Class 0 A L. 10 to 15 kV	Class 1 7.5 to 15 kV	Class 2 15 to 25 kV	Class 3 15 to 25 kV	°C	°F				
69 KV	.81	1.00	1.12	1.17	1.21	5	33.8	1.12	1.17	1.21	1.25
		1.00	1.07	1.25	.91	8	39.6	1.22	1.20	1.20	1.21
		1.00	1.43	1.19	.91	3	37.6	1.19	1.27	1.27	1.29
		1.00	1.00	1.10	.91	6	39.7	1.00	1.04	1.04	1.11
.86	1.50	1.00	1.17	1.21	1.25	5	31.9	1.24	1.21	1.21	1.21
		1.00	1.24	1.21	.92	7	41.8	1.23	1.27	1.27	1.27
		1.00	1.22	1.19	.92	7	40.6	1.24	1.24	1.24	1.26
		1.00	1.29	1.19	.92	8	46.4	1.21	1.21	1.21	1.23
.92	1.50	1.00	1.25	1.17	.91	4	40.2	1.21	1.22	1.22	1.22
		1.00	1.29	1.16	.92	10	38.0	1.22	1.22	1.22	1.22
		1.00	1.21	1.14	.94	12	31.5	1.25	1.23	1.23	1.23
		1.00	1.15	1.17	.92	12	39.4	1.21	1.19	1.19	1.20
.96	1.50	1.00	1.15	1.07	.92	10	39.4	1.27	1.27	1.27	1.27
		1.00	1.19	1.07	.92	14	37.2	1.22	1.22	1.22	1.23
		1.00	1.21	1.07	.92	15	39.0	1.22	1.22	1.22	1.22
		1.00	1.07	1.04	.92	17	62.0	1.21	1.27	1.27	1.23
1.00	1.50	1.00	1.04	1.03	.92	18	64.4	1.00	1.00	1.00	1.00
		1.00	1.21	1.02	.92	19	64.2	1.00	1.00	1.00	1.00
		1.00	1.07	1.00	1.00	22	48.0	1.00	1.00	1.00	1.00
		1.00	.94	1.01	1.01	21	49.8	.91	.94	.94	.97
1.05	1.50	1.00	.93	1.02	1.02	22	74.2	.99	.91	.96	.94
		1.00	.93	.96	1.02	23	72.4	.99	.91	.96	.94
		1.00	.91	.94	1.04	24	71.2	.91	.97	.93	.94
		1.00	.93	.93	1.03	25	77.0	.94	.91	.93	.97
1.10	1.50	1.00	.94	1.00	1.04	25	70.8	.94	.92	.94	.94
		1.00	.96	.96	1.00	27	60.4	.94	.93	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.00	26	62.4	.94	.93	.94	.94
		1.00	.92	.92	1.10	29	61.4	.94	.97	.97	.97
1.13	1.50	1.00	.92	.92	1.10	32	54.5	.94	.94	.94	.94
		1.00	.97	.94	1.12	31	57.2	.93	.94	.94	.94
		1.00	.97	.93	1.12	32	61.4	.91	.94	.94	.94
		1.00	.94	.92	1.12	33	61.4	.94	.94	.94	.94
1.15	1.50	1.00	.92	.92	1.12	34	54.5	.94	.94	.94	.94
		1.00	.97	.94	1.12	35	57.2	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	36	59.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	37	60.4	.94	.94	.94	.94
1.15	1.50	1.00	.94	.94	1.12	38	59.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	39	62.0	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	41	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	42	61.4	.94	.94	.94	.94
1.13	1.50	1.00	.94	.94	1.12	43	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	44	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	45	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	46	61.4	.94	.94	.94	.94
1.05	1.50	1.00	.94	.94	1.12	47	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	48	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	49	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	50	61.4	.94	.94	.94	.94
.95	1.50	1.00	.94	.94	1.12	51	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	52	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	53	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	54	61.4	.94	.94	.94	.94
.85	1.50	1.00	.94	.94	1.12	55	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	56	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	57	61.4	.94	.94	.94	.94
		1.00	.94	.94	1.12	58	61.4	.94	.94	.94	.94

TABLE II.B

TABLE OF MULTIPLIERS FOR USE IN CONVERTING POWER FACTORS AT TEST TEMPERATURES TO POWER FACTORS AT 25°C

BUSHINGS										VENTILATORS				McGrav Edison [®] Types P-PA-PI
GENERAL ELECTRIC										WESTINGHOUSE				
Type F	Type P	Type L - LC L - LM	Type G - GP G - PM	Test Temperature °C °F		Type S-S-EM (CPS. Poles)	Type D	Type D	Combined, except Type D		Type G			
1.00	.93	1.00	1.10	1	33.8	1.13	1.03	1.14	1.07			.68		
1.01	.93	1.00	1.14	2	35.6	1.24	1.03	1.15	1.07			1.10		
1.02	.94	1.00	1.19	3	37.4	1.33	1.02	1.15	1.08			1.49		
1.03	.97	1.00	1.15	4	39.2	1.73	1.02	1.20	1.07			1.22		
1.04	.93	1.00	1.10	7	47.0	1.20	1.02	1.19	1.06			.74		
1.05	.98	1.00	1.13	6	42.8	1.19	1.01	1.18	1.06			1.04		
1.06	.98	1.00	1.12	7	44.6	1.77	1.01	1.18	1.05			1.07		
1.08	.99	1.00	1.11	8	46.4	1.10	1.01	1.18	1.09			1.07		
1.07	.99	1.00	1.11	9	48.2	1.15	1.01	1.18	1.08			1.05		
1.07	.99	1.00	1.10	10	50.0	1.10	1.01	1.12	1.10			.82		
1.03	.99	1.00	1.09	11	51.8	1.01	1.01	1.10	1.09			1.00		
1.04	.99	1.00	1.08	12	53.6	1.11	1.01	1.09	1.10			1.04		
1.04	.99	1.00	1.07	13	55.4	1.10	1.01	1.07	1.10			1.04		
1.02	1.00	1.00	1.06	14	57.2	1.04	1.01	1.06	1.10			1.07		
1.02	1.00	1.00	1.05	15	59.0	1.07	1.01	1.04	1.09			1.02		
1.04	1.00	1.00	1.04	16	60.8	1.06	1.00	1.04	1.09			1.00		
1.03	1.00	1.00	1.03	17	62.6	1.04	1.00	1.03	1.06			1.03		
1.02	1.00	1.00	1.02	18	64.4	1.01	1.00	1.02	1.04			1.01		
1.01	1.00	1.00	1.01	19	66.2	1.01	1.00	1.01	1.02			1.01		
1.05	1.02	1.00	1.01	20	68.0	1.00	1.00	1.01	1.04			1.00		
.98	.99	1.00	.99	21	69.8	.94	1.00	.99	.98			.99		
.97	.99	.99	.97	22	71.6	.97	1.00	.97	.96			.99		
.93	.98	.99	.94	23	73.4	.93	1.00	.96	.94			.96		
.93	.97	.99	.94	24	75.2	.94	1.00	.93	.92			.93		
1.02	.97	.93	.93	25	77.0	.92	1.00	.93	.92			1.12		
.90	.94	.90	.91	26	78.8	.89	.99	.91	.90			.90		
.88	.95	.90	.90	27	80.6	.89	.99	.91	.90			.90		
.85	.94	.97	.88	28	82.4	.87	.99	.90	.88			.93		
.83	.93	.96	.87	29	84.2	.84	.99	.89	.84			.84		
.81	.91	.94	.85	30	86.0	.84	.99	.87	.81			1.24		
.80	.91	.93	.84	31	87.8	.83	.94	.84	.79			.83		
.77	.89	.95	.83	32	89.6	.81	.94	.83	.77			.83		
.79	.88	.95	.81	33	91.4	.79	.99	.83	.78			.82		
.73	.87	.94	.80	34	93.2	.77	.99	.83	.73			.73		
.71	.84	.94	.78	35	95.0	.74	.94	.81	.71			1.34		
.69	.84	.93	.77	36	96.8	.74	.90	.79	.69			.69		
.67	.82	.92	.76	37	98.6	.74	.90	.78	.67			.67		
.61	.81	.91	.74	38	100.4	.69	.90	.77	.67			.69		
.63	.80	.90	.72	39	102.2	.69	.90	.75	.64			.64		
.61	.79	.89	.70	40	104.0	.67	.90	.73	.64			1.45		
.60	.78	.88	.68	41	105.8	.63	.90	.72	.62			.62		
.74	.87	.67	.63	43	107.6	.63	.90	.72	.62			.67		
.72	.86	.65	.61	45	109.4	.61	.90	.70	.60			.60		
.70	.85	.63	.60	46	111.2	.60	.90	.69	.59			.59		
.67	.83	.62	.57	47	113.0	.59	.90	.67	.57			1.56		
.64	.82	.61	.56	48	114.8	.56	.97	.65	.54			.54		
.63	.82	.60	.57	47	115.6	.55	.97	.64	.53			.53		
.62	.82	.59	.56	48	117.4	.53	.97	.62	.52			.52		
.55	.81	.57	.53	45	117.2	.52	.97	.61	.51			.51		
.52	.80	.54	.50	42	117.0	.50	.97	.59	.51			1.65		
.50	.79	.53	.49	42	117.8	.49	.97	.58	.50			.50		
.48	.78	.51	.48	40	117.6	.48	.97	.57	.48			.48		
.47	.77	.51	.46	40	118.4	.47	.94	.56	.47			.47		
.45	.76	.50	.45	38	118.2	.45	.94	.55	.46			.46		
.43	.75	.49	.44	37	119.0	.44	.94	.54	.45			1.68		
.42	.74	.48	.43	37	119.8	.43	.94	.53	.44			.44		
.40	.73	.47	.42	35	119.6	.42	.94	.52	.43			.43		
.40	.73	.46	.41	34	120.4	.41	.94	.51	.42			.42		
.38	.72	.45	.40	33	121.2	.40	.94	.50	.41			.41		
.37	.71	.44	.39	32	122.0	.39	.94	.49	.40			1.56		
.35	.70	.43	.38	31	122.8	.38	.94	.48	.39			.39		
.34	.69	.42	.37	30	123.6	.37	.94	.47	.38			.38		
.33	.68	.41	.36	29	124.4	.36	.94	.46	.37			.37		
.32	.67	.40	.35	28	125.2	.35	.94	.45	.36			.36		
.31	.66	.39	.34	27	126.0	.34	.94	.44	.35			.35		
.30	.65	.38	.33	26	126.8	.33	.94	.43	.34			.34		
.29	.64	.37	.32	25	127.6	.32	.94	.42	.33			.33		
.28	.63	.36	.31	24	128.4	.31	.94	.41	.32			.32		
.27	.62	.35	.30	23	129.2	.30	.94	.40	.31			.31		
.26	.61	.34	.29	22	130.0	.29	.94	.39	.30			.30		
.25	.60	.33	.28	21	130.8	.28	.94	.38	.29			.29		
.24	.59	.32	.27	20	131.6	.27	.94	.37	.28			.28		
.23	.58	.31	.26	19	132.4	.26	.94	.36	.27			.27		
.22	.57	.30	.25	18	133.2	.25	.94	.35	.26			.26		
.21	.56	.29	.24	17	134.0	.24	.94	.34	.25			.25		
.20	.55	.28	.23	16	134.8	.23	.94	.33	.24			.24		
.19	.54	.27	.22	15	135.6	.22	.94	.32	.23			.23		
.18	.53	.26	.21	14	136.4	.21	.94	.31	.22			.22		
.17	.52	.25	.20	13	137.2	.20	.94	.30	.21			.21		
.16	.51	.24	.19	12	138.0	.19	.94	.29	.20			.20		
.15	.50	.23	.18	11	138.8	.18	.94	.28	.19			.19		

General Electric Company
 Station 60, 601, 602, 603, 604, 605
 1200 Broadway, New York, N. Y.
 McGraw-Edison Company
 1200 Broadway, New York, N. Y.
 Westinghouse Electric Company
 1200 Broadway, New York, N. Y.

McGrav-Edison Company
 Station 60, 601, 602, 603, 604, 605
 1200 Broadway, New York, N. Y.

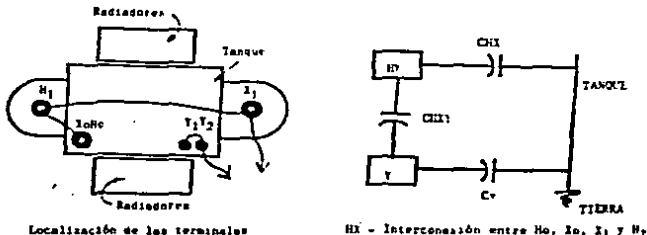
• Also Pennsylvania & Federal Pacific

Calculando el Factor de Potencia de la forma acostumbrada.

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A DEVANADOS:

Los aislamientos de los devanados del autotransformador se probarán conectando juntas todas las terminales de los devanados interconectados, en otras palabras, se cortocircuitará la terminal H_1 con X_1 y con X_0 o H_0 , haciendo lo mismo en el devanado terciario, con Y_1 y Y_2 . El devanado terciario se considera como un segundo arrollamiento. (Ver Fig. No. II.11).

En la figura mencionada, se representa esquemáticamente los aislamientos de un autotransformador de potencia. El aislamiento representado como C_{hx} es el aislamiento entre el devanado de alta tensión y secundario a tierra, el aislamiento C_{hxy} , es el aislamiento entre los devanados primario-secundario y el terciario y el designado como C_y , es el existente entre el devanado terciario y tierra.



Localización de las terminales
 CHX - Interconexión entre No. 1o, X_1 y H_2
 Y - Interconexión entre I_1 y Y_2
FIG.II. 11 : DIAGRAMA DE INTERCONEXION DE TERMINALES Y REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS AISLAMIENTOS DEL AUTOTRANSFORMADOR

Estos aislamientos aunque actúan distribuidos a lo largo de los devanados, se muestran como un sólo capacitor por simplicidad y no están compuestos de un sólo dieléctrico, por ejemplo, C_{hx} comprende la boquilla de alta, la de baja y la del neutro, el aislamiento entre el devanado de alta tensión y tierra.

Los pasos para efectuar la prueba, a continuación los enumeramos:

- Desconectar completamente el autotransformador de sus terminales externas.
- Desconectar los neutros de los devanados que se encuentren a tierra.
- Cortocircuitar cada devanado en las terminales de las boquillas.
- Aterrizar sólidamente el tanque del autotransformador.
- Efectuar la prueba con las conexiones de prueba mostradas en el cuadro sinótico:

CONEXIONES PARA PRUEBA:

CIRCUITOS DE PRUEBA PARA
FACTOR DE POTENCIA A DEVANADOS.

No.	HV	LV	POS	M I D E
1	HX	Y	GROUND	Chx + Chxy
2	HX	Y	GUARD	Chx
3	Y	HX	GROUND	Cy + Chxy
4	Y	HX	GUARD	Cy
5	HX	Y	UST	Chxy
6	Y	HX	UST	Chxy

La prueba 1 - la prueba 2 = Chxy . (Chx + Chxy) - Chx = Chxy

La prueba 3 - la prueba 4 = Chxy . (Cy + Chxy) - Cy = Chxy

Estos resultados se comparan con la prueba de UST, con el fin de corroborar si las mediciones se hicieron correctamente.

Los resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia a los devanados, son los que a continuación se presentan:

RESULTADOS DE LA PRUEBA:

Temperatura = 28.7°C Factor de Corr. = 0.68

PRUEBA No.	MVA	MW	F.P. MEDIDO	F.P. A 20°C
1	7450	56.3	0.75	0.51
2	5500	45.9	0.83	0.56
3	8750	74.5	0.65	0.58
4	6750	64.5	0.96	0.65
5	1980	10.5	0.53	0.36
6	2050	10.2	0.49	0.33
1-2	1950	10.4	0.53	0.36
3-4	2000	10.0	0.50	0.34

Podemos afirmar que la prueba es correcta, ya que los resultados obtenidos en las pruebas 5 y 6, son muy similares a los obtenidos aritméticamente en las restas de las pruebas (1-2) y (3-4) respectivamente.

Las normas y criterios utilizados para considerar un valor de por ciento de factor de potencia a 20°C aceptable, son para autotransformadores por entrar en servicio, un valor no mayor del 0.5%.

Para valores mayores habrá que investigar la causa que lo puede originar, pudiendo ser: algún daño en boquilla, deficiente secado de los aislamientos o algún agente externo que pudiera causar errores en las mediciones.

Por ningún motivo deberá permitirse la aprobación de autotransformadores con un factor de potencia porcentual mayor que el indicado.

En nuestro caso, estas pruebas preliminares son un indicativo del estado actual del autotransformador antes del secado, como se verá los valores obtenidos nos indican la presencia de hume-

dad en pequeña escala, necesitando para su evacuación un procedimiento de secado convencional.

Esta prueba es una base para un análisis comparativo del estado del autotransformador al final del procedimiento citado, al ser comparada con los ensayos finales.

Podemos decir también, que pese al factor de potencia, no se notan pérdidas alarmantemente elevadas por corrientes de fuga, para lo cual, se están tomando en cuenta las boquillas, mismas que se probarán por separado.

PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA A BOQUILLAS:

Cualquier boquilla es básicamente un conductor central rodando de una pared de porcelana, que contiene Askarel, Compound o aceite aislante.

Su función principal, es la de proporcionar un medio aislante adecuado para un conductor energizado que tiene que pasar a través de una pared, que está a un potencial generalmente de tierra.

Las hay del tipo: Sólido, de papel impregnado en aceite, papel impregnado en resina, llenas de compound, papel impregnado en askarel, llenas de aceite, sumergidas en aceite, con gas (SF_6), compuestas (de varios de los materiales antes mencionados), principalmente.

Las boquillas de nuestro transformador son de los siguientes tipos:

H_1, X_1	Boquilla de papel impregnado en resina, exterior de porcelana, con tap capacitivo.
HoXo	Boquilla llena de aceite, exterior de --

$Y_1 Y_2$

porcelana.

Boquilla sólida de porcelana standard.

Los métodos de prueba de Factor de Potencia a Boquillas son, por mencionar algunos.

- a.- Prueba total.
- b.- Prueba de collar simple.
- c.- Prueba de collar múltiple.
- d.- Prueba de collar frío simple.
- e.- Prueba de collar frío múltiple.
- f.- Prueba en espécimen no aterrizado.
- g.- Prueba en espécimen no aterrizado con tap capacitivo.

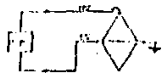
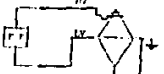
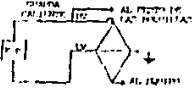
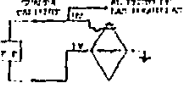
Cada prueba nos indica ciertas características del Bushing y no todas son aplicables a un tipo específico. El equipo de prueba es el mismo que utilizamos en el ensayo de Factor de Potencia a devanados, siendo su manejo igual.

CONEXIONES PARA PRUEBA:

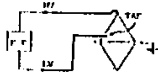
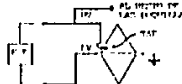
De las pruebas mencionadas anteriormente, a continuación en el cuadro sinóptico, mencionaremos los métodos más comunes que se aplican a las características de nuestros bushings y nos arrojan los resultados necesarios para determinar la aceptación o rechazo de ellos.

Las otras pruebas son para estudios especiales ó casos de duda en los resultados de algún ensayo.

FACTOR DE POTENCIA A BOQUILLAS

PRUEBA	BOQUILLA TIPO	DIAGRAMA DE CONEXIONES	OBSERVACIONES
TOTAL. (1)	SOLIDO, LLENAS DE COMPOUND, - ACEITE O ASKAREL, SEPARADAS DEL EQUIPO.		LAS PERDIDAS DE CUERPO Y IST. NO SE REALIZAN PORQUE DAN VALORES AJUSTADOS. ATERRIZAR IRIDA.
CILINDRO CALIENTE SIMPLE. (2)	SOLIDO, LLENAS DE COMPOUND, ACEITE O ASKAREL, INSTALADAS EN BARRIO, TERCAN O NO TAP CUBICITIVO.		ATERRIZAR CONDUCTOR Y IRIDA. MIDE PERDIDAS EN EL AISLAMIENTO ENTRE LA PARTE EXTERIOR DEL BUSHING, EL CONDUCTOR CENTRAL Y TIERRA.
TOTAL. (EXCLUYE PERDIDAS DE CUERPO Y IST. DEL IRIDA) (3)	SOLIDO, LLENAS DE COMPOUND, ACEITE O ASKAREL, INSTALADAS EN BARRIO, TERCAN O NO TAP CUBICITIVO.		MIDE PERDIDAS ENTRE CONDUCTOR Y IRIDA MAS UNA PARTE DEL DEVANADO CON RESPECTO A TIERRA.
CILINDRO CALIENTE SIMPLE. (4)	SOLIDO, LLENAS DE COMPOUND, ACEITE O ASKAREL, INSTALADAS EN BARRIO, TERCAN O NO TAP CUBICITIVO.		EL BARRIO DE LAS BOQUILLAS SE CONECTAN Y CONECTAN A GUARDA CALIENTE, EXCEPTO LAS TERMINALES DEL DEVANADO A PRUEBA. MIDE PERDIDAS ENTRE EL CILINDRO CALIENTE Y LA IRIDA O TIERRA.

FACTOR DE POTENCIA A BOQUILLAS

PRUEBA	BOQUILLA TIPO	DIAGRAMA DE CONEXIONES	OBSERVACIONES
IST CON TAP CAPACITIVO (5)	CONDENSADOR, PARA CASOS - DE BOQUILLAS		MIDE LA CAPACITANCIA ENTRE EL TERMINAL CENTRAL Y EL TAP, (C_1) FIG. 11.12.
TOTAL CON TAP CAPACITIVO (6)	INSTALADAS - EN EQUIPO.		SE DEBE DESCARGAR EL CAPACI TOR, CERRANDO LA TERMINAL Y EL TAP (EN TIE PRA APROXIMADAMENTE POR UN MINUTO. ----- MIDE LA CAPACITANCIA ENTRE EL TAP Y LA FRIDA, (C_2). FIG. 11.12

NOTA: El circuito de medición para las primeras 4 pruebas es (2010) a un potencial de 2300 Volta, para la prueba 5 es IST al mismo Voltaje y en el último tiempo es (2010) a 500 Volta.

RESULTADOS DE PRUEBA:

PRUEBA No.	BUSHING	KV PRUEBA	m V A	m W	F. P. MEDIO	CAPACITANCIA EN PICOFARADIOS
3	H ₁	2.5	6900	41.75	0.605	—
4	H ₁	2.5	61	0.15	0.245	—
5	H ₁	2.5	567	3.45	0.587	249.475
6	H ₁	0.5	5750	45.25	0.780	97.750
3	X ₁	2.5	6800	47.50	0.668	—
4	X ₁	2.5	46	0.10	0.217	—
5	X ₁	2.5	547	2.62	0.479	232.475
6	X ₁	0.5	4700	35.00	0.744	79.900
3	Y ₁	2.5	11400	51.00	0.447	—
4	Y ₁	2.5	53	0.15	0.283	—
3	Y ₂	2.5	11900	56.00	0.474	—
4	Y ₂	2.5	55	0.23	0.400	—
3	X _H U _U	2.5	6400	42.50	0.625	—
4	X _H U _U	2.5	47	0.15	0.314	—

En esta prueba no corregimos el F.P. a 20°C, porque nuestra base de análisis, serán otros resultados, no propiamente esa cantidad porcentual.

Es difícil poder tener una referencia normativa para la prueba No. 3, ya que involucra una parte muy considerable del devanado del cual está su terminal conectada a la boquilla bajo prueba; pero estos resultados nos sirven de patrón para pruebas subsecuentes, en mantenimientos predictivos posteriores.

Para el análisis de resultados, en el caso del ensayo No. 4,

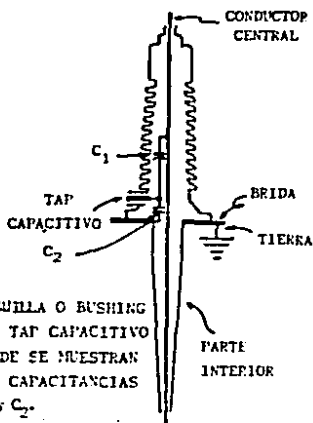


FIG. II.12. BOCUILLA O BUSHING
CON TAP CAPACITIVO
DONDE SE MUESTRAN
LAS CAPACITANCIAS
 C_1 y C_2 .

si hay una normatividad, que es dictada por la experiencia de la Doble Engineering Co. y CFL, y es:

RESULTADO DE LA PRUEBA	KV DE PRUEBA	CONDICION DE LA BOCUILLA
0.05 a 9 Mc	2.5	BUENA
9.00 a 19 Mc	2.5	INVESTIGAR
19.00 en adelante	2.5	RETIRAR

Para la interpretación de los resultados de la prueba 5 y 6, se hará en base a la capacitancia obtenida, la cual no deberá ser diferente en un $\pm 2\%$ de tolerancia, de la capacitancia de placa.

Comparando los patrones mencionados, podemos apreciar en resumen lo siguiente:

BOQUILLA	RESULTADO PRUEBA No. 4	CONDICION
H ₁	0.15 mW	BUENA
X ₁	0.10 mW	BUENA
X ₀ H ₀	0.15 mW	BUENA
Y ₁	0.15 mW	BUENA
Y ₂	0.23 mW	BUENA

BOQUILLA	RESULTADO DE CAPACITANCIA	CAPACITANCIA	DATO DE PLACA	% DE DIFERENCIA	CONDICION
H ₁	249.475 pF	C ₁			
H ₁	97.750 pF	C ₂			
X ₁	232.475 pF	C ₁			
X ₁	79.900 pF	C ₂			

Podemos concluir que los Bushings están en muy buenas condiciones hasta lo que va del proceso de puesta en servicio, deberán realizarse las pruebas antes de su puesta en operación, para verificar que durante el manejo, preparación, secado, llenado, armado final, etc. del autotransformador, no sufrieron daño alguno.

Se realizaron únicamente las pruebas 3, 4, 5 y 6 a los Bushings X₁ y H₁ y los ensayos 3 y 4 a las boquillas X₀H₀, Y₁ y Y₂, por estar conectados al autotransformador. Lo hicimos de esta mane-

ra para apearnos más a la realidad operativa de las boquillas y tener la referencia que nos servirá en los análisis de mantenimientos futuros.

Los resultados de la prueba 5 y 6, no pudieron ser comparadas con el de fábrica, por carecer la placa de características de este dato, no pudiendo obtenerse con el proveedor. De esta manera, esta medición nos sirve como base para mediciones posteriores, viendo si existen variaciones de consideración.

Como nota mencionaremos, que como norma Americana, la magnitud de las capacitancias debe ser grabada en la placa de datos del Lushing, pero en el caso de equipos Europeos no es obligatorio; al ser boquillas de manufactura Alemana, no cuentan con tales características en su placa y nuestra base para la puesta en servicio serán los resultados de la prueba 4.

B.- PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO:

OBJETIVO DE LA PRUEBA:

El objetivo de esta prueba es proporcionar los elementos suficientes, en la determinación de las condiciones de los materiales que forman parte de los aislamientos de los equipos eléctricos.

TEORIA GENERAL DE LA PRUEBA:

La resistencia de aislamiento podemos definirla, como la oposición que presenta un aislamiento al paso de la corriente directa durante un tiempo establecido, medida a partir de la aplicación del potencial. Esta resistencia generalmente esta dada en MEGOHMS.

La corriente que resulta por la aplicación del potencial de C.D. al aislamiento, se le conoce con el nombre de corriente de aislamiento, la cual consiste de dos componentes principales: La corriente que se establece dentro del volumen del aislamiento y la que fluye en la superficie del mismo.

La corriente que fluye dentro del aislamiento podemos subdividirla en tres componentes principales:

- a).- Corriente Capacitiva: De magnitud relativamente grande, decrece generalmente en un tiempo de 15 segundos como máximo conforme el aislamiento se carga. Esta corriente es la causa del bajo valor inicial de resistencia de aislamiento, siendo más notorio su efecto en equipos con capacidades altas.
- b).- Corriente de Absorción Dieléctricas: De valor relativamente alto, decrece gradualmente a un valor cercano a cero siguiendo una función exponencial. Esta corriente es la que determina generalmente los valores de resistencia en los primeros minutos de la prueba y puede tardar desde unos

minutos a varias horas para alcanzar su valor mínimo, para nosotros su valor después de 10 minutos, es despreciable.

- c).- Corriente de Conducción Irreversible: Casi constante, predomina después de que la corriente de absorción se hace despreciable.

La corriente que fluye en la superficie del aislamiento también es constante, constituyendo junto con la corriente de conducción irreversible el factor primario para establecer un juicio de las condiciones de un aislamiento. Se le denomina comúnmente, corriente de fuga.

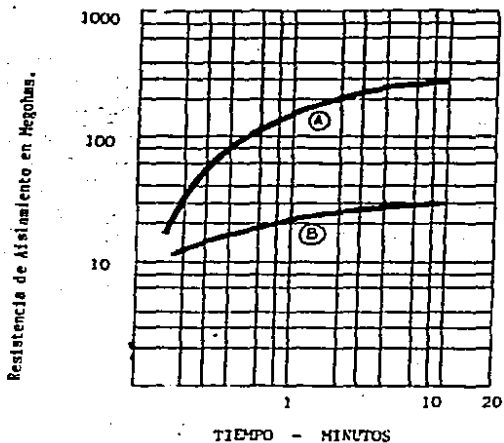
La resistencia del aislamiento siempre se inicia con un valor bajo, aumentando su magnitud con el tiempo hasta estabilizarse, variando también de una manera directa y proporcional al espesor del aislamiento, pero inversamente proporcional al área del mismo.

Si graficamos los valores de resistencia de aislamiento obtenidos contra tiempo, encontraremos una curva (Ver Fig. No. II.13), cuya pendiente nos indicará el grado relativo de contaminación ó degradación del aislamiento.

A esta curva se le denomina curva de absorción dieléctrica. - misma que alcanza un valor estable en pocos minutos de haber iniciado la prueba, si se obtiene una curva con baja pendiente, esto será indicativo de que el aislamiento se encuentra en malas condiciones.

La pendiente de la curva de absorción dieléctrica puede expresarse mediante la relación de dos lecturas de resistencia de aislamiento tomadas a diferentes intervalos de tiempo durante la misma prueba.

A la relación de las lecturas de los 60 segundos y 30 segundos se le conoce como INDICE DE ABSORCIÓN y a la relación de 10 -



- A.- Aislamiento en Buenas condiciones
 B.- Aislamiento humedo ó en mal estado

FIG. II.13 CURVA DE ABSORCION DIELECTRICA.

minutos a 1 minuto como INDICE DE POLARIZACION.

El índice de Polarización es muy útil para la evaluación del estado del aislamiento de devanados transformadores.

FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA:

SUCIEDAD:

Los depósitos de carbón, polvo, aceite y otros contaminantes, afectan e inciden directamente en forma negativa en los resultados de la prueba. Algunos de estos contaminantes no son conductores en estado seco, pero una vez expuestos a la humedad son parcialmente conductores, causando una reducción en la resistencia de aislamiento, por lo cual es necesario eliminarlos antes de efectuar la prueba.

HUMEDAD:

Al igual que en la prueba del factor de potencia, no deberán realizarse pruebas bajo condiciones de humedad relativa ambiental mayores del 75%, porque incidiría gravemente en los resultados de las mismas.

TEMPERATURA:

Como la resistencia de aislamiento varía en forma inversa y proporcional con la temperatura en la mayor parte de los materiales dieléctricos, a fin de poder establecer un solo criterio en el análisis de las mediciones periódicas, se deberán referir todas las lecturas a una base de 20°C, en equipo transformador. Para ésto se anexa la tabla II.C, en la cual se muestran los factores de multiplicación, que nos servirán para dicha referencia.

Aunque las características de temperatura de los materiales aislantes varían con el tipo, combinación y uso de los materiales, cada equipo tendrá sus propios factores de corrección, mismos que pueden ser obtenidos efectuando 2 pruebas sucesivas de absorción a dos diferentes temperaturas. Cabe aclarar, que la tabla a la que nos referimos en el inciso anterior es una buena referencia para aislamientos de equipo transformador, del tipo

que nosotros tratamos de analizar.

En todos los casos, deberá quedar fuera de servicio toda ventilación forzada, al mismo tiempo que se erradica o elimina la causa.

VOLTAJE DE PRUEBA:

Esta prueba, es en sí, una prueba de voltaje y por lo tanto, deberán restringirse los voltajes a valores dependientes de la tensión nominal del equipo sujeto a prueba. Si se utilizan voltajes mayores puede llegar al extremo de fatigar al aislamiento.

Los voltajes de prueba más comunes son de 500 a 5000 volts de corriente directa. Las lecturas de resistencia disminuyen normalmente conforme se utilizan voltajes más altos, sin embargo, se deben de obtener valores muy próximos para los diferentes voltajes cuando el aislamiento se encuentra seco y en buenas condiciones.

Si aumentando el voltaje de aplicación se reducen ostensiblemente los valores de resistencia de aislamiento, será el indicativo de imperfecciones, suciedad, humedad, fractura, etc. del aislamiento.

El diagnóstico completo, en el caso de existir imperfecciones nos lo da el análisis de la totalidad de las pruebas. Con esto queremos decir, que aunque es importante la prueba de resistencia de aislamiento, no es por sí sola un determinante preciso, sino que necesita el auxilio de los demás ensayos.

DURACION DEL VOLTAJE APLICADO:

Tiene una incidencia notable en el caso de transformadores de potencia de gran tamaño, para lo cual, se tiene establecido para los fines que se persiguen, un tiempo normal de 10 minutos, para el caso de devanados y un minuto para boquillas.

CARGA RESIDUAL:

Factor que afecta gravemente las mediciones de resistencia de aislamiento y que puede originarse por una aplicación de voltaje de corriente directa en una prueba anterior o porque el equipo trabaja aislado de tierra.

Es recomendable aterrizar las terminales antes de efectuar las pruebas, así mismo, hacer lo mismo entre prueba y prueba, descargando los aislamientos un tiempo igual al de prueba como mínimo.

EQUIPO DE PRUEBA:

Básicamente existen cuatro formas de medir la Resistencia de Aislamiento:

- a).- Mediante un ohmímetro (Megger) de indicación directa.
- b).- Mediante un voltmetro y un amperímetro utilizando una fuente de potencial de corriente directa.
- c).- Mediante un voltmetro y una fuente de potencial de corriente directa.
- d).- Mediante un puente de resistencia con batería y galvanómetro autocontenido.

El equipo que utilizaremos y que a continuación describiremos, será de ohmímetro de indicación directa, conocido con el nombre de MEGGER, siendo a la fecha el instrumento más sencillo para medir la resistencia de aislamiento. Existen básicamente 3 tipos de Megger:

- Equipos accionados en forma manual.
- Equipos accionados en forma motorizada.
- Equipos del tipo rectificador.

El equipo manual es práctico para pruebas de corta duración, más no es recomendable para las pruebas de absorción dieléctrica de 10 minutos, debido a que es materialmente imposible man-

tener la velocidad adecuada para la generación de corriente directa en forma estable.

Para los fines que perseguimos, los otros 2 tipos de instrumento son suficientes, siempre y cuando tengan la debida capacidad para mantener su voltaje nominal constante durante los 10 minutos de prueba, ya que los transformadores grandes demandan una corriente de absorción alta, al iniciar la prueba.

El equipo utilizado por nosotros en estos ensayos es el Megger marca Biddle, Motorizado, No. G2013, rango 0-250,000 Megohms, Voltajes 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 V.C.D. (Ver Fig. 11.14).

PRINCIPIO DE OPERACION:

Aún cuando existe una gran variedad de instrumentos para la medición de la Resistencia de Aislamiento, puede decirse que la mayoría utiliza el elemento de medición de bobinas cruzadas, cuya principal característica es que su exactitud es independiente del voltaje aplicado en la prueba.

El megóhmetro consiste fundamentalmente de dos bobinas designadas como A y B (Ver Fig. No. 11.15), montadas en un sistema móvil común, con una aguja indicadora unida a las mismas y con libertad para girar en un campo producido por un imán permanente.

En el caso del Megger el sistema móvil está sustentado en joyas soportadas en resortes y está exento de las espirales de control que llevan otros aparatos como los amperímetros y voltímetros.

La alimentación de señal a las bobinas, se efectuó mediante ligamentos conductores que ofrecen la mínima restricción posible, en tal forma, que cuando el instrumento esta nivelado y no se le está alimentando corriente, la aguja indicadora flotará libremente pudiendo quedar en reposo en cualquier posición de la escala.

TABLA II.C

CORRECCION POR TEMPERATURA PARA RESISTEN-
CIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES.
A 20 °C

(°) Temperatura en ° C del transf.	factor de corrección	(°) Temperatura en ° C del transf.	factor de corrección
95	80.0	35	2.5
90	66.0	30	1.8
85	49.0	- 25	1.3
80	36.2	- 20	1.0
75	26.8	15	0.73
70	20.0	10	0.54
65	14.8	5	0.40
60	11.0	0	0.30
55	8.1	- 5	0.22
50	6.0	-10	0.16
45	4.5	-15	0.12
40	3.3		

* TEMPERATURA DEL ACEITE

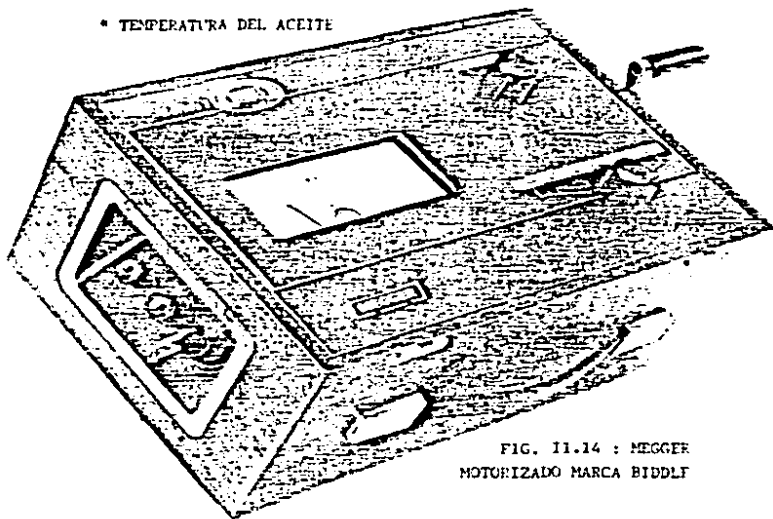


FIG. 11.14 : MEGGER
MOTORIZADO MARCA BIDL

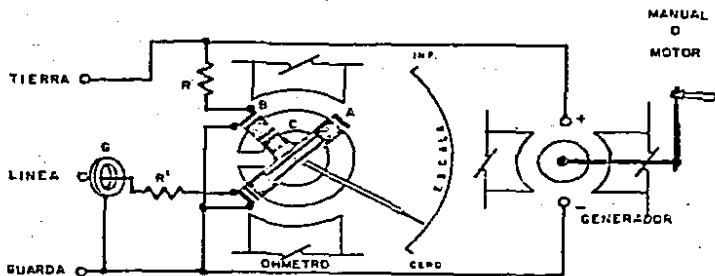


Fig. II.15: DIAGRAMA ELEMENTAL DEL MEGGER

Adicionalmente al elemento de medición, el megóhmetro tiene un generador de corriente directa accionado mediante un motor, el cual, proporciona el voltaje necesario para efectuar la medición.

La bobina deflectora A, está conectada en serie con una resistencia fija R' y la bobina de control está conectada en serie con una resistencia R , quedando la resistencia bajo prueba conectada entre las terminales línea y tierra del aparato.

Las bobinas A y B están montadas en el sistema móvil con un ángulo fijo entre ellas y están conectadas en tal forma que cuando se les alimenta corriente, desarrollan pares opuestos y tienden a girar el sistema móvil en direcciones contrarias. Por lo tanto, la aguja indicadora se estabilizará en el punto donde los dos pares se balancean.

Cuando el aislamiento es casi perfecto o cuando no se conecta nada a las terminales de prueba no habrá flujo de corriente en la bobina A. Sin embargo, por la bobina B circulará en flujo

de corriente y por tal razón, girará en contra de las manecillas del reloj hasta posicionarse el entrehierro en el núcleo de hierro C. En esta posición la aguja indicadora estará sobre la marca del infinito.

Con las terminales de prueba en cortocircuito, fluirá una corriente mayor en la bobina A que en la bobina B, por tal motivo un par mayor en la bobina A, desplazará el sistema en sentido de las manecillas del reloj, hasta posicionar la aguja indicadora en el cero de la escala.

Cuando se conecta una resistencia entre las terminales línea y tierra del aparato, fluirá una corriente en la bobina deflectora A y el par correspondiente desplazará el sistema sacándolo de la posición de infinito, hacia un campo magnético que aumenta gradualmente, hasta que se alcanza un balance entre los pares de las bobinas.

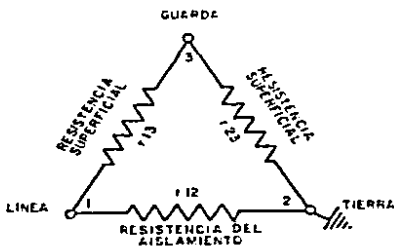


FIG. II.16 : DIAGRAMA SIMPLIFICADO QUE ILUSTRRA EL USO DEL CIRCUITO DE GUARDA.

Esta posición depende del valor de la resistencia externa que controla la magnitud relativa de la corriente en la bobina A. - Debido a que los cambios en el voltaje afectan las bobinas en la misma proporción, la posición móvil es independiente del voltaje.

La función de la resistencia R' , es la de limitar la corriente en la bobina A y evitar que se dañe el aparato cuando se ponen en cortocircuito las terminales de prueba.

En la Fig. No. 11.15, se muestra como se guarda la terminal de línea mediante una arandela metálica conectada al circuito de guarda, esto evita errores debido a fugas a través de la superficie del aparato entre las terminales de Línea y Tierra.

Básicamente lo que se hace, es proporcionar la corriente de fuga un camino en derivación hacia la fuente de alimentación, que no pase por la bobina defleitora del aparato.

USO DE LA GUARDA:

Generalmente todos los megger con rango mayor de 1000 megohms están equipados con terminal de guarda. El propósito de esta terminal es, el contar con un medio para efectuar mediciones en mallas de tres terminales, en tal forma que pueda determinarse directamente el valor de una de las trayectorias posibles.

Además de esta finalidad principal, dicha terminal hace posible que el Megger pueda utilizarse como una fuente de voltaje de corriente directa con buena regulación, aunque con capacidad de corriente limitada.

Correctamente puede decirse que la corriente de fuga de toda componente de un sistema de aislamiento conectada a la terminal de guarda, no interviene en la medición, así en el caso de la Fig. No. 11.16, usando las conexiones indicadas, se medirá la resistencia R_{12} directamente, ya que las otras dos no entran en

la medición por estar conectada la terminal 3 a guarda.

OPERACION DEL EQUIPO:

- Seleccionar el voltaje en terminales adecuado.
- Coloque el instrumento sobre una base firme y bien nivelada, procurando centrar la burbuja del nivel del aparato.
- Evitar los campos magnéticos fuertes y grandes masas de hierro.
- Verificar el infinito del aparato, conservándolo en circuito abierto y en el caso de que el instrumento tenga switch de descarga, colocarlo en la posición de prueba.
- Seleccionar y probar los cables de prueba, que deberán ser de alta calidad y duración, recomendándose cables con aislamiento de hule natural resistente al aceite, la superficie exterior debe ser lisa sin cubierta trenzada, debiéndose evitar los empalmes.
- Cuando se efectúen pruebas con Megger de alto rango, se hará necesario el uso de cable blindado para terminal de línea y conectar su blindaje en la terminal de guarda, para evitar que la corriente de fuga en las terminales o a través del aislamiento del cable sea medido.
- Checar el cero del aparato, conectando las terminales de prueba en cortocircuito. De esta forma, además de confirmar el ajuste del equipo, se verifica que los cables no estén abiertos.
- Confirmar que el equipo a probar esté desenergizado y aterricado durante unos 10 minutos, para eliminar la carga capacitiva remanente que pueda alterar las mediciones.
- Tome nota de los componentes que intervienen adicionalmente al equipo que se va a probar.
- Conectar adecuadamente las terminales de prueba al equipo que se va a probar, opere el aparato, gire en caso de que exista el switch de descarga a posición de TEST y tome la lectura o lecturas de los tiempos requeridos.
- Al terminar la prueba ponga fuera de servicio el instrumento.

regrese el switch de descarga a posición DISCHARGE y aterrice nuevamente la parte del equipo probado durante un tiempo, cuando menos igual al tiempo de la prueba.

Con el switch de descarga en posición DISCHARGE se completa, a través de conexiones internas del instrumento, un circuito de descarga para la parte probada.

- Registre la temperatura del equipo bajo prueba.
- En el caso de que se pruebe equipo con grandes superficies de dispersión como son las armaduras y campos de las máquinas rotatorias, conviene medir el % de humedad relativa en la atmósfera.

NOTA: Cabe mencionar, que deberán observarse estrictamente todas las medidas expuestas en la técnica general de las pruebas de páginas anteriores, además de las aquí mencionadas.

RECOMENDACIONES GENERALES:

Se deberán tener en práctica, pruebas de comprobación para detectar voltajes inducidos; conectar las tierras y desconectar el neutro del transformador.

MÉTODOS DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO:

Son tres los métodos prácticos que se utilizan para la medición de resistencia de aislamiento y son:

- a).- Métodos de tiempo corto o de lectura única.
- b).- Método de tiempo contra resistencia o de absorción dieléctrica.
- c).- Método de voltajes múltiples.

Para nuestros fines utilizaremos el segundo método en el caso de devanados, ya que el primero tiene su principal aplicación en equipos pequeños o equipos que no tienen características notables de absorción, como son los bushings y otros como los transformadores para instrumento, los apartarrayos, los inte-

ruptores, etc.

El tercer método tiene como principal aplicación, evaluación de las condiciones del aislamiento de las máquinas rotatorias, aunque puede ser útil en determinados casos especiales para transformadores de potencia.

METODO DE TIEMPO CORTO O DE LECTURA UNICA:

Aplicable a boquillas, generalmente se toma una sola lectura, al minuto de iniciarse el ensayo.

METODO DE TIEMPO CONTRA RESISTENCIA O DE ABSORCIÓN DIELECTRICA:

Método que consiste en aplicar el potencial de prueba durante 10 minutos, tomando lecturas a los 15, 30, 45, 60 segundos y en adelante cada minuto. Su aplicación esta basada en la verificación de las características de absorción del aislamiento.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A DEVANADOS:

PREPARACION DEL TRANSFORMADOR:

- Librar el transformador, deberá quedar completamente desconectado todas las terminales de boquilla.
- Asegúrese de que el tanque del transformador esté sólidamente aterrizado.
- Drene todas las cargas estáticas que puedan estar presentes en los devanados al inicio de cada una de las pruebas.
- Desconectar los neutros de los devanados.
- Colocar puentes entre las terminales de las boquillas de cada devanado: primario-secundario y del terciario.
- Limpiar la porcelana de las boquillas quitando polvo, suciedad, etc.
- Poner especial cuidado en que no haya cambios bruscos de temperatura mientras dure la prueba.
- Preferentemente efectúe las pruebas si la humedad relativa es menor de 75 %.

Hay diferentes criterios para la prueba de autotransformadores sobre todo en lo que al uso del guarda se refiere, en este texto, mencionaremos las que a nuestro criterio son las pruebas de más utilidad.

Se deberán tomar las temperaturas del aceite, temperatura ambiental y humedad relativa, datos que se asentarán en los registros correspondientes.

CIRCUITOS DE PRUEBA

PRUEBA No.	LINEA	TIERRA	GUARDA	MIDE
1	HX	Y	T	R_{HXY}
2	HX	T	Y	R_{HX}
3	Y	T	HX	R_Y
4	Y	HX	T	R_{HXY}

R_{HXY} : Es la resistencia del aislamiento existente entre el devanado primario- secundario con respecto al devanado terciario.

R_{HX} : Es la resistencia del aislamiento entre el devanado primario-secundario y el tanque o tierra.

R_Y : Es la resistencia del aislamiento entre el devanado terciario y tierra.

La cuarta prueba es de comprobación y el resultado deberá ser aproximadamente igual al del primer ensayo.

El diagrama esquemático de las resistencias de aislamiento del autotransformador, se muestra en la Fig. 11.17.

RESULTADO DE PRUEBA:

Temperatura de devanados = 25°C

TIEMPO (MINUTOS)	PRUEBA No. 1	PRUEBA No. 2	PRUEBA No. 3	PRUEBA No. 4
1/4	12000	10000	12500	11000
1/2	18000	18000	19000	18000
3/4	20000	20000	20000	20000
1	20000	21000	20000	21000
2	20000	21000	20000	21000
3	20000	21000	20000	21000
4	20000	21000	20000	21000
5	20000	21000	20000	21000
6	20000	21000	21000	21000
7	20000	21000	20000	21000
8	20000	21000	20000	21000
9	20000	21000	20000	21000
10	20000	21000	20000	21000

MEGADHS A 1 MIN. A 20°C	160000	168000	160000	168000
INDICE ABSORCION	1.11	1.166	1.132	1.166
INDICE POLARIZACION	1.00	1.00	1.00	1.00

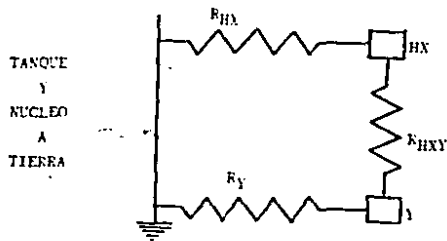


FIG. 11.17.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LAS RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO DE UN AUTOTRANSFORMADOR MONOFASICO CON TERCIARIO.

Factor de corrección por temperatura = 1.6
Voltaje: 2500 Volts.
Multiplicador por escala : 5
Temperatura ambiental : 30°C
Humedad relativa : 45 %

Por lo general, las lecturas de resistencia de aislamiento deberán considerarse como relativas, por sí solas, a menos que el único interés sea el de comprobar que los valores se mantengan arriba de los mínimos recomendados, lo cual sería un desperdicio en el aprovechamiento de la prueba.

Si tomamos en cuenta esta relatividad de las lecturas únicas, resulta sencillo ver que la única forma de evaluar las condiciones de un aislamiento, es mediante el análisis de la tendencia de los valores de prueba obtenidos periódicamente.

En este caso las pruebas resultan una referencia en el comportamiento de los aislamientos antes del secado, por lo cual trataremos de analizar los resultados obtenidos.

Decíamos anteriormente, que la curva de absorción, alcanza un valor estable a los pocos minutos de iniciado el ensayo y que una curva de baja pendiente será indicativo de anomalías de aislamiento.

Al estar probando el autotransformador sin aceite, estamos permitiendo resultados muy altos de resistencia de aislamiento, puesto que las posibles corrientes de fuga no encuentran un camino fácil para cerrar su circuito, pero por otro lado el índice de polarización es muy bajo, esto es, la pendiente de la curva es baja.

Puede verse en la Fig. 11.17A, la gráfica de la prueba realizada, donde se llega un valor constante antes del minuto de que se aplicaron los 2500 V.C.D. casi en todos los ensayos.

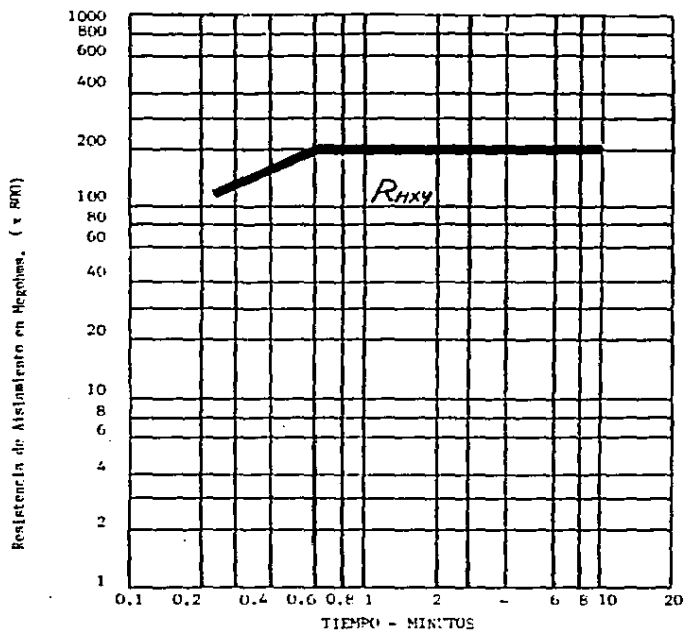


FIG. II.17A. GRÁFICA DE LA CURVA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO - AL AUTOTRANSFORMADOR ANTES DEL SECADO.

Nuestras referencias utilizadas y que generalmente son aceptadas son las que a continuación expresamos, las cuales de ninguna manera pretenden sustituir la experiencia que se tenga con cada uno de los equipos y marcas.

El aislamiento mínima = 30 MEGA-OHMS A KILOVOLT.

Índice de Absorción \rightarrow Mayor que la unidad.

Indice de Polarización \rightarrow Mayor que el indice de absorción.

Esto nos arroja lo siguiente:

R_{HX} mínimo = 3570 MEGAOHMS.

R_{HY} mínimo = 3985 MEGAOHMS.

R_y mínimo = 414 MEGAOHMS.

Estos valores son muchísimo menores a los obtenidos en las pruebas; podemos concluir entonces que a pesar de estos valores de resistencia de aislamiento altos, los índices, sobre todo el de polarización es bajo, dándonos indicativos de humedad contenido en los aislantes sólidos.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A BOQUILLAS:

Como el equipo de prueba, su operación y manejo, etc., son iguales a la prueba de Megger a devanados, haremos referencia únicamente a sus conexiones, aplicación y análisis de resultados. Cabe mencionar solo, que la prueba a boquillas es al minuto y se toma únicamente una lectura.

Los métodos de prueba más comunes son:

- a.- Prueba total.
- b.- Collar caliente simple.
- c.- Collar caliente múltiple.
- d.- Tap capacitivo.

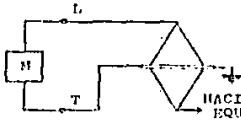
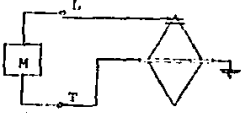
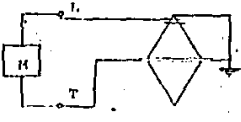
CONEXIONES PARA PRUEBA:

De los ensayos anteriormente enunciados, mostraremos en el cuadro sinóptico siguiente, los métodos más usuales apegados a los tipos y condiciones de nuestros bushings, que nos dan los elementos suficientes para la determinación de las condiciones de su aislamiento.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A BOQUILLAS

PRUEBA	BOQUILLA TIPO	DIAGRAMA DE CONEXIONES	OBSERVACIONES
TOTAL (1)	SOLIDO, LLE- NAS DE COM- POND, ACEI- TE O ASKAROL,		ADECUAR PRUEBA, CONDA FIE- RA. MIDE LA RESISTENCIA DE AIS- LAMIENTO ENTRE EL CONDUCTOR Y LA IRIDA.
CELAR CALIENTE SROVE (2)	SEPARADAS -- DEL EQUIPO.		CULAR EN EL ORDEN FUORI SUYOR, ADECUAR CONEC- TUR Y IRIDA. MIDE LA RESIS. DE AISL. EN TRE LA PARTE EXT. DEL BU- SQUE, EL CONDUCTOR CENTRAL Y TIERRA.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A EQUILIAS.

PRUEBA	BOQUILLA TIPO	DIAGRAMA DE CONEXIONES	OBSERVACIONES
HEGGER PRUEBA TOTAL. (3)	SOLIDO Y LIE NAS DE COM POUND, ACEI TE O ASKA-		LINEA A TERMINAL, TIERRA A — TRIDA SIN CUARDA. MIDE LA RESISTENCIA DE AIS— LAMIENTO DE LA BOQUILLA Y PAR TE DEL DEVARADO CON RESPECTO A TIERRA.
HEGGER COLLAR CALIENTE SIMPLE (4)	REL INSTALA DO EN EQUI PO CON O — SIN TAP CA PACTIVO.		EL RESTO DE LAS EQUILIAS SE CONECTAN A CUARDA CON EXCEP CION DEL DEVARADO O TERMINAL RAO PRUEBA.
			MIDE LA RESISTENCIA DE AISLA MIENTO DEL FLASHING CON RESPE TO AL CONDUCTOR.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A HOJILLAS

PRUEBA	HOJILLA TIPO	DIAGRAMA DE CONEXIONES	OBSERVACIONES
HEGGER A TAP CAPACITIVO	CONDENSADOR, PARA HOJILLAS - INSTALADAS EN EQUIPO.		SE DEBE DESCARGAR EL CONDENSADOR (CONDENSADOR DE TAP) LA TERMINAL, Y TIERRA AL MENOS 1 MINUTO.
			TRAS LAS HOJILLAS SE CARGAN EXCEPTO LAS TERMINALES (4). INVIAR EN FORMA. NIVE: C1 (5)
			LAS MISMAS OBSERVACIONES QUE LA ANTERIOR. NIVE: C2 (6)

-11-

RESULTADOS DE PRUEBA:

PRUEBA No. 1	BUSHING	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN MEGAOMIS A 20°C
3	H ₁	3 675
5	H ₁	250 000
6	H ₁	36 000
3	X ₁	3 750
5	X ₁	250 000
6	X ₁	26 000
3	H0X0	4 000
4	H0X0	250 000
3	Y ₁	6 500
4	Y ₁	250 000
3	Y ₂	10 000
4	Y ₂	250 000

Vale la pena mencionar que las pruebas No. 3, involucran parte del devanado, por otro lado, es válido el límite que habíamos utilizado en la prueba de devanados, de tal manera que los únicos resultados que nos dan una poca de incertidumbre, son los del ensayo arriba mencionado, aunque no es oneroso o drástico pudiendo ser pasado por alto, por los magníficos resultados en los demás ensayos.

Los otros ensayos son muy utilizados en casos de análisis más -- profundos para estudios especiales.

C.- PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD A DEVANADOS:

OBJETIVO DE LA PRUEBA :

Podemos resumir el objetivo de estas pruebas, como un medio para identificar devanados abiertos, identificación de espiras en cortocircuito y es un indicativo de que el aislamiento entre las espiras de los diferentes devanados sea el adecuado, que los datos de placa y la relación de transformación de equipo esté acorde con lo solicitado, que su cambiador de derivaciones opere correctamente y que la referencia de corrientes es la adecuada.

TEORIA GENERAL DE LA PRUEBA :

Como lo habíamos definido, la relación de transformación es la relación de voltajes del devanado primario al devanado secundario, o la relación de corrientes entre el devanado secundario y el primario, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$R.T. = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{Ea. II. 2.5}$$

De donde:

- R.T. = Relación de transformación.
- N_1 = Relación de vueltas del devanado primario.
- N_2 = Relación de vueltas del devanado secundario.
- V_1 = Voltaje del lado primario.
- V_2 = Voltaje del lado secundario.
- I_2 = Corriente del lado secundario.
- I_1 = Corriente del lado primario.

La polaridad por su parte, es el indicativo de la direccionalidad en un instante dado, de la corriente secundaria con rela-

ción a la primaria, que en el caso nuestro deberá ser sustractiva, o sea, que las corrientes en un instante dado son de dirección opuesta una con respecto a otra.

EQUIPO DE PRUEBA:

El equipo de prueba de mayor uso para la determinación de la relación de vueltas y la polaridad de los equipos transformadores, es el denominado T.T.R. (TRANSFORMER TURN RATIO), medidor de relación de transformación. El medidor utilizado para las pruebas del autotransformador es un T.T.R. marca MIDDLE con relaciones de transformación de 1 a 130.

PRINCIPIOS DE OPERACION:

El equipo T.T.R. opera bajo el principio de que 2 transformadores con la misma relación de transformación y polaridad, mientras se exciten en paralelo, con la mínima diferencia en la relación de alguno de ellos, se produce una corriente circulante relativamente grande.

Está compuesto básicamente, por un transformador de referencia con la relación de transformación ajustable de 0 a 130, una fuente de excitación de corriente alterna, un galvanómetro detector de su corriente y un juego de terminales de prueba. (Ver Fig. 11.18).

OPERACION DEL EQUIPO:

Hay tres pasos para la comprobación del correcto funcionamiento del aparato T.T.R., con éste procedimiento se detecta en forma rápida cualquier alteración en las partes más vulnerables como son: Las terminales y sus conectores, el circuito detector, los medidores, el potenciómetro.

COMPROBACION DE BALANCE:

Colocar todos los selectores en cero, conecte H_1 con H_2 . Asegú-

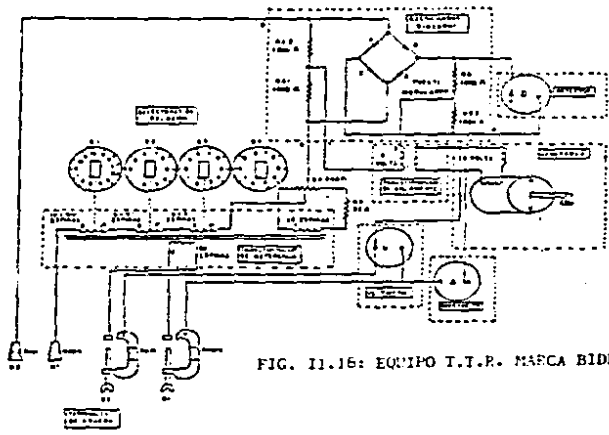
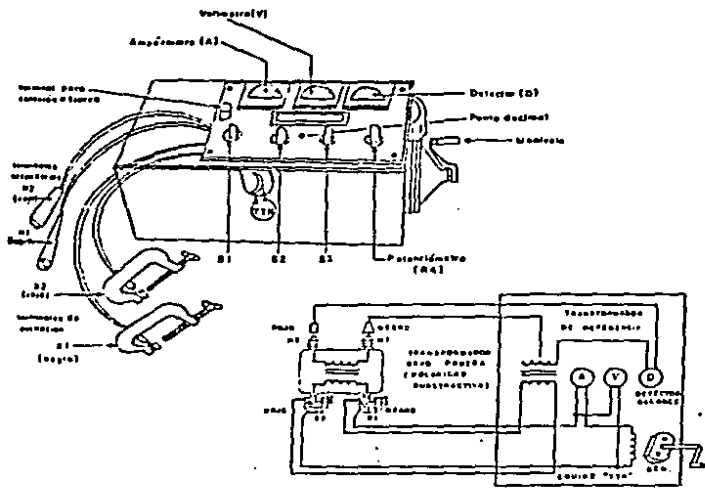


FIG. 11.16: EQUIPO I.T.R. MARCA BIDDLE.

rese que los tornillos de los conectores "C" (X_1 , X_2) no hagan contacto con el tope ni se toquen entre sí. Gire la manivela del generador hasta obtener 6 volts de excitación.

Observe el galvanómetro detector, la aguja deberá permanecer al centro de la escala sobre la marca del cero. Si es necesario, ajusta a cero la aguja con un desarmador, manteniendo la manivela y observe el galvanómetro detector.

La aguja puede quedar ligeramente desviada de la marca cero; si ésta es mayor que $1/16''$, consultar el manual del instrumento en la sección de mantenimiento.

COMPROBACION DE LA RELACION CERO:

En las terminales de excitación (X_1 , X_2), apriete los tornillos hasta el tope, hasta que hagan buen contacto con la cara opuesta; si es necesario coloque una arandela de cobre, mantenga separadas las terminales X_1 y X_2 y deje las terminales H_1 y H_2 conectadas entre sí y los selectores en cero.

Gire la manivela hasta obtener 6 volts; mientras gira observe el galvanómetro, si la aguja no indica cero, ajuste el cuarto selector hasta lograrlo, manteniendo los 6 volts de excitación. El cuarto selector deberá indicar una desviación no mayor de $1/2$ división.

Esta comprobación puede hacerse aún cuando las terminales de excitación se tengan conectadas a un transformador bajo prueba.

COMPROBACION DE RELACION UNITARIA:

Efectúe el mismo proceso para las terminales de excitación del punto anterior. Conecte la terminal secundaria negra H_1 a la terminal negra de excitación X_1 y la terminal secundaria roja H_2 a la terminal roja de excitación X_2 .

Coloque los selectores en la lectura 1.000, gire la manivela hasta obtener 8 volts de excitación y simultáneamente observe el galvanómetro, si la lectura no es cero, ajústela con el cuarto selector sin dejar de girar la manivela.

Si el cuarto selector indica lectura menor de cero, cambie los selectores hasta obtener una lectura de 0.9999; otra vez ajuste el cuarto selector hasta que la aguja marque cero. El equipo deberá leer 1.000 con casi la mitad de una división en el cuarto selector.

PREPARACION DEL EQUIPO BAJO PRUEBA:

- a).- Asegúrese que el transformador que se va a probar se encuentre completamente desenergizado, las terminales del equipo bajo prueba, sin conexiones.
- b).- Colocar el probador sobre una superficie plana y apeyo firme, tal que la manivela pueda ser operada sin interrupciones.
- c).- Conecte las terminales de excitación del T.T.R., al devanado de menor tensión de los dos que van hacer comparados. Conecte las terminales secundarias del T.T.R. a las terminales de mayor voltaje, según el diagrama vectorial del transformador bajo prueba.
- d).- Conectado al transformador el probador, coloque las carátulas del T.T.R. en ceros y gire la manivela un cuarto de vuelta. Si el galvanómetro desvía a la izquierda, la polaridad es substractiva, si desvía a la derecha, la polaridad es aditiva y deberán intercambiarse las terminales H_1 y H_2 , para conectar el probador a un transformador de polaridad substractiva.
- e).- Haga las mediciones y registre las lecturas en el formato correspondiente.
- f).- Al terminar la prueba, ponga fuera de servicio el instrumento y aterrice el equipo-objeto del ensayo.

CONEXIONES PARA LA PRUEBA:

PRUEBA No.	TERMINAL H ₁ NEGRA	TERMINAL H ₂ ROJA	TERMINAL X ₁ NEGRA	TERMINAL X ₂ ROJA	MLE
1	H ₁	Ablo	X ₁	Ablo	R.T. _{HX}
2	H ₂	Ablo	Y ₁	Y ₂	R.T. _{HY}
3	X ₁	Ablo	Y ₁	Y ₂	R.T. _{XY}

$$R.T._{HX} = \frac{V}{\frac{H}{X}} = \text{Relación de transformación entre el primario y el secundario.}$$

$$R.T._{HY} = \frac{V}{\frac{H}{Y}} = \text{Relación de transformación entre el primario y el terciario.}$$

$$R.T._{XY} = \frac{V}{\frac{X}{Y}} = \text{Relación de transformación entre el secundario y el terciario.}$$

Las pruebas 1 y 2 deberán hacerse en todos los tap's del transformador.

REPORTING OF DATA

1-52-1

TAP	FEEDBACK EFFECT		DEVIATION
	MODINA	TONICA	
19L	2,175	2,279	+0.23 %
20	2,176	2,191	+0.18 %
21	2,156	2,199	+0.19 %
22L	2,126	2,149	+0.1 %
23L	2,116	2,129	+0.19 %
24	2,096	2,109	+0.19 %
25	2,076	2,099	+0.13 %
26	2,077	2,068	-0.17 %
27	2,057	2,059	+0.15 %
28	2,037	2,029	-0.13 %
29L	1,997	2,006	+0.15 %
30	1,997	2,008	+0.15 %
31R	1,997	2,008	+0.15 %
32	1,978	1,996	+0.19 %
33R	1,958	1,969	+0.25 %
34	1,938	1,949	+0.25 %
35L	1,918	1,929	+0.19 %
36	1,898	1,911	+0.25 %
37R	1,878	1,891	+0.25 %
38	1,858	1,869	+0.25 %
39	1,838	1,849	+0.25 %
40	1,818	1,830	+0.25 %
41R	1,800	1,809	+0.25 %

TAP	FEEDBACK EFFECT		DEVIATION
	MODINA	TONICA	
42L	10,556	10,588	+0.26 %
43L	10,456	10,488	+0.31 %
44	10,363	10,392	+0.28 %
45	10,267	10,296	+0.28 %
46L	10,171	10,199	+0.27 %
47L	10,076	10,103	+0.26 %
48	9,981	10,007	+0.25 %
49	9,886	9,911	+0.25 %
50	9,791	9,815	+0.25 %
51	9,695	9,718	+0.23 %
52L	9,600	9,622	+0.22 %
53	9,504	9,527	+0.22 %
54R	9,409	9,432	+0.22 %
55R	9,314	9,336	+0.21 %
56	9,219	9,241	+0.22 %
57R	9,124	9,146	+0.22 %
58	9,029	9,051	+0.22 %
59	8,934	8,956	+0.22 %
60	8,839	8,861	+0.22 %
61R	8,744	8,766	+0.22 %
62R	8,649	8,671	+0.22 %

PRUEBA No. 3		
RELACION MEDIDA	RELACION TEORICA	DESVIACION
4.803	4.811	~ 0.1t %

La polaridad fue chequeada de inmediato al iniciar las pruebas, colocando las lecturas en ceros y girando un cuarto de vuelta la manivela, tendiéndose el galvanómetro hacia la izquierda. Esto nos comprueba el dato de placa de que la polaridad es sustractiva.

De los resultados en las diferentes relaciones, diremos que por norma general no se deben aceptar equipos cuya relación de transformación real, tenga una desviación mayor al $\pm 0.5\%$ de la relación teórica.

En nuestros resultados en ningún caso se excedió tal desviación, por lo cual el equipo aprueba este ensayo, sin dificultad alguna. La desviación la calculamos de la siguiente manera:

$$\text{DESVIACION } \% = \frac{\text{R.T. MEDIDA} - \text{R.T. TEORICA}}{\text{R.T. TEORICA}} \times 100 \text{ Ec. 11.2.6}$$

D.- PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION:

OBJETIVO DE LA PRUEBA:

El objetivo de la prueba de corriente de excitación o ensayo en circuito abierto, es la determinación de cortocircuitos en espiras, falsos contactos en las conexiones, daños en el cambiador de taps, laminaciones sueltas, desplazamiento de los devanados, etc., causados por los esfuerzos mecánicos sufridos por el transformador durante los cortocircuitos y por golpes en su transportación, principalmente.

Es entonces, instrumento de vital importancia para el personal encargado de la puesta en servicio, operación y mantenimiento de los transformadores, en la posibilidad de detección anticipada de fallas y defectos de fabricación, transporte u operativos de consideración que de no ser detectados a tiempo, suelen ocasionar situaciones de mayor gravedad.

TEORIA GENERAL DE LA PRUEBA:

La corriente de excitación en un transformador, es la que se presenta en el devanado primario al someterlo a un voltaje de corriente alterna, con el circuito secundario abierto.

Si tenemos (Ver Fig. No. II.19), el circuito equivalente del transformador y tenemos el devanado secundario abierto, aplican do un voltaje de corriente alterna, éste actuará sobre el circuito formado por la impedancia de dispersión del primario $Z_1 = R_1 + X_1$ más la impedancia de excitación $Z_0 = R_0 + X_0$.

Como Z_1 es despreciable en comparación de Z_0 , tendremos como resultado en forma aproximada las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas en el núcleo, sumándose también las pequeñas pérdidas en el cobre debidas a la corriente en vacío.

La magnitud de ésta corriente de excitación depende de los si-

guientes aspectos principales:

- Voltaje aplicado.
- No. de vueltas en el devanado.
- Dimensiones del devanado.
- Reluctancia.
- Otras condiciones geométricas y eléctricas del transformador.

Una corriente de excitación excesiva, puede ser indicio del cortocircuito entre una o varias espiras del devanado, a defectos del circuito magnético, fallas en los aislamientos de las laminaciones, de los tornillos de sujeción del núcleo, etc.

EQUIPO DE PRUEBA:

La forma más común de realizar la prueba de excitación en el campo es utilizando el equipo de medición de factor de potencia mencionado en anteriores páginas, por tal razón, no se hace necesaria la explicación sobre el manejo del equipo.

Se deberá tomar en cuenta que la lectura principal deberá ser la de los MVA, haciendo falta únicamente un cálculo sencillo para obtener la corriente de excitación, aunque el resultado directo de potencia total es por sí sólo una base para posteriores comparaciones.

El método de medición de la corriente de excitación con el uso del equipo de factor de potencia, se ha difundido amplia y rápidamente entre todas las empresas que manejan equipo eléctrico de potencia, así que deberán tomarse en cuenta las precauciones que para su manejo se imponen.

TECNICA DE APLICACION DE LA PRUEBA:

En el caso de un transformador monofásico o autotransformador monofásico y con terciario, bastará conectar directamente el

equipo factor de potencia a las terminales de alta tensión del equipo bajo prueba.

En un transformador trifásico conectado en estrella, la corriente de excitación puede medirse colocando las terminales entre cada una de las fases y tierra y en devanados conectados en delta, el problema es más complicado, que por no ser tema de éste estudio no lo trataremos.

PREPARACION DEL AUTOTRANSFORMADOR:

- A).- Desconecte el autotransformador de sus terminales externas.
- B).- Las pruebas deberán efectuarse en el devanado de más alto voltaje.
- C).- Desconecte el neutro de tierra.
- D).- Checar que el tanque esté correctamente aterrizado.
- E).- Cumpla con las recomendaciones generales de las pruebas.
- F).- Drenar a tierra cualquier carga remanente, que pudiera alterar los resultados de la prueba.

En cada devanado deberán efectuarse mediciones en las dos direcciones, es decir, primero se energiza una terminal y se toman sus lecturas y posteriormente se energiza la otra terminal tomando también sus lecturas correspondientes.

Debido al comportamiento no lineal de la corriente de excitación a bajos voltajes de prueba, es importante que las pruebas se realicen con valores lo más exacto posibles, para poder establecer posteriormente las comparaciones necesarias.

Hacemos mención, como anteriormente lo habíamos sostenido, que el autotransformador monofásico con terciario, puede ser tomado en cuenta como un transformador monofásico para fines prácticos. Así pues, el devanado terciario del autotransformador es simi-

lar al secundario del transformador monofásico. (Ver Fig. No. 11.20).

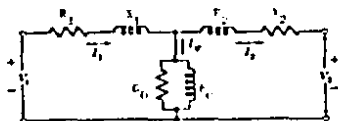


FIG. 11.19: CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.

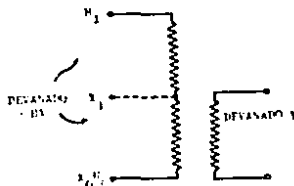


FIG. 11.20: EL AUTOTRANSFORMADOR MONOFÁSICO CON TERCIARIO PUEDE CONSIDERARSE COMO UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO PARA FINES DE PRUEBA.

En nuestro caso basta con probar el devanado mayor $H_0X_0 - H_1$ en todas las posiciones del cambiador de taps.

En la prueba directa se conecta la terminal de línea o alta tensión del aparato a la boquilla H_1 y la terminal de baja tensión en H_0X_0 , usándose el circuito de medición de VST. En la prueba cruzada de comprobación se invierten únicamente las terminales de alta y baja tensión del aparato.

Para los análisis de los resultados de prueba, se debe observar que la corriente de excitación aumenta en forma gradual, sin tener variaciones considerables entre lectura y lectura, conforme va reduciéndose el devanado, o sea paulatinamente con la reducción de la impedancia.

En caso de existir variaciones de consideración entre alguna de las lecturas podría deberse a alguna de las fallas que ya hemos mencionado.

RESULTADOS DE PRUEBA:

PRUEBA No.	TAP	PRUEBA DIRECTA		PRUEBA ESCALADA		DESVIACION %
		MVA	Iexc MA	MVA	Iexc MA	
1	10I	47000	18.8	47125	18.85	0.26
2	9L	48250	19.3	48000	19.2	-0.51
3	8L	49000	19.6	49000	19.6	0.00
4	7L	49675	19.95	50000	20	0.25
5	6L	50750	20.3	50875	20.35	0.24
6	5L	51500	20.6	51500	20.6	0.00
7	4L	52750	21.1	52375	20.95	-0.71
8	3L	53500	21.4	53250	21.3	-0.46
9	2L	54500	21.8	54250	21.7	-0.45
10	1L	55125	22.05	55375	22.15	0.45
11	HL	56500	22.6	56375	22.15	-0.22
12	H	56500	22.6	56375	22.15	-0.22
13	HF	56500	22.6	56375	22.15	-0.22
14	IF	57750	23.1	57250	22.9	-0.86
15	F	59000	23.6	58675	23.55	-0.21
16	F	60125	24.05	59750	23.9	-0.62
17	4F	61250	24.5	60375	24.15	-1.22
18	5F	63000	25.2	62000	24.8	-1.58
19	6F	64500	25.8	63125	25.25	-1.74
20	7F	65000	26	64000	25.6	-1.53
21	8F	66500	26.6	65250	26.1	-1.86
22	9F	68000	27.2	66675	26.75	-1.65
23	10F	69000	27.6	68125	27.25	-1.26

Además de ser una guía el crecimiento casi lineal de la corriente de excitación, la prueba cruzada de comprobación no arroja divergencias superiores al 2.0 % con respecto a la prueba directa lo cual también es un gran indicativo.

Estas son las guías básicas para esta prueba, el crecimiento casi escalonado y el % de desviación entre las mediciones.

No existe una regla básica para establecer que los MA ó MVA de excitación son excesivos o bajos, ya que estas magnitudes difieren grandemente en ocasiones, de un transformador u otro y de marca a marca. Aún cuando hayan sido hechos por el mismo fabricante y con los mismos materiales, suelen ser diferentes las excitaciones.

Es además imposible saber con certeza en que parte de la curva de histéresis medimos y como se comportarán las Corrientes de Foucault en las laminaciones del núcleo.

Simbología:

mVA - Milivoltamperes

mA - Miliamperes

E.- PRUEBAS DE RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD A TRANSFORMADORES DE CORRIENTE TIPO BUSHING.

OBJETIVO DE LAS PRUEBAS:

Al igual que en los devanados principales de los equipos de transformación, estas pruebas son un indicativo del estado que guardan sobre todo los arrollamientos secundarios de los transformadores de corriente.

Son un auxiliar para la identificación de espiras en cortocircuito, devanados abiertos, siendo también un indicativo del estado del aislamiento entre espiras, devanados y tierra y de la conexión correcta de los T.C.'s al pasamuros y de allí al gabinete centralizador.

TEORIA GENERAL DE LAS PRUEBAS:

Los transformadores de corriente son dispositivos eléctricos que nos permiten en forma proporcional realizar mediciones de corriente en tensiones elevadas, con el fin de alimentar los diferentes equipos de protección medición y/o control.

El T.C., (transformador de corriente), cambia un valor de corriente elevado a un valor que nos permite la alimentación de los equipos mencionados y que por norma general es de 5 amperes.

Los hay de 2 tipos: pedestal y bushing. Los primeros son equipos individuales, tienen su propio aislamiento y se montan separadamente de los demás, los segundos van en el interior de otros equipos exactamente en la brida de la Boquilla.

En este caso los T.C.'s que probaremos son los propios del auto-transformador, son los T.C.'s tipo bushing que se utilizan para tomar las señales para las protecciones de él, mediciones o sus señales de control.

Las pruebas principales son: Polaridad y relación de transformación, ensayos que a continuación ampliaremos.

El autotransformador, tema de nuestro trabajo, tiene 6 transformadores de corriente, distribuidos de la siguiente manera:

CANT.	UBICACION	RELACION	CLASE	IDENTIFICACION
1	H ₁	600/5 A.R.M.	C-200	TC-1
2	X ₁	600/5 A.R.M.	C-200	TC-2 Y TC-3
1	X ₀ H ₀	600/5 y 525/5 A.	C-50	TC-4
1	X ₀ H ₀	600/5 A.R.M.	C-200	TC-5
1	Y ₁	5000/5 A.R.M.	C-200	TC-6

El TC-3 es el transformador de corriente para el compensador de caída, mientras que el TC-4 es para el indicador de temperatura del devanado y para el relevador térmico. Cada uno de ellos es mostrado esquemáticamente en la Fig. II.21, son del tipo bushing o "dona", con relación múltiple y cuyo primario consta de una sola vuelta, que es la entrada a cada devanado o a tierra.

El TC-4 es un T.C. de relación múltiple, con doble devanado secundario, el primero posee 120 vueltas y el segundo 105 vueltas, siendo sus relaciones 600/5 y 525/5 amperes, cuyo uso es de alimentación al relevador térmico de sobrecarga y el medidor del punto más caliente respectivamente.

La relación utilizada del devanado secundario del TC-4, que nos alimenta el R.T.S. (T.R.O. en inglés), es de 300/5, usando solo 60 vueltas de su total devanado. Es el único de todos los transformadores de corriente, que su relación es múltiple y después del pasamuro solo llega la conexión X₂ - X₂, que corresponde a la relación mencionada.

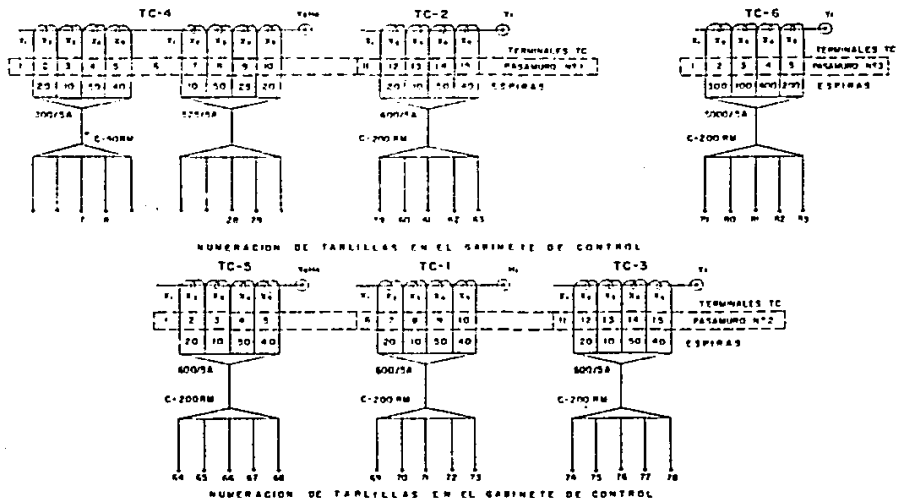


Fig. 11.21 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE TIPO BUSHING DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA MONOFASICO CON TERCIARIO

En cambio la relación de 525/5, aunque pertenece a otro devanado de relación múltiple, solo es utilizable en su conexión $X_1 - X_5$, que corresponde al total de vueltas (105), siendo las necesarias para proporcionar la corriente secundaria debida a la corriente nominal del secundario a plena carga.

PRUEBA DE POLARIDAD A T.C's.:

Nos indica la direccionalidad instantánea de las terminales secundarias con respecto al primario. Esto es, en la Fig. 11.21A. La corriente circula por el devanado o circuito primario de P_1 a P_2 , en caso de ser un transformador con su polaridad normalizada (sustractiva), circulará una corriente en el secundario que va de S_1 a S_2 .

EQUIPO DE PRUEBA:

Este ensayo se realiza con un pulso de C.D., con el cierre del interruptor B, circulará una corriente primaria de P_1 a P_2 , si cumple lo expuesto en el párrafo anterior, se establecerá una corriente secundaria de S_1 a S_2 , causando con ello, que el miliamperímetro deflexione en el sentido correcto.

Si por el contrario, la deflexión del miliamperímetro es incorrecta, podemos tener una de las siguientes anomalías: conexión equivocada en la prueba, error de identificación de terminales o conexión errónea del fabricante. Para esto, basta con cambiar las conexiones y realizar las pruebas necesarias, hasta dar por satisfecho el ensayo.

La manera más sencilla de realizar la prueba es con una fuente de C.D., un miliamperímetro y un switch, alimentando el circuito primario del transformador de corriente con 6 o 12 Volts, generalmente, colocando el miliamperímetro en el devanado secundario del TC.

Se cierra el switch o interruptor B de la Fig 11.21A e instan-

y darle un cuarto de vuelta a la manivela, nos indica la polaridad; sustractiva si el galvanómetro desvía a la izquierda y aditiva al contrario.

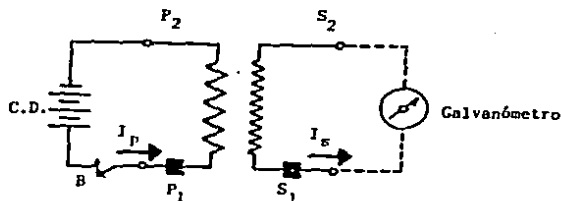
Es necesario que se prueben las polaridades de cada relación, para corroborar que no existan además puntas cambiadas.

CONEXIONES DE PRUEBA:

En realidad la prueba es en todos los T.C.'s igual, solo que para una mayor claridad para las conexiones, presentamos en el cuadro sinóptico de enseguida todos ellos. Para el TC-5 hay que invertir las terminales H_1 y H_2 del cuadro.

PRUEBA	T. C.	TERMINALES DEL EQUIPO T.T.R.			
		H_1 NEGRA	H_2 ROJA	X_1 NEGRA	X_2 ROJA
1	TC-1	TERMINAL	TERMINAL	X_1	X_2
2	TC-5	DEL	DEL	X_2	X_3
3	600/5	BUSHING	BUSHING	X_3	X_4
4	C-200	H_1	X_4	X_4	X_5
1	TC-2	TERMINAL	TERMINAL	X_1	X_2
2	TC-3	DEL	DEL	X_2	X_3
3	600/5	BUSHING	BUSHING	X_3	X_4
4	C-200	X_1	X_4	X_4	X_5
1	TC-4	TERMINAL	TERMINAL		
	600/5	DEL	DEL	X_1	X_3
2	525/5	BUSHING	BUSHING	X_1	X_3
	C-50	X_4	H_1		
1	TC-6	TERMINAL	TERMINAL	X_1	X_2
2	500/5	DEL	DEL	X_2	X_3
3	A.R.M.	BUSHING	BUSHING	X_3	X_4
4	C-200	Y_1	Y_2	X_4	X_5

táneamente se observará la deflexión de la aguja del miliamperímetro.



MARCAS Y CONCEPTOS DE POLARIDAD

Fig. II.21A.-- PRUEBA DE POLARIDADES A TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Existen en el mercado, medidores de polaridad, que tienen una pequeña fuente de C.D. (una batería de 1.5 V.C.D.) y un miliamperímetro, con esto queremos decir, que la teoría y manejo del ensayo es el mismo, sólo que con estos equipos, por la poca capacidad de la fuente, se conectan al secundario y miden por el circuito primario del T.C.

También puede hacerse uso del equipo I.I.R., del cual vimos su manejo en la prueba de polaridad a devanados del autotransformador, tomando en cuenta al transformador de corriente como un transformador cualquiera, en ocasiones con derivaciones múltiples.

Por facilidad de manejo y el ahorro de tiempo y sencillez de conexiones y movimiento de equipo, usaremos la última de las alternativas expuesta, el T.T.R..

Con el hecho de colocar los indicadores del aparato en ceros

El punto donde se encuentra la terminal de cada devanado en el gabinete centralizador del autotransformador, se indica también en la Fig. No. 11.21

Como puede observarse, el TC-4 que es el único con doble devanado secundario de múltiple relación, solo se ha de probar en una de sus relaciones, mientras que en los demás se prueban todas y cada una de las polaridades.

Esto es, porque en el caso del devanado de 600/5 o 120 vueltas, solo está al exterior la conexión que nos da una relación de 300/5 para la alimentación del medidor de porcentaje de carga térmica.

Por otro lado, la relación con 105 vueltas, 525/5, es para la medición de la temperatura del punto más caliente del devanado y también es una relación fija, ya que es la relación indicada para ofrecer una corriente secundaria proporcional a la corriente nominal del devanado de bajo voltaje del autotransformador.

RESULTADOS DE PRUEBA:

Las polaridades de todos los devanados en todos los T.C.'s fueron correctas, a excepción de una polaridad en el TC-2, en la conexión $\lambda_2 - \lambda_3$, lo cual nos indica una mala conexión en el transformador de corriente, lo cual se confirmará en la prueba de relación de transformación.

Este resultado no es definitivo, se requiere del análisis de las 2 pruebas en forma conjunta para dar una aprobación o negativa de las condiciones del equipo.

Como base de este análisis, se tiene como norma general, a menos que se indique en la placa de características, que la polaridad en el primario se encuentra en la terminal del bushing y la del secundario en λ_1 .

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION A T.C.'s.

La prueba o ensayo de relación de transformación a transformadores de corriente es similar a la que se realiza en los devanados principales de un equipo transformador, para verificar que las exigencias del equipo, sus datos de placa, sus conexiones y su estado, sean los necesarios para una correcta operación, tanto de ellas como los equipos que alimentan.

EQUIPOS DE PRUEBA:

Este ensayo puede efectuarse con el mismo equipo que se emplea en la prueba a devanados: el T.T.R. Únicamente que en ocasiones, las relaciones de transformación son tan altas, que no alcanza a cubrir las este equipo.

El otro detalle de relevancia, es que no es posible tomar en cuenta al T.C., si ya está en su posición definitiva en el autotransformador, como un transformador monofásico con derivaciones múltiples en el secundario, porque involucraría el número de vueltas del devanado principal de equipo transformador.

La práctica es considerar al secundario del T.C. como un autotransformador con múltiples salidas y no tomar en cuenta el primario, el cual a menos que sea especificado lo contrario, consta de una sola vuelta.

También es práctico realizar esta prueba con cualquier método convencional de inyección de corrientes, como el indicado en la fig. II.21B, auxiliado de cortocircuitos en los devanados principales del equipo transformador, para tener corrientes un poco mayores, donde el margen de error sea mínimo, con voltajes de uso común (127 y 220 Volts C.A.).

De la figura anterior obtendremos la relación de transformación:

$$R.T. = N = \frac{I_p}{I_s}$$

Ec. II.2.7

Donde:

R.T. = Relación de Transformación.
 N = Número de vueltas secundarias.
 I_p = Corriente primaria.
 I_s = Corriente secundaria.

En este ensayo deben comprobarse todas y cada una de las relaciones que aparecen en la placa, relacionada con los transformadores de corriente, que a continuación mostramos:

RELACION DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

No. RELACION:	CONEXION:	A M P E R E S		NO. VUeltas	NO. VUeltas
		600/5	5000/5	SEC. 600/5	SEC. 5000/5
1	X2-X3	50/5	500/5	10	100
2	X1-X2	100/5	1500/5	20	300
3	X1-X3	150/5	2000/5	30	400
4	X4-X5	200/5	1000/5	40	200
5	X3-X4	250/5	2000/5	50	400
6	X2-X4	300/5	2500/5	60	500
7	X1-X4	400/5	4000/5	80	800
8	X3-X5	450/5	3000/5	90	600
9	X2-X5	500/5	3500/5	100	700
10	X1-X5	600/5	5000/5	120	1000

Utilizaremos, por ser más ilustrativo, la prueba de transformadores de corriente tipo bushing, por el método de inyección, la cual se hará conforme a la FIG. 11.21 B .

Se obtuvieron con 235 Volts de corriente alterna los siguientes valores de corrientes primarias:

$$I_{H1} = 8.5 \text{ Amperes primarios}$$

$$I_{X1} = 15.5 \text{ Amperes primarios}$$

$$I_{Y1} = 5.0 \text{ Amperes primarios}$$

Para obtener los valores de corriente teóricas para cada relación, procedemos de la siguiente manera:

- Por ejemplo el T.C. No. 1 que es el colocado en el Bushing de alta tensión H1. Este transformador de corriente tiene las siguientes relaciones:

$$\text{De } X1 \text{ a } X2 \quad 20/1A \text{ ó } 100/5A$$

$$\text{De } X1 \text{ a } X3 \quad 30/1A \text{ ó } 150/5A$$

$$\text{De } X1 \text{ a } X5 \quad 120/1A \text{ ó } 600/5A$$

y así sucesivamente, entonces si tenemos 8.5 Amperes primarios, para $X1 - X2$, tenemos:

- Si 20A primarios es a 1 Amp. secundario, 8.5A primarios son:

$$\frac{20A}{8.5A} = \frac{1A}{X} \quad X = \frac{8.5A \times 1A}{20A} = 0.425A \text{ Secundarios}$$

- Esto quiere decir, que teóricamente debemos tener entre las terminales $X1 - X2$, 0.425 Amperes secundarios, que deben concordar con los medidos.
- Entre $X1$ y $X3$ deberá teóricamente aparecer una corriente secundaria igual a:

$$\frac{30A}{8.5A} = \frac{1A}{X} \quad X = \frac{8.5A \times 1A}{30A} = 0.283A$$

y así sucesivamente, todos los demás cálculos son similares.

Para obtener los valores reales se deben primeramente localizar las terminales secundarias, con ayuda del diagrama esquemático de transformadores de corriente del autotransformador de potencia monofásico con terciario bajo estudio, Fig. 11-21; alimentamos el devanado del autotransformador de acuerdo con la tabla de la Fig.

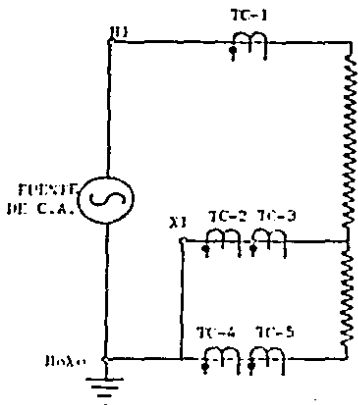
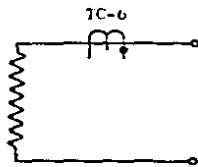


FIG.11.21 B: EJEMPLO DE CONEXIONES EN EL TRANSFORMADOR PARA LA PRUEBA DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE. (CONEXION PARA PRUEBA DE TC'S Nos. 1, 2 y 3).



CIRCUITOS DE PRUEBA		
TC's	DEV. A ALIMENTAR	DEVANADO A C.C.
TC - 1	H1 - HeXe	X1 - XeHe
TC - 2	H1 - HeXe	X1 - XeHe
TC - 3	H1 - HeXe	X1 - XeHe
TC - 4	Y1 - Y2	H1 - XeHe
TC - 5	Y1 - Y2	H1 - XeHe
TC - 6	H1 - HeXe	Y1 - Y2

11.21B y el diagrama de la misma figura, sin olvidar que por ninguna circunstancia debemos dejar las terminales del T.C. en circuito abierto cuando se alimenta el circuito primario, restándonos tan solo medir la corriente secundaria con un amperímetro de precisión.

RESULTADOS DE PRUEBA:

Los valores obtenidos se muestran a continuación:

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE HI (TC -1)

No. RELACION	CONEXION	A M P E R E S		%
		TEORICO	REAL	
1	X2 - X3	0.850	0.840	- 1.2
2	X1 - X2	0.425	0.409	- 3.7
3	X1 - X3	0.283	0.275	- 2.8
4	X4 - X5	0.212	0.210	- 0.9
5	X3 - X4	0.170	0.165	- 2.9
6	X2 - X4	0.141	0.139	- 1.4
7	X1 - X4	0.106	0.103	- 2.8
8	X3 - X5	0.094	0.090	- 4.2
9	X2 - X5	0.085	0.082	- 3.5
10	X1 - X5	0.070	0.069	- 1.4

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE HoXo (TC-4) (DOBLE DEV. SEC.)

No. RELACION	CONEXION	A M P E R E S		DEVANADO	RELACION	%
		TEORICO	REAL			
6	X2 - X4	0.115	0.110	600/5	300/5	- 4.35
10	X1 - X5	0.0657	0.063	525/5	525/5	- 4.11

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE X1 (TC-2 Y TC-3)

No.	CONEXION	AMPLIEFS			TC-2 %	TC-3 %
		TEORICO	REAL TC-2	REAL TC-3	DESVIACION	DESV.
1	X2 - X3	1.54	1.529	1.518	- 0.71	- 1.43
2	X1 - X2	0.77	0.507	0.752	- 34.16*	- 2.34
3	X1 - X3	0.51	0.750	0.504	+ 47.06*	- 1.18
4	X4 - X5	0.385	0.381	0.381	- 1.30	- 1.04
5	X3 - X4	0.306	0.24	0.304	- 17.53*	- 1.30
6	X2 - X4	0.250	0.306	0.250	+ 19.14*	- 2.34
7	X1 - X4	0.190	0.186	0.186	- 2.11	- 2.11
8	X3 - X5	0.171	0.150	0.166	- 12.29*	- 1.75
9	X2 - X5	0.154	0.167	0.149	+ 8.44*	- 3.25
10	X1 - X5	0.128	0.125	0.125	- 2.34	- 2.34

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE No.0 (TC-5)

No.	CONEXION	%		
		TEORICO	REAL	DESVIACION
1	X2 - X3	0.690	0.670	- 2.90
2	X1 - X2	0.345	0.333	- 3.48
3	X1 - X3	0.230	0.225	- 2.17
4	X4 - X5	0.172	0.167	- 2.91
5	X3 - X4	0.138	0.133	- 3.62
6	X2 - X4	0.115	0.112	- 2.61
7	X1 - X4	0.086	0.082	- 4.65
8	X3 - X4	0.077	0.076	- 1.30
9	X2 - X4	0.069	0.067	- 2.90
10	X1 - X4	0.057	0.055	- 3.51

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE Y1 (TC-6)

No. RELACION	CONEXION	A M P E R E S		% DESVIACION
		TEORICO	REAL	
1	X2 - X3	0.050	0.050	0
2	X1 - X2	0.016	0.016	0
3	X1 - X3	0.0125	0.013	+ 0.4
4	X4 - X5	0.025	0.025	0
5	X3 - X4	0.0125	0.013	+ 0.4
6	X2 - X4	0.010	0.010	0
7	X1 - X4	0.0062	0.006	- 3.23
8	X3 - X5	0.005	0.005	0
9	X2 - X5	0.0071	0.0071	0
10	X1 - X5	0.005	0.005	0

Para el análisis de estos resultados se tiene un 5% de desviación, ya que en las mediciones de corrientes sumamente bajas, requerimos de equipos muy precisos, no pudiendo ser evitados errores en las lecturas o caídas en los cables de prueba.

Se deberá tener mucho cuidado en estas mediciones, para no incurrir en errores comunes y obtener la mayor confiabilidad en estos ensayos, deberán probarse las terminales y seguir las recomendaciones expresadas en la técnica general de las pruebas.

Como es de observarse, el único problema que tenemos es el TC-2, cuyos lecturas marcadas con (*) el asterisco, salen de la norma que establecimos; todos los demás TC's, tienen lecturas correctas.

Nos abocaremos a resolver el detalle encontrado en el TC-2. Resulta obvio que las lecturas anormales se tienen en las conexiones que involucran las terminales 2 y 3.

Si recordamos, en la prueba de polaridad, resultó invertida la polaridad entre las conexiones X2 y X3, así que el problema ha

sido descubierto en una forma sencilla y basta con cambiar estas terminales para resolverlo.

Posteriormente se hizo unas pruebas sencillas, confirmando que las terminales X2 y X3, llegan correctamente al pasamuro y la inversión de cables se encuentra en el gabinete centralizador.

Terminado esto, se hicieron las pruebas de polaridad y relación de transformación arrojando los resultados que esperábamos con % de desviación menores al establecido como norma.

NOTA: Para la determinación final se cotejan en su conjunto las pruebas, no encontrando impedimento en ninguna de ellas, pasamos a la siguiente etapa.

Es este el momento más preciso para realizar la pintura del Transformador ya revisado y pasado sus pruebas preliminares, normalmente se realiza en forma paralela el secado y los accesorios se pintan antes de su montaje, pero a modo de distraer la atención en la etapa de secado, lo colocamos en este pequeño espacio a manera de nota.

Se usará pintura a base de Subóxido de plomo debido a sus características térmicas, resistencia a la intemperie y facilidad de adhesión. De acuerdo a normas de la Región de Transmisión Norte, se usará pintura Subox # 6 (verde oscuro) en accesorios metálicos, Subox # 19 en la cuba principal del transformador y Subox # 717 (Hoje Seguridad) en las partes metálicas exteriores vivas.

Deberán removerse las partículas sueltas, incrustaciones, polvo, etc antes de aplicar la pintura. Las pinturas Subox llegan en recipiente bien sellados, los cuales no deben abrirse hasta su uso, en caso de permanecer mucho tiempo almacenadas antes de su uso deben pasarse a través de una tela de alambre a otro recipiente.

Se aplicará una capa de aproximadamente 1.5 milésimas de pulgada, en casos de condiciones ambientales muy difíciles, aplicar dos capas de 1.5 mm. cada una. Con este espesor se logra cubrir aproximadamente 15 metros cuadrados de superficie por litro.

No debe usarse más de un 20% de diluyente por cada 10 litros de pintura seca en 8 ó 24 horas.

3.- HUMEDAD RESIDUAL EN AISLAMIENTOS SÓLIDOS DEL AUTOTRANSFORMADOR.

El cometido principal de los aislamientos sólidos en transformadores, o como lo es en nuestro caso autotransformadores, es la de establecer una barrera dieléctrica, que debe ser capaz de soportar la diferencia de potencial establecida en las diferentes partes del equipo.

De esta manera, también se delimita al flujo de corriente eléctrica a un camino predeterminado, para evitar de este modo trayectorias indeseables. De esta forma, vemos la imperiosa necesidad de mantener los aislamientos de los equipos transformadores en condiciones óptimas.

Estos aislamientos sólidos de los transformadores de potencia se componen principalmente por papel, cartón y madera. En forma general los aislamientos son papel kraft y/o crepé y cartón - Pressboard, que tienen como componente principal la celulosa, que químicamente se considera una cadena de glucosa.

Los aislamientos mencionados en el párrafo anterior componen aproximadamente el 95 % de los dieléctricos sólidos en transformadores. El papel kraft, crepé y sus variantes son sometidos, dependiendo del fabricante, a diferentes tratamientos para reforzar determinadas características como son: La resistencia dieléctrica, la resistencia al desgarramiento, el envejecimiento, la temperatura de trabajo, grosor, etc.

El papel kraft proviene de los pinos silvestres de las regiones nórdicas, siendo de excelente resistencia al desgarramiento, a la tracción, posee una permeabilidad al aire buena que facilita la evacuación del aire que queda apesadonado en las capas de los arrollamientos. Es un material sumamente higroscópico, conteniendo en humedad hasta el 10 % de su peso.

Por otra parte, por su forma el papel crepé ofrece enormes fa-

cilidades para el encintado de formas irregulares, teniendo a su vez excelentes características mecánicas y una relativamente buena permeabilidad al aire.

En la actualidad los fabricantes de transformadores hacen uso de un papel con excelentes propiedades dieléctricas para los encintados de las capas interiores y papel de magníficas características mecánicas en las capas exteriores, aunque la higroscopicidad de ambos es similar a los normalmente utilizados.

La higroscopía la podemos definir, como la propiedad que poseen algunos materiales para absorber o exhalar humedad. El papel aislante debido a su higroscopía, tiene una mucho menor afinidad por el aceite que por el agua, por lo que generalmente absorberá agua en una proporción mayor que de aceite.

El papel seco absorbe más rápidamente la humedad que el papel impregnado en aceite, por su mayor higroscopicidad. El agua en los aislamientos afecta directamente las siguientes propiedades físicas: Rigidez dieléctrica, rigidez mecánica, factor de potencia y vida útil.

En la Fig. No. 11.22, se muestra el efecto de la humedad en la rigidez dieléctrica del papel impregnado en aceite y en la Fig. No. 11.23, el efecto de ésta, en relación con el factor de potencia.

Con los nuevos voltajes de transmisión cada vez más altos, a tomado una vital importancia para la instalación y operación de los equipos transformadores, el secado casi perfecto, para esto, es importante resaltar que en el proceso de secado de estos equipos, es un factor determinante el agua residual permisible en los aislamientos.

Otro degradante de los aislamientos sólidos o líquidos es el calor; esta degradación es producida por cambios químicos (p-

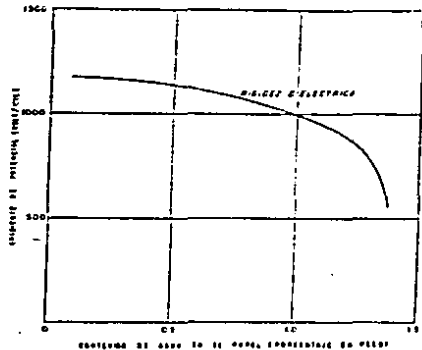


FIG. II.22 : VARIACION DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL PAPEL IMPREGNADO DE ACEITIL. CON SU CONTENIDO DE AGUA.

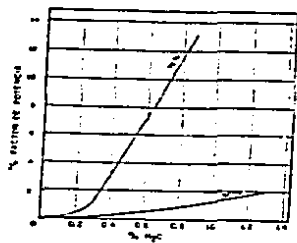


FIG. II.23 : VARIACION DEL FACTOR DE POTENCIA DEL PAPEL KRAFT CON SU CONTENIDO DE AGUA.

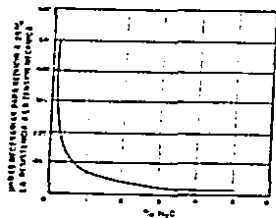


FIG. II.24 : EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL PAPEL SOMETIDO A ENVEJECIMIENTO A UNA TEMP. DE 150° C.

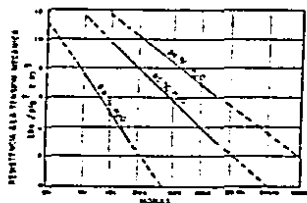


FIG. II.25 : ENVEJECIMIENTO DEL PAPEL IMPREGNADO EN ACEITE. A UNA TEMP. DE 130° C.

rólisis) que afectan la estabilidad de sus propiedades electromecánicas. Esta degradación depende principalmente de: la habilidad del papel para resistir la degradación térmica, la retención de los productos originados por su propia degradación, por la presencia de contaminantes orgánicos que disminuyen estas propiedades, por la naturaleza del medio y muy importantemente, por la presencia de humedad.

Los efectos de la degradación o envejecimiento sobre las propiedades mecánicas del papel según sea su contenido de humedad, quedan de muestra en las figuras números II.24 y II.25.

Para conocer el estado de los aislamientos, es natural que efectuemos pruebas eléctricas, como las mediciones de factor de potencia y resistencia de aislamiento, que de acuerdo a sus resultados y a los análisis por el personal calificado, podemos concluir si están o no, en condiciones de operación.

Estas pruebas, de ser bien realizadas y analizadas, nos dan una cierta seguridad en la actuación de los aislamientos ante los esfuerzos eléctricos a que han de ser sometidos, lo cual no es así cuando se refiere a la degradación térmica de los mismos, ya que ésta depende de la humedad continua en ellos.

Por todo ello, existe la necesidad imperiosa de disminuir al mínimo posible el contenido de agua de los aislamientos, así como el desarrollo de métodos eficientes que nos permitan determinar con exactitud la humedad residual, tanto en aislamientos sólidos como en el aceite.

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD RESIDUAL.

Definiremos a la humedad residual, como la cantidad de agua que se encuentra en los aislamientos sólidos, expresada como porcentaje del peso total de éstos. Para determinar esta cantidad de agua remanente, se utiliza principalmente dos métodos

- A).- Por medio de la presión de vapor producida por la humedad residual con vacío en el propio tanque del autotransformador.
- B).- Por medio de la medición del punto de rocío de un gas en contacto con los aislamientos.

METODO DEL ABATIMIENTO DE VACIO.

Este procedimiento se basa en la medición de la presión absoluta que prevalece dentro del equipo transformador y que es originada por el movimiento molecular del vapor de agua desprendido por los aislamientos, al verse reducido su punto de ebullición con el proceso de vacío: con la medición de esta presión y con ayuda de la temperatura de los devanados, se puede determinar el porciento de humedad residual que quedó contenida en los aislamientos.

Es necesario entonces, conectar el equipo de vacío y un vacuómetro, de la forma que explicaremos más adelante, después de obtener un valor estable durante cuatro horas o más, tomando la última lectura de vacío como base, procedemos a cerrar la válvula que tendremos entre el tanque del autotransformador y el equipo de vacío.

Inmediatamente procederemos a tomar lecturas de vacío cada cinco minutos, por un lapso máximo de una hora. De tener tres lecturas consecutivas con el mismo valor de vacío, esta será nuestra presión de vapor producto de la humedad residual. El otro dato básico, como lo mencionamos anteriormente, es la temperatura a que están los devanados del transformador.

Si se da el caso de que las lecturas de vacío no se estabilicen y se salgan del rango del vacuómetro, tendremos un signo inequívoco de que el transformador o está húmedo o tiene fugas. La determinación de la temperatura de devanados, deberá hacerse preferentemente por el método de la determinación de la resis-

tencia óhmica, aunque es válido utilizar los termómetros propios del autotransformador, cuando no se cuenta con un óhmetro para bajas resistencias, aunque se incurra en un pequeño error.

Ya conocidos los valores de temperatura y presión de vapor, fácilmente podemos determinar la humedad residual de los aislamientos sólidos del transformador, con la utilización de la gráfica de equilibrio de humedad. (Ver Fig. II.20), e carta de Piper.

METODO DEL PUNTO DE ROCIO DEL GAS.

Por definición, el punto de rocío de cualquier gas, es la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en él comienza a condensarse sobre la superficie que están en contacto con el gas. Con este valor básico podemos determinar sobre un volumen conocido la cantidad de agua contenida en él y su humedad relativa.

La cantidad de agua contenida en el papel impregnado, es determinada como una función de la humedad relativa del gas, que puede ser nitrógeno o aire seco, con el cual tuvo contacto, - hasta llegar a alcanzar las condiciones de equilibrio entre sus mutuas humedades.

Para efectuar este procedimiento, bastará con interrumpir el proceso de secado, con la ruptura del vacío y la inyección de aire seco o nitrógeno de alta pureza, teniendo la certeza de que cualquiera de ellos posee un punto de rocío de 45°C o incluso menos. Se presuriza el transformador con una presión de una a cinco Lb/ppg², dejándolo un tiempo razonable, de tal manera que se alcance el estado de equilibrio en humedad.

La experiencia nos indica, que manteniendo el equipo transformador presurizado con el gas, preferentemente nitrógeno, por un lapso de 24 horas, habremos alcanzado el punto de equilibrio. Después de esto procedemos a la medición del punto de rocío.

La determinación de la temperatura de los devanados, lo haremos de la misma forma en el procedimiento anterior.

Para determinar el punto de rocío, podemos utilizar cualquier higrómetro comercial, siendo los más usados el de hielo seco, el panametrics 2000 y el higrómetro Alnor.

En forma breve explicaremos el procedimiento para la determinación del punto de rocío, con el uso higrómetro de hielo seco. El higrómetro Alnor aunque es un diferente en su manejo, podemos decir, que sabiendo operar el higrómetro de hielo seco, nos resulta fácil su comprensión, mientras que el higrómetro Panametrics 2000 no es adecuado para su uso en el campo, debido a que las celdas sensoras pierden calibración con la manipulación y no existen medios para calibrarlas en el país.

Por tal motivo, consideramos a fin de no hacer más extenso este trabajo, explicar en forma condensada el manejo del higrómetro de hielo seco.

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE ROCIO CON EL HIGROMETRO DE HIELO SECO.

Con el transformador bajo presión de nitrógeno, cerramos la válvula de entrada al tanque, para desconectar la manguera de alimentación del nitrógeno y conectar la manguera del higrómetro. Debemos tener la precaución de mantener las válvulas de paso a la entrada y salida del instrumento cerrado.

Debemos determinar la temperatura de los devanados, siguiendo las instrucciones que para este punto se dieron. Procedemos a desarmar el higrómetro y limpiar a conciencia la superficie exterior cromada del recipiente. Tomamos nota de la presión del tanque del transformador, procediendo a abrir las válvulas de paso del tanque transformador y del higrómetro.

Con esto, se establece un flujo de gas del tanque del equipo

transformador, al higrómetro y al exterior. (Ver Fig. 11.27). Se colocará un termómetro con escala de -50 a 100°C, en el vaso del higrómetro, vertiendo acetona pura hasta la mitad del recipiente y agregando poco a poco trozos pequeños de hielo seco, de manera de no derramar la acetona al hervir.

El bulbo del termómetro deberá quedar sumergido totalmente en la acetona. Al iniciar el ensayo, el vaso del higrómetro se notará completamente brillante, lo cual es comprobable mirando a través del cristal transparente. (Ver Fig. No. 11.26).

Se agregará continuamente hielo seco, verificando detenidamente la temperatura de la acetona, hasta que llegue el momento en el que el vaso se pondrá opaco. En ese preciso momento, se toma la temperatura del termómetro, siendo esta la temperatura del punto de rocío del gas, a la presión y temperatura del tanque transformador.

Con el valor del punto de rocío y la presión del gas medidos dentro del transformador, con el uso de la Fig. No. 11.24 determinamos la presión de vapor. Con esta última y la temperatura de los devanados, podemos determinar la humedad residual, con la ayuda de la gráfica de la Fig. No. 11.26.

RECOMENDACIONES Y PRECAUCIONES PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE ROCÍO:

La instalación de la sonda de alimentación del higrómetro, deberá conectarse sobre el tanque principal del equipo transformador, de manera que la muestra sea representativa. Nunca deberá localizarse la sonda sobre otras válvulas, tuberías, espacios reducidos o recovecos, que nos pudieran dar lecturas poco veraces.

Como recomendación, se deberán efectuar mediciones del punto de rocío periódicas, durante las 24 horas que se mantiene bajo presión de gas al transformador, para estar seguro de que efec-

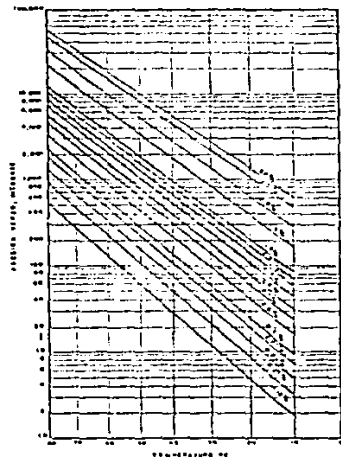


FIG.11.26: TABLA DE EQUILIBRIO DE HUMEDAD.

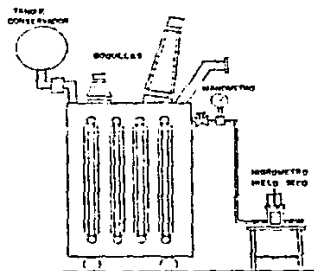


FIG.11.27: COLOCACION DEL EQUIPO PARA LA DETERMINACION DEL PUNTO DE ROCIO CON EL HIGROMETRO DE HIELO SECO.

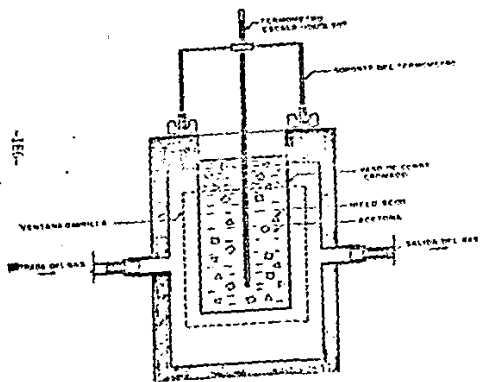


FIG. 11.28: HIGROMETRO DE HILO SECO.

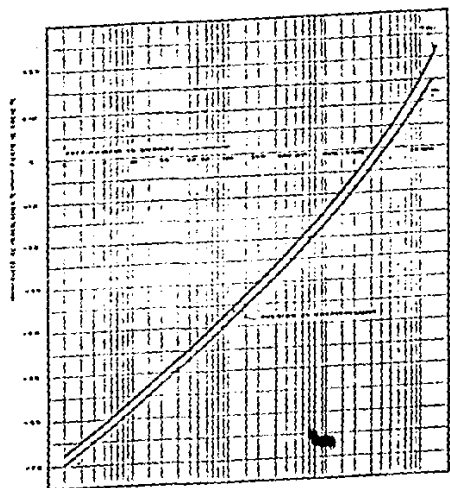


FIG. 11.29: TABLA DE CONVERSION DE PUNTO DE ROCEO A PRESION DE VAPORES.

tivamente se estabilizaron las humedades en en interior del tan que.

VALORES ACEPTABLES DE HUMEDAD RESIDUAL EN AISLMIENTOS SOLIDOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA:

C L A S E	HUMEDAD RESIDUAL EN %	
	MINIMO	MAXIMO
69 a 86 KV	0.40	0.50
115 a 151 KV	0.30	0.40
230 a 400 KV	0.20	0.30

Deberán respetarse estos valores, surgidos de la experiencia de los grandes fabricantes de equipos de transformación, ya que valores por encima de los máximos, pondrían en riesgo la seguridad de los equipos y la continuidad del servicio y valores por debajo de los mínimos, además de difíciles de obtener, no se recomiendan por que se tendrían efectos nocivos en el conjunto de aislamientos sólidos y como consecuencia la posible pérdida de vida de éstos.

4.- METODOS DE SECADO:

OBJETIVO:

El objetivo del secado en los transformadores, es el de eliminar del núcleo, embobinado y aislamientos, la cantidad de agua y gases que se hayan alojado en ellos, permitiendo que sean puestas en operación dentro de los límites de confiabilidad.

Por medio del secado eliminaremos las trazas de agua en el equipo, que tantas fallas ha provocado en éstos últimos años.

Para eliminar el agua presente en los aislamientos pueden seguirse varios procedimientos, los cuales transforman la humedad en vapor para su posterior expulsión. Antes de exponer los principales procesos de secado, daremos una breve revisión a los métodos para el secado de transformadores en fábrica.

El núcleo y los devanados ya ensamblados, en un primer método, son secado por medio de un horno y un desecador. Se hace circular el aire en un ciclo cerrado y es continuamente desecado. En este proceso en las partes ensambladas se alcanzan temperaturas hasta de 95°C, pero no más.

En el transcurso del secado los aislamientos sufren varios encojimientos y cuando alcanzan su tamaño final, el ensamble núcleo-devanado se coloca en su respectivo tanque, mismo que permanece caliente para un inmediato vacío y llenado de aceite aislante. El vacío es generalmente de unos cuantos milímetros de mercurio, aunque de ser necesario puede llegar a ser mayor.

Otro procedimiento de fábrica consiste en llevar el proceso completo de secado, vacío y llenado en un autoclave calentado ó definitivamente en un tanque de vacío. Debido a la carencia y costo de este procedimiento, sólo las grandes fábricas de transformadores lo utilizan, siendo dicha utilidad lograda sólo en equipos de baja y mediana capacidad y tensión.

Conforme el aumento de capacidad y voltajes en los equipos de transformación, en los últimos tiempos se ha optado por secarlos en su propio tanque y llevados a límites de agua residual de 0.2 a 0.4 % del peso de sus aislamientos en seco.

Los factores principales que determinan el tiempo requerido para el secado de un aislamiento son: su volumen y geometría, el grado de secado en fábrica, el tiempo de exposición a la humedad relativa ambiente y a la cantidad de aire, gases y agua que penetran al transformador durante el transporte.

Aunque un transformador llegue al sitio indicado en estado seco y no obstante se le dé los mejores cuidados en el embarque, traslado, almacenaje y manejo, no podrá evitarse alguna reabsorción de humedad, ésto es resultado en parte, de la exposición limitada a la atmósfera para inspecciones y reparaciones, a la existencia de fugas, etc.

La humedad reabsorbida en pequeñas cantidades, podrá ser eliminada sin mayores problemas en el proceso de secado, si se cuenta con el equipo y la experiencia adecuados en el campo. Por el contrario, si el aislamiento fué sobre-expuesto y la cantidad de humedad residual es considerable, se tendrá la necesidad de efectuar secados más completos, requiriendo para ésto mayor cantidad de equipo y mayor complejidad en el procedimiento.

En general no es posible obtener en el campo temperaturas tan altas como en las fábricas, por lo que se deberá tener facilidades para alcanzar vacíos de consideración. Vemos en la Carta Piper, que para alcanzar un secado de un 0.2 % de humedad residual a 30°C, nos vemos obligados a obtener un vacío de 80 micrones (0.050 mm. de Hg) aproximadamente.

MÉTODOS DE SECADO PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIA:

A continuación mencionaremos algunos de los más usuales procedi

mientos para el secado de transformadores. Se analizarán en forma condensada, recalcando sus ventajas y sus desventajas más importantes. Estos procedimientos son:

- a.- Calor por corriente de cortocircuito.
- b.- Calor por aceite caliente.
- c.- Calor por vapor de vacío.
- d.- Calor por aire caliente.
- e.- Calor con alto vacío auxiliando con calentamiento simultáneo a base de aceite caliente atomizado.

a.- CALOR POR CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

Este proceso puede realizarse con columna de aceite o sin ella, ofreciendo en ambos casos grandes desventajas, entre las que están, el gran peligro de sufrir sobrecalentamiento excesivos en los aislamientos, por la aparición de puntos calientes sobre los que no se tiene control alguno.

Es un procedimiento demasiado lento que se aplica cortocircuitando el devanado secundario, aplicando el primario un voltaje alterno entre el 5 y 10 % del voltaje nominal.

En ocasiones para evitar corrientes muy elevadas y por lo tanto una incontrolable elevación de temperatura, se puede colocar un reóstato en serie con el devanado primario.

Deben extremarse precauciones debido a que las secciones interiores de los arrollamientos pueden alcanzar temperaturas muy altas antes de que las secciones exteriores se hayan calentado lo suficiente.

En el caso de que se realice con columna de aceite, por las diferencias de presiones entre las partes superior e inferior el secado no será uniforme y el aceite por efectos de las sobretemperaturas se degrada o deteriora. La humedad es desalojada al exterior por medio de una pequeña bomba

de vacío o por un extractor. Fig. No. 11.30

b.- CALOR CON ACEITE CALIENTE.

Proceso mediante el cual se precalienta el aceite, haciéndolo circular en el transformador por medio de una bomba, extrayendo el vapor de agua por medio de una pequeña bomba de vacío.

Es un procedimiento lento, en el cual el aceite sufre una gran degradación o deterioro de sus propiedades físico-químicas y aunque se eliminan los riesgos de puntos calientes, el secado no es uniforme por las razones expuestas en el punto anterior. Fig. No. 11.31.

c.- CALOR POR VAPORES DE VACÍO.

Es un sistema de secado práctico llevado a cabo con alto vacío, que goza de gran aceptación por realizarse en un tiempo razonablemente corto de no existir fugas en el tanque o accesorios.

El secado se efectúa en sistema cerrado, por lo tanto, en nada interfiere la humedad relativa exterior; requiere de muy poco equipo y se llegan a obtener porcentajes de humedad residual buenos y uniformes.

En este procedimiento, los transformadores son sujetos a alto vacío a temperatura ambiental, logrando con esto la eficiente evaporación de la humedad, si se lleva a cabo durante períodos continuos de tiempo.

Para la obtención de alto vacío, se hace necesario la utilización de eficientes bombas de vacío del tipo rotatorio, de un sólo paso y sello de aceite, con capacidades de alcanzar vacíos del orden de 30 a 50 micrones (0.030 a 0.050 mm.

de Hg) Fig. No. 11.32.

En caso de requerirse un vacío más profundo, podrá complementarse la acción de estas bombas con un soplador o booster en serie, con lo que tendremos la posibilidad de lograr hasta un micrón de vacío.

Estos valores son obtenidos a brida ciega y los del interior del transformador dependen de la cantidad y tamaño de las fugas que se tengan. De aquí la gran importancia de una eficiente detección y corrección de éstas.

El proceso de calor por vapor de vacío es el más común de todos, por requerir poco equipo, por las facilidades en la adquisición del mismo, su bajo costo, fácil aplicación y su eficiencia probada en transformadores de alta y extra-alta tensión en C.F.E.

d.- CALOR POR AIRE CALIENTE.

Método comúnmente utilizado en transformadores de mediana capacidad y voltaje, donde los altos vacíos ponen en riesgo la funcionalidad de los equipos.

Se realiza por medio de calor por aire soplado a altas temperaturas, no alcanzando temperaturas ni puntos de ebullición por el efecto superficial que hace que la evaporación suceda a temperaturas más bajas. Existen principalmente dos variantes de este procedimiento:

- Método con aire caliente en ciclo abierto.
- Método con aire caliente en ciclo cerrado.

En ambos métodos se hará pasar a través de los ductos de refrigeración del transformador aire limpio a temperaturas cercanas a los 100°C.

Se cubrirá el tanque principal con materiales que funcionen como aislantes térmicos y mantener así una muy aceptable temperatura para la evaporación de la humedad del ensamble núcleo-bobinas-tanque.

Se coloque una manguera en la parte inferior del tanque para la entrada del aire, colocando en el interior del transformador, de ser posible, mamparas deflectoras de asbestos para dirigir y uniformizar el flujo de aire. El calentador deberá lograr una temperatura y flujo específico acordes con la siguiente tabla:

AREA DE LA BASE DEL TANQUE	FLUJO DE AIRE NECESARIO
3.0 M ²	1,000 Fies ³ /Min.
6.0 M ²	2,000 Fies ³ /Min.
10.0 M ²	3,000 Fies ³ /Min.
12.0 M ²	4,000 Fies ³ /Min.
15.0 M ²	5,000 Fies ³ /Min.

Deberá instalarse una trampa entre el calentador de aire y el tanque principal del transformador, cuya finalidad es la de prevenir incendios por el paso de particular inflamables entre ellos. Fig. No. II. 33.

La salida del vapor caliente será por la tapa principal (Registro hombre), en la parte superior del tanque. El trayecto de este vapor es el que marca la diferencia entre los dos variantes de la aplicación de aire caliente para el secado de transformadores. En el ciclo abierto, éste sale a partir de la tapa principal a la atmósfera, mientras en el ciclo cerrado, se instalará en la parte superior del tanque, en la salida del vapor, una manguera que conectará esta salida con la succión del soplador, después de pasar por un equipo secador de sílica gel.

En ambas formas de secado debemos extremar cuidados en el

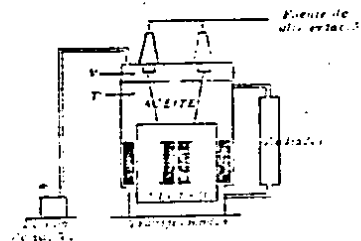


FIG. 11.30: SECADO MEDIANTE CALOR POR CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

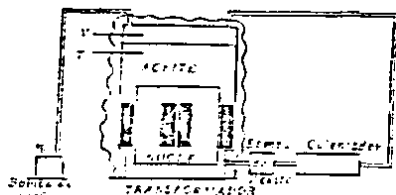


FIG. 11.31: SECADO CON ACEITE CALIENTE.

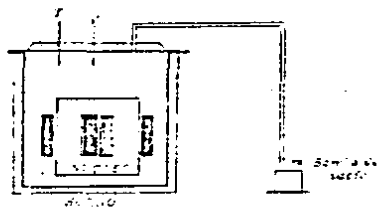


FIG. 11.32: SECADO POR CALOR DE VAPOR Y VACIO.

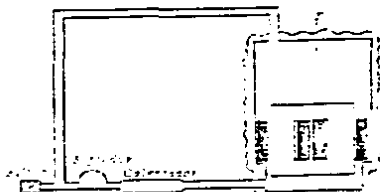


FIG. 11.33: SECADO CON AIRE CALIENTE.

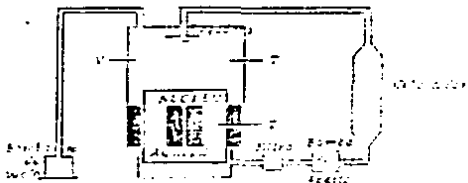


FIG. 11.34: SECADO CON ALTO VACIO Y ACEITE CALIENTE AUTOMATIZADO.

control del procedimiento, instalando perfectamente un termómetro de escala 0 a 150°C a la salida del calentador y otro igual a la salida del tanque.

Un control excelente en el procedimiento tendrá una temperatura de entrada y salida iguales. El calentador deberá contar con un termostato eficiente y confiable para el control de arranque y paro.

El secado con aire caliente, requiere de un proceso complementario de vacío al detener la circulación de aire caliente y sellar el transformador, necesita además, para una eficiencia aceptable de una gran cantidad de equipo, de un rigurosísimo control de temperatura y de un tiempo considerable.

e.- SECADO CON ALTO VACIO AUXILIANDO CON CALENTAMIENTO SIMULTANEO POR MEDIO DE ATOMIZACION DE ACEITE CALIENTE.

Este método tiene como objetivo acelerar la ebullición, expansión y extracción de agua en forma de vapor, teniendo como resultado el realizar secados de transformadores en tiempos relativamente cortos.

El alto vacío se aplica exactamente igual que en el método de calor por vapor vacío, (inciso C. de este tema), proporcionándose el calor con aceite precalentado.

El aceite toma una temperatura elevada al pasar a través de un grupo de resistencias, siendo circulado por medio de una regadera ó rociador dentro del tanque transformador, bañando así el núcleo y los devanados. Fig. No. II.34.

En éste procedimiento se instalan dentro del tanque transformador, un sistema de regaderas o rociadores, que estarán conectados por una tubería a la bomba de aceite y ésta a un calentador eléctrico.

Se conectará una bomba de vacío en la parte superior del transformador con una tubería de 2 a 4 pulgadas de diámetro, colocando entre la bomba y el tanque principal del transformador una trampa de hielo seco, a fin de atrapar en ella el agua extraída.

Se operará la bomba introduciéndose al transformador el aceite precalentado en circulación, a una temperatura máxima estabilizada de 90°C por las regaderas procurando que el aceite no rebase del 10 al 20 % del volumen de aceite total.

El aceite será usado únicamente para el secado y no deberá utilizarse en operación como aceite aislante. Es un sistema de secado bastante efectivo, rápido y uniforme, cuya única desventaja es la de requerir una gran cantidad de equipo.

SELECCION DEL METODO DE SECADO:

Como lo indicamos en su oportunidad, el método más práctico y usual, es el de secado por calor de vapor de alto vacío. Además de requerir un mínimo de equipo, la técnica y manejo del proceso es relativamente sencilla.

Debido a que no es tan factible, obtener temperaturas muy altas en el campo, es deseable entonces, disponer de equipos de alto vacío.

Vacío significa por definición, un espacio cuyo contenido de aire y gases es teóricamente cero, denominándose éste estado "Vacío absoluto".

En la práctica, éste término es aplicable a cualquier espacio cuyo contenido de aire y gases provocan una presión menor que la atmosférica, medida a nivel del mar.

El rango de variación de la presión de estos gases abajo de la

atmosférica de referencia, es lo que determina los diferentes "Grados de vacío".

APLICACION DEL METODO DE SECADO POR CALOR DE ALTO VACIO:

En este método emplearemos una bomba de alto vacío, que deberá ser capaz de abatir la presión del tanque transformador a un valor absoluto de 50 micrones unidades de medida de la Presión Absoluta. (ver Medición de vacío, Pág. 211) o quizás menos, sin necesidad de aplicar calor adicional.

Se extraerá el agua hasta que la presión en el tanque sea menor a la presión de vapor del agua contenida en los materiales aislantes.

En la Carta de Piper, tabla de equilibrio de presión vapor, se muestran presiones de vapor a diversas temperaturas ambiente. Fig. N° II.26. Se llegará al punto de ebullición del agua a presiones atmosféricas según la Fig. N° II.35.

La bomba de vacío deberá cumplir con las características necesarias, para poder eliminar la humedad y los gases contenidos en el aislamiento del transformador durante el secado. Deberá tenerse especial cuidado con la aparición de fugas, para su localización y erradicación pronta.

La extracción de humedad soluble contenida en los materiales aislantes, hace necesario establecer una diferencia en la presión de vapor teórica del gas, a la temperatura del aislamiento y la presión del tanque, debido a que el calor necesario para la evaporación, (1,000 BTU por libra), lo proporciona el contenido de calor residual del aislamiento, reduciendo éste su temperatura ligeramente, conforme el secado avanza.

El agua extraída, puede ser condensada é interceptada por una trompa de hielo, ó bien, bombearse directamente a la atmósfera por el escape de la bomba de vacío. Resulta más efectivo el uso

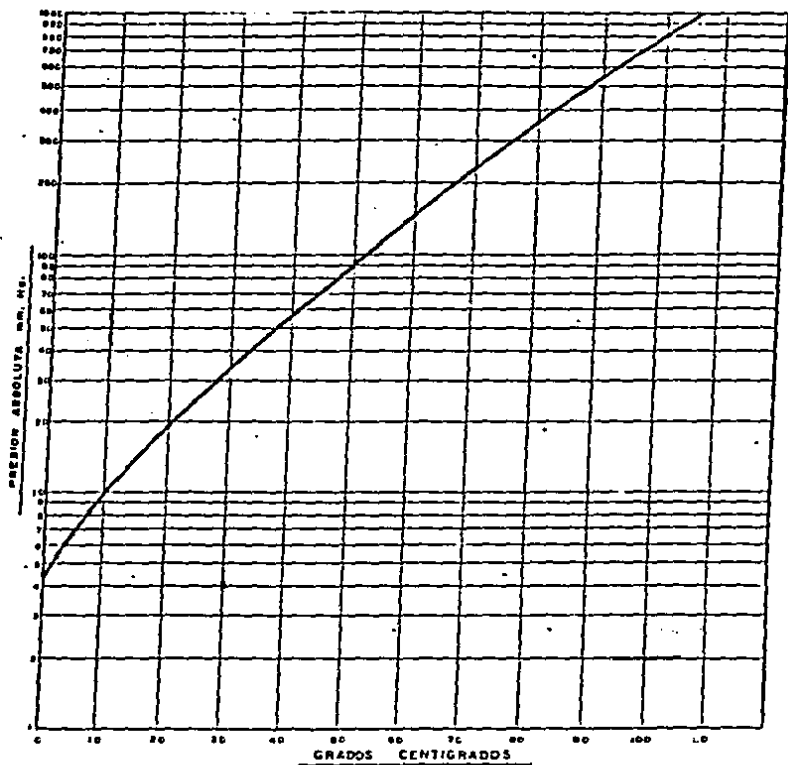


FIG. 11.35 : PUNTO DE EBULLICION DEL AGUA EN FUNCION DE LA PRESION ABSOLUTA.

de la trampa de hielo, por el efecto del vapor de agua en las bombas.

A una temperatura de 27°C, el agua llegará a su punto de ebullición y comenzará a desprenderse, si el transformador está sometido a una presión absoluta de 30 micrones. (Carta de Piper). FIG. II.35 .

El vapor de agua que entra en la bomba está mezclando y bariendo con el aire alrededor de la carcasa en el punto de descarga. En este punto, la mezcla de vapores es comprimida causando que el vapor de agua se condense y se mezcle con el aceite de la bomba.

Como el aceite es recirculado dentro de la bomba, exponiendo la mezcla con el agua a alto vacío, ésta se evaporará de nuevo, exponiéndose y ocupando de manera inmediata y eventual la cavidad de la bomba, evitando así la entrada de más agua ó gases, interrumpiendo el proceso de vacío, razón por la que deberá ser reemplazado el aceite.

Para aumentar la eliminación del agua junto con el aire o vapor de agua, así como para secar el aceite lubricante, las bombas de vacío emplean una toma adicional de aire a través de la bomba, a la que se le conoce con el nombre de Purga de Vapor.

Cuando una bomba de vacío tiene esta purga totalmente abierta, pierde algo de su velocidad de bombeo y la presión mínima final aumenta, este efecto es de menor trascendencia en las bombas de vacío con refuerzos mecánicos.

Para obtener un mayor rendimiento en nuestra bomba de vacío, el aceite lubricante deberá mantenerse seco, preferentemente mediante un deshidratador continuo de aceite, o definitivamente cambiar el aceite lubricante en forma periódica, procedimiento que resulta más costoso.

SELECCION DE LA BOMBA.

La Carta de Piper nos permite apreciar mejor las condiciones de vacío que deberán ser satisfechas a diferentes temperaturas ambiente, además del nivel de presión y de la temperatura, el tiempo es un factor muy importante, mientras mayor sea el tiempo de secado, más seco podrá quedar el transformador.

Sin embargo, por factores técnicos y económicos, el tiempo para el secado deberá ser lo más corto posible, dependiendo para ello de la capacidad y tipo de bomba.

Las bombas de vacío de paletas desplazables, garantizan alcanzar un vacío tan grande como de 0.53 mm. de presión absoluta (29.9 pg. de vacío), la curva de respuesta de éstas bombas, - piés cúbicos por minuto de succión VS. presión absoluta, Fig. No. II. 36, decrece rápidamente a cero desde un nivel de vacío de 50 mm. de Hg. (26 pg. de vacío), por lo cual, deberán evitar se este tipo de bomba.

Las bombas de un alto vacío, como las Kinney, Stokes, Beuch--Russ, Welch y otras, mantienen una gran proporción de desplazamiento que desciende lentamente a partir de los 50 mm. Hg (26 Pg. de presión absoluta), pero llega a alcanzar alrededor de los 5 micrones, como presión final del bloqueo. Fig. No. II. 37. (curva de la velocidad de bombeo).

La bomba de vacío a utilizarse, deberá ser adecuada en cuanto a desplazamiento y vacío final se refiere. Las hay desde 2 piés ³/min., entre las más comerciales para estos fines y son capaces de alcanzar vacíos hasta de 10 micrones a brida ciega.

Dentro de las más comunes son las bombas Kinney de 46 piés ³/min., de 2 lóbulos giratorios, 2 etapas enfriadas por aire y las bombas Stokes de 80 piés ³/min., de una sola etapa, enfriadas por agua. Fig. No. II. 35 y II. 39.

Para evacuar más rápidamente el aire de un transformador, extra

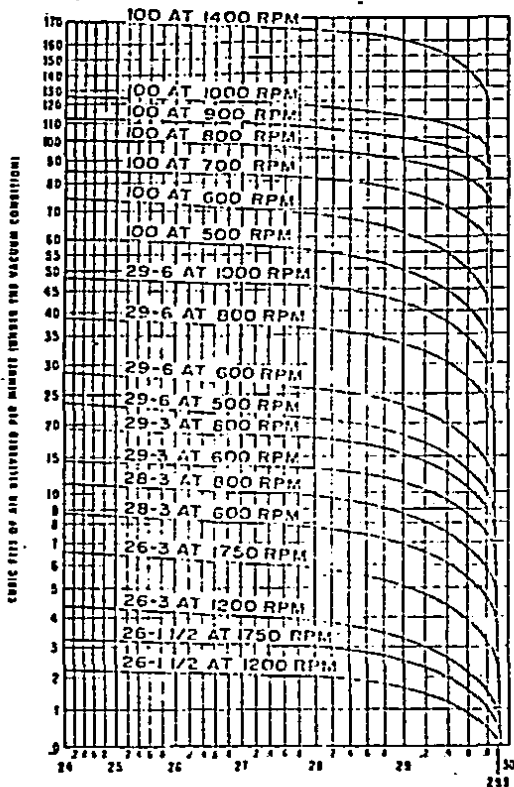


FIG. 11.36 :CURVAS DE RESPUESTA DE LAS BOMBAS DE PALETAS DESPLAZABLES.

PIES CUBICOS DE AIRE SUMINISTRADO POR MINUTO (EN CONDI
CION DE VACIO.)
VACIO EN PULGADAS DE MERCURIO (Hg) (REFERIDOS A UNA PRE
SION ATMOSFERICA DE 30").

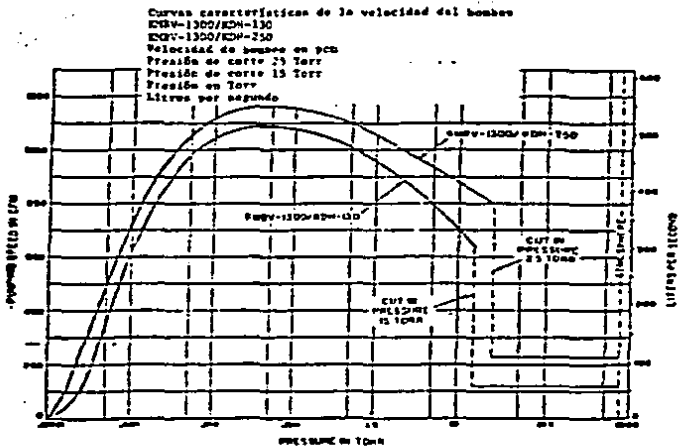


FIG.11.36.

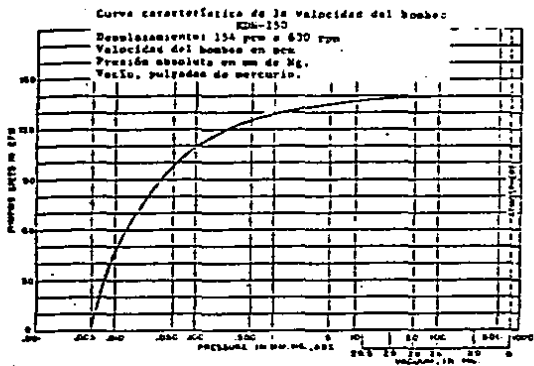


FIG.11.37.

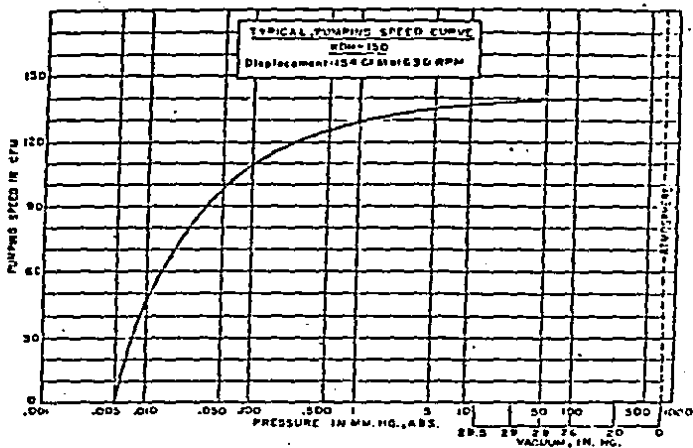


FIGURA 2 - Curva característica de la velocidad del bombeo
 KDH-150

Desplazamiento: 154 cc a 630 rpm
 Velocidad del bombeo en cc
 Presión absoluta en mm de Hg.
 Vacío, pulgadas de mercurio.

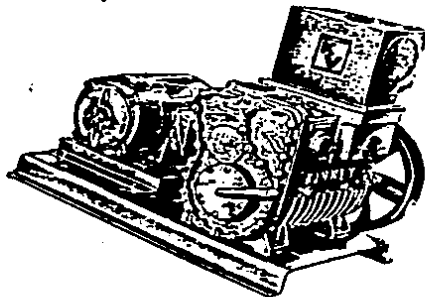


FIG. II.36 : BOMBA KINNEY Y DE 46' PIES ³/MIN.

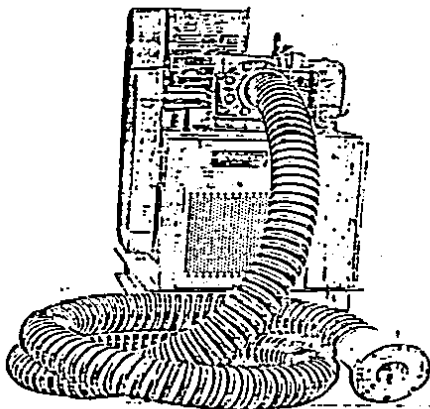


FIG. II.39 : BOMBA PENNWALT STOKES DE 60 PIES V/MIN.

er un mayor vacío, incluso con algunas pequeñas fugas, se puede hacer uso de bombas de vacío con desplazamientos grandes.

La desventaja de ofrecen en nuestro caso estas máquinas, es que en autotransformadores o transformadores con materiales aislantes a base de papel, (KRAFT o CREPE) la succión excesiva desgasta las paredes de éstos elementos.

La bomba de vacío más pequeña puede calcularse partiendo de la proporción de llenado de aceite. Los rangos recomendados de circulación para el llenado de aceite, oscilan entre 600 y 2,400 galones por hora, aunque la mayoría de los fabricantes recomiendan flujos no mayores de 1,500 galones por hora.

Usando una proporción conservadora de 600 galones por hora de llenado, el aire que se encuentra en el aceite en solución al 12% por volumen, deberá ser evacuado a razón de algo más de 72 galones por hora.

Si esta eliminación de aire se logra a 3 mm de Hg. de presión absoluta, el volumen se expandirá 253.33 veces, a 18,240 galones por hora, o sea, 40.62 piés ³/min.

En este caso, una bomba Kinney de 46 piés ³/min. sería útil. Mientras para una proporción de llenado de 1,150 galones por hora, sería ideal una bomba Stokes de 80 piés ³/min.

Definitivamente, por disponibilidad de equipo, facilidad de manejo y mantenimiento, en el secado del autotransformador de potencia haremos uso de una bomba Kinney de 46 piés ³/min y una velocidad de circulación de 600 galones por hora.

Es necesario probar a brida ciega el equipo de vacío a fin de conocer el vacío máximo que puede alcanzar y así saber si a la temperatura a la que se encuentran los devanados es capaz de obtener el vacío correspondiente, para la humedad máxima permisi-

tida (0.3%), esta prueba se realiza a la temperatura ambiente entre 10 y 40°C. el equipo debe ser capaz de alcanzar hasta 5 y 75 micrones.

TUBERIA DE ALTO VACIO.

La tubería o manguera de alto vacío pueden ser de material metálico flexible, manguera de hule flexible para alta presión o tubería de metal con conector flexible, de ser posible.

La longitud, diámetro y geometría de la tubería afectan directamente a la velocidad de circulación del vapor y gases, al diferencial de presión disponible y determinan así, el nivel de presión existente en el transformador durante la evacuación.

Por lo tanto, los diámetros y longitudes de la tubería deberán estar acordes con la capacidad de la bomba de vacío. Para esto, el fabricante recomienda en nuestro caso, manguera flexible o tubular sólida de 2 a 3 pulgadas de diámetro y cuando mucho 30 pies de largo.

Con esta tubería las pérdidas por conductancia de tuberías son ínfimas en comparación con la capacidad de bombeo. Se recomienda también no hacer uso de más de 4 codos de 90° ya que estos inciden también en un aumento de las pérdidas por conductancia y por lo tanto una disminución en la capacidad neta de bombeo, no podrá existir dobles excesivos.

Por estas razones, y por la facilidad en la obtención del equipo auxiliar y la tubería, utilizaremos manguera tubular flexible de 20 pies de largo, 3 pulgadas de diámetro y tres codos de 90° de radio largo.

REFORZADOR MECANICO (BOOSTER).

Soplador en seco utilizando para reducir el efecto del vapor de agua sobre las bombas de vacío.

Cuando la humedad se desprende de los aislamientos a presiones absolutas bajas las bombas pierden capacidad para mantener la presión necesaria de secado y extraer a la vez cantidades grandes de vapor.

El Booster es un soplador seco, con una presión de 20 mm de Hg o menos en la descarga y no es afectado por los vapores condensables. Estos vapores pasan a través del Booster y son expulsados por la bomba de un sólo paso.

La alta succión de la bomba, permite que puedan manejarse cantidades de agua mayores, aumentando por consecuencia la capacidad del sistema.

Para nuestros fines, no será necesario el uso del reforzador mecánico por no requerirse un secado muy extenso o extraer cantidades muy grandes de agua, además de que se hará uso por disponibilidad de una trampa fría para este fin.

TRAMPAS FRIAS PARA CONDENSACION DE HUMEDAD.

Estas trampas consisten básicamente de dos recipientes, uno colocado dentro del otro: en el recipiente interno se coloca el refrigerante, haciendo pasar el vapor de agua por la línea de vacío entre el transformador y la bomba, en el espacio comprendido entre los dos recipientes. Fig. No. 11.40.

El vapor circulando al chocar con la pared extremadamente fría del recipiente interno (a temperaturas inferiores de -40°C), se condensa pudiendo ser así extraída por un orificio en la parte inferior de la trampa.

El condensado es extraído calentando la trampa con resistencia o soplete, debiéndose llevar un control estricto del agua obtenida.

Cuando el refrigerante no sea utilizado, se tiene la necesidad

de cambiar el aceite de la bomba cada cuatro o seis horas de trabajo, midiendo la cantidad aumentada de fluido en la bomba.

Con el uso del refrigerante, los cambios de aceite podrán hacer se cada cuarenta y ocho horas de secado, por secado, por que en esta forma casi la totalidad de los gases son congelados en la trampa.

Así solamente una pequeñísima parte de agua pasa a la bomba de vacío y al aceite de la bomba; caso contrario, la humedad que se le saca al transformador, casi toda descarga en el aceite de la bomba, saliendo una pequeña cantidad por la descarga de la misma.

Al descongelar la trampa siempre queda algo de humedad en ella, debiéndose tener especial cuidado en extraer esta humedad al arrancar de nuevo la bomba de vacío; aún cuando se llene de nuevo la trampa con el refrigerante, este no congelará la humedad restante inmediatamente. Se sugiere arrancar la bomba de vacío con una válvula cerrada entre el transformador y la trampa durante quince minutos aproximadamente. Después de esto, se abrirá esta válvula lentamente hasta normalizar nuevamente el vacío en el sistema. Por lo tanto, es más conveniente hacer ciclos de secado largos, para aprovechar tiempo de secado más largos con períodos de interrupción cortos.

En resumidas cuentas las trampas frías nos permiten disminuir el efecto del vapor de agua en las bombas, incrementando la eficiencia de las mismas, a fin de alcanzar presiones absolutas bajas. Proporcionan además, un método para determinar las condiciones de secado, llevando una estadística de la cantidad de vapor condensado extraído. Existen dos tipos de trampas de condensación.

- La trampa refrigerante que utiliza un sistema igual a los refrigeradores domésticos.
- La trampa de hielo seco y acetona.

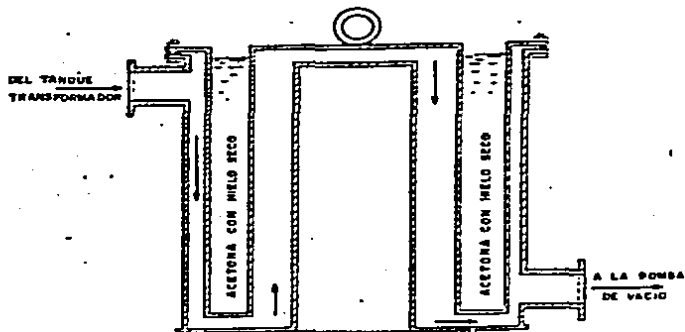


FIG. II.40 : TRAMPA DE HIELO SECO

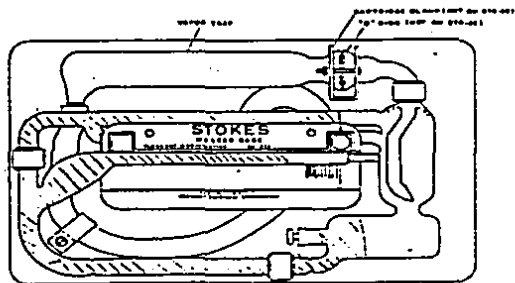


FIG. II.41 : VACUÓMETRO MC LEOD.

Para el sistema de secado que vamos a utilizar, emplearemos la trampa de hielo seco y acetona, por ser más práctica, requiere un mantenimiento casi nulo, es más resistente y de empleo mucho más sencillo.

MEDICION DE VACIO.

Los métodos más comunes para la medición del vacío, se basan en la presión absoluta provocada por los gases, medida en fracciones de atmósfera, mm de Hg, micrones, etc., aunque pudieran asociarse otras; algunas equivalencias son:

- 1 Atmósfera = 14.7 Lbs/pulg².
- 1 Atmósfera = 1.033 Kg/cm².
- 1 atmósfera = 29.92 pulg. de Hg.
- 1 atmósfera = 760 mm de Hg.
- 1 mm de Hg = 1 Torr.
- 1 torr = 1000 micrones (Hg)

MEDIDORES DE VACIO.

Existen varios tipos de medidores, encontrándose entre los más conocidos;

- a).- Tipo McLeod: Consiste de un tubo capilar de vidrio conteniendo mercurio; la forma de este tubo depende de los rangos a medir y del fabricante. Va conectado al tanque bajo vacío, midiendo la presión absoluta en forma directa, por medio del peso del mercurio desplazado. Son medidores de muy alta precisión con rangos de hasta 1 micrón. Fig. No. 11.41.
- b).- Medidor Bourdon: Consiste de un tubo conectado al tanque bajo vacío, ligados entre sí mecánicamente a su aguja, la cual indicará la presión absoluta sobre una carátula graduada. Es empleado en vacíos muy ligeros debido a su poca precisión a presiones bajas.

c).- Medidor de Termopar: Este medidor se alimenta con corriente alterna utilizando para ésto un par termoeléctrico encerrado en un tubo de vidrio o metal y que se inserta en el tanque bajo vacío. Cualquier cambio en la presión lleva como consecuencia un cambio en la temperatura de este termopar, mismo que produce a su vez un pequeño voltaje que es convertido por medio de una carátula graduada a medición de presión. Los hay con rangos de un micrón a 20 torres y son usadas generalmente a presiones absolutas bajas.

Dispondremos para nuestro secado, de un medidor de vacío tipo McLeod, con el cual se deberán tomar las precauciones debidas a fin de evitar la oxidación del mercurio y la entrada de éste al tanque del transformador.

Esto lo logramos instalando una válvula entre el medidor de vacío y el tanque del transformador, poniendo en servicio el medidor solo cuando se vaya a efectuar la lectura.

MEDICION DE TEMPERATURAS:

La medición de la temperatura del interior del transformador en el proceso de secado es de gran importancia, ya que es el parámetro más útil para el control del proceso y con ésto, la determinación exacta del porcentaje de humedad residual o grado de secado.

Esta medición es muy difícil de realizarse prácticamente en el campo con la exactitud que se requiere, por lo que en la actualidad el método más común, es tomar la temperatura de los aislamientos, en base a las temperaturas indicadas en los termómetros, instalados sobre el tanque del transformador.

Esta medición aunque no muy precisa suele ser representativa

de la temperatura real y sus ventajas son: La no utilización de herramientas más sofisticadas, lo fácil de tomar lecturas directamente, la facilidad de que no se requiere de personas muy calificadas para tomarlas.

Otras formas de medir la temperatura son:

- Instalar previo al secado, mínimo de 3 termopares haciendo contacto directo con el papel y/o cartones aislantes de las bobinas, localizados en forma estratégica de acuerdo al tipo de bobina y aislamiento. Se requiere de bridas especiales para un sello hermético.
- Por medición de resistencia óhmica, utilizando preferentemente un puente doble de Kelvin; haciendo la conversión de variaciones de resistencia a temperatura, considerando como base mediciones a temperatura ambiente.

Como pueden observar, son procedimientos que requieren de equipo adicional, el cual necesita de personal preparado para ello, del otro modo, estamos utilizando el equipo accesorio del propio transformador.

MEDICION DEL % DE HUMEDAD:

En el proceso de secado de un equipo transformador, es de vital importancia el calcular o medir el % de humedad residual, que se aloja en los aislamientos, para estimar de esta manera el grado de secado obtenido y poder detener el proceso cuando tengamos las condiciones requeridas; esto es, un 0.2 a 0.3 % de humedad por peso de los aislamientos en seco.

Se requiere de un procedimiento preciso para no dejar más humedad de la recomendable, ni secar más de lo debido al transformador, cualquiera de las dos condiciones es no deseada.

Habíamos comentado que los 2 procedimientos precisos importantes son el de prueba de abatimiento y punto de Rocío. Hemos elegido el primero por la disponibilidad del Vacuómetro Pennwalt Stokes, modelo 276AA, escalas de 5000 a 5 micrón, instrumento más comercial que los higrómetros u otros instrumentos para la medición de punto de rocío con la presión necesaria

En este método se toma directamente la presión de vapor en el transformador de la siguiente manera: Se toma la lectura de vacío y la temperatura interior en un momento dado, inmediatamente paramos la bomba de vacío, cerrando primero las válvulas, se toman lecturas de vacío y temperatura cada 5 minutos, durante 30 minutos ó 1 hora, como lo habíamos mencionado anteriormente.

Estos resultados se ponen a una gráfica, la lectura de vacío que emplearemos será la que prevalezca durante 3 lecturas consecutivas a la temperatura promedio. Se deberá estudiar la tendencia de la curva, porque si tiende a seguir creciendo en forma marcada, no tendremos un punto estable, del cual pudiéramos precisar como lectura de vacío.

Posteriormente pasamos a la gráfica de la Fig. No. II.26, donde determinamos el grado de secado.

En caso de ser utilizado el método del Punto de Rocío del gas, puede utilizarse la gráfica II.29, para convertir el valor de punto de rocío a la presión del transformador en °C a presión de vapor en micrones.

RECOMENDACIONES PARA LA SUPERVISION Y CONTROL DEL PROCESO.

Para la instalación del sistema de vacío se deberán tomar determinadas recomendaciones, con objeto de lograr mayor eficiencia en el proceso de secado:

- a).- Colocación de manguera o tubería de succión por la parte superior del tanque transformador, perfectamente por el tubo de alivio o algún registro-hombre.

- b).- El medidor del vacío se conecta a la parte superior del tanque del transformador y no a la tubería de succión, deberá contar con una válvula con objeto de aislar el medidor después de cada lectura.
- c).- La succión deberá contar con dos válvulas, una para el aislamiento del transformador y la otra conectada directamente a la atmósfera, ésta se usa para que la bomba de vacío arranque sin carga, (ver instructivo del fabricante).
- d).- Cuando de use tubería rígida deberá colocarse un conector flexible entre la bomba y el transformador.
- e).- En las conexiones de la succión nunca se usará teflón, pues ocasiona obstrucciones en los conductos de lubricación de la bomba; se deberá usar loctite No. 70 , permatea o algún otro sellador adecuado, preferentemente se usarán bridas con empaques de neopreno o silicona.
- f).- La tubería de succión, manguera, válvulas y bridas deberán estar completamente limpias y libres de rebabas de metal, pues ocasiona daños en el pistón de la bomba y obstruccionan el sistema de circulación de aceite.

Para la determinación del avance en el grado de secado del transformador cuando se utilice la trampa de hielo, será necesario medir el agua recolectada en períodos que puedan variar entre 12 y 24 horas y llevar una gráfica para detectar el punto de colección mínima y casi constante.

En paralelo con la determinación anterior se harán mediciones de abatimiento de vacío, de la misma manera se irán graficando para detectar la presión mínima absoluta, y casi constante alcanzada dentro del transformador.

PROCESO DE SECADO AL AUTOTRANSFORMADOR EN ESTUDIO:

EQUIPO UTILIZADO

Como resumen, mencionaremos el equipo del que disponemos para secar el autotransformador:

BOMBA: Marca Kinney de 46 piés., ³/min., de 2 lóbulos giratorios, 2 etapas con enfriamiento de aire.

TUBERIA DE ALTO VACIO: 20 piés de manguera tabular flexible con 3 codos de 90° y 4 válvulas de globo.

TRAMPA FRIA: Trampa de hielo seco y acetona.

MEDIDOR DE VACIO: Tipo McLeod, modelo 276-AA con escala de 5000 a 5 micrones, Pennwalt Stokes.

MEDICION DE TEMPERATURA: Directa de los indicadores del autotransformador.

En la Fig. II.42, se ilustra la manera en que operará nuestro sistema de secado por calor de vapor de alto vacío.

El proceso de secado se inició el 5 de Julio de 1985, estando abiertas las válvulas de mariposa de los radiadores. Como recomendación especial, el secado se hará colocando un by-pass entre el tanque principal y la cuba del cambiador de derivaciones, a modo de evitar que por la diferencia de presiones se dañe este último.

Esto también, para el secado también en el cambiador de derivaciones. El by-pass es tan solo un tubo de cácula pesada para que no se vaya a chupar, en un extremo va a la válvula de la cuba principal y del otro a la válvula del cambiador de tapa, en ocasiones este accesorio ya viene previsto por el fabricante.

Otra recomendación es, quitar del transformador, los equipos auxiliares que pudieran dañarse o desajustarse con el vacío como son los equipos que operan con flotadores de flujo -- (Buchholz, Relevador RS2001 del cambiador de taps, etc.), a

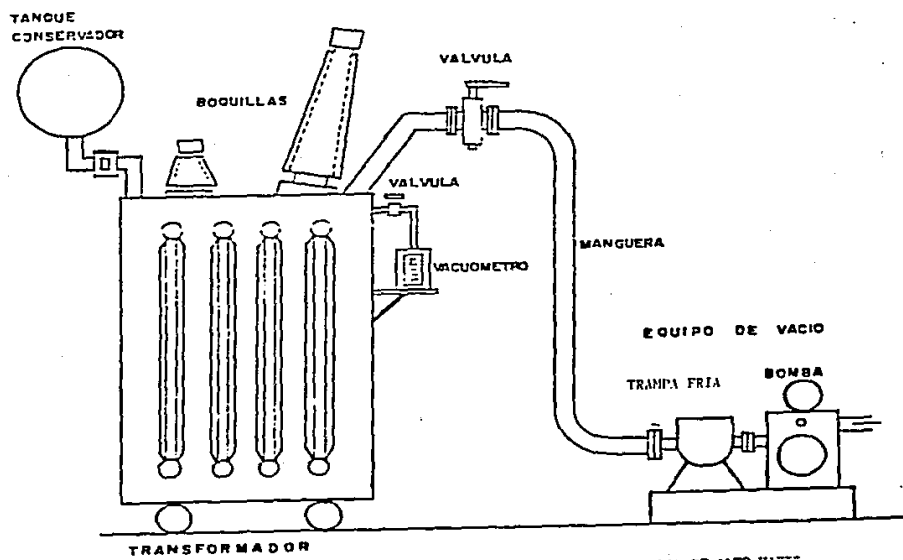


FIG. 71.42 : PROCEDIMIENTO UTILIZADO DE SEPARO POR CALOR DE VAPOR DE UNO DE LOS LIQUIDOS

fin de que no vayan a descalibrarse.

El transformador tiene aproximadamente, según datos del fabricante, unas 1.5 toneladas de peso de aislamiento en seco y mediante una prueba preliminar de abatimiento, tenía una humedad residual cercana al 1.1 %.

Esto nos da un total de 16.5 litros de agua, que se alojan en el transformador y nos da un indicativo de la cantidad de agua a extraer. Si queremos poner en servicio este equipo con una humedad residual de 0.2 a 0.3 %, el agua a extraer será de entre 13.5 y 12 litros de agua.

Tenemos que llevar un control escrito de las extracciones, a modo de no excedernos en la cantidad de agua desalojada y arriesgar el aislamiento a un secado más allá de lo permitido, que le causaría posibles desgarramientos.

El comportamiento del proceso de secado se mostrará en las relaciones que a continuación aparecerán, cuidando de anotar todas las observaciones importantes.

Como nota aclaratoria y a modo de abreviar espacio, utilizaremos en este tema del secado de autotransformador, las relaciones de las lecturas diarias más significativas y relevantes, haciendo especial énfasis en las curvas de abatimiento logradas.

Es recomendable el cambio de aceite cada 48 hrs., con el uso de la trampa fría. Tomar lecturas de abatimiento cada 48 horas, hacer los paros mínimos de bomba y vigilar que no se sobrecaliente la bomba.

Inmediatamente terminado el secado y la prueba final de abatimiento realizada, analizada y aprobada, se llenó el autotransformador con 2 libras por pulgada cuadrada de Nitrógeno.

De esta forma podemos aguardar hasta que el aceite quede perfectamente acondicionado y pueda ser introducido al equipo. El aceite reacondicionado en forma casi simultánea con el secado del transformador, estará listo para este momento.

Se aprovechó también un día propicio para colocar los accesorios removidos antes del proceso de extracción de humedad, (Buchholz, RS2001, et.); el by-pass colocado entre la cuba principal y la cuba del cambiador de derivación no deberá ser removido aún.

En este caso, después de colocados los equipos accesorios faltantes, se hizo un vacío de aproximadamente 2 horas, siguiendo la experiencia recomendada de realizar una extracción de alrededor de 8 horas por cada hora que permanezca, el equipo ya secado, abierto. Esto sirve más que para secar, para extraer el aire que penetró.

Cada vez que sea destapado el autotransformador, deberán llevarse al pie de la letra las instrucciones que damos en el capítulo II, en relación con la extracción de nitrógeno y ventilación del equipo, con mayor razón, cuando se tiene la necesidad de entrar al equipo.

Después de terminados los trabajos de colocación de los equipos accesorios faltantes, se presurizó el transformador a 2 libras por pulgada cuadrada.

La extracción total del agua fué de 12.868 litros, que conforme a lo planeado nos iba a dejar en un porcentaje de humedad residual muy bueno. Es importante, un buen control de agua desalojada del interior del autotransformador.

En el proceso de secado, los cambios de aceite fueron meticulosamente hechos alrededor de las 45 horas, solo que no están especificados todos en los resúmenes de control del proceso, para no hacerlo más tedioso y extenso.

RESUMEN DE EXTRACCIONES DE AGUA AL AUTOTRANSFORMADOR No. 1 S.E. SCD.

FEDIA	HORAS SECAO	AGUA EXTRAIDA DEL ACEITE DE LA BOMBA	AGUA DRENADA DE LA BOMBA FRIA
7 JUL. 85	41	180 ml.	
9 JUL. 85	92	165 ml.	3655 ml.
11 JUL. 85	132	150 ml.	
13 JUL. 85	183	140 ml.	1340 ml.
15 JUL. 85	228	130 ml.	
17 JUL. 85	277	120 ml.	1035 ml.
19 JUL. 85	320	80 ml.	500 ml.
21 JUL. 85	369	65 ml.	455 ml.
23 JUL. 85	416	45 ml.	465 ml.
25 JUL. 85	461	40 ml.	260 ml.
27 JUL. 85	511	33 ml.	255 ml.
31 JUL. 85	602	60 ml.	500 ml.
3 AOS. 85	657	40 ml.	360 ml.
8 AOS. 85	774	70 ml.	850 ml.
10 AOS. 85	824	25 ml.	270 ml.
12 AOS. 85	871	22 ml.	
13 AOS. 85	894		380 ml.
14 AOS. 85	917	30 ml.	
15 AOS. 85	941		240 ml.
16 AOS. 85	964	26 ml.	
17 AOS. 85	989		230 ml.
18 AOS. 85	1010	22 ml.	
20 AOS. 85	1056	25 ml.	240 ml.
22 AOS. 85	1104	20 ml.	190 ml.
24 AOS. 85	1028	15 ml.	190 ml.
26 AOS. 85	1074		130 ml.
TOTALES		1 503 ml.	11 365 ml

REGISTRO DEL PROYECTO DE SERVICIO AL COMUNITARIO PARA EL AÑO DE EJECUCIÓN 1984-85

FECHA	VAGÓN DE MATERIAL	TIPO MATER.	TIPO MATER.	REPAR. MATER.	Nº	OBSERVACIONES
5 Jul. 85	0	20	20	0	14104	Tráiler del servicio por trabajo concluido y pasarlo a la flota.
	2 850	20	20	0	14105	
	1 410	20	20	0	14106	
	400	20	20	0	14107	
6 Jul. 85	1 300	22	22	14	14108	Se cargó el trabajo con el trabajo de
	300	22	22	14	14109	trabajo de
	300	22	22	14	14110	trabajo de
	400	21	21	14	14111	trabajo de
	400	21	21	14	14112	trabajo de
7 Jul. 85	200	22	22	14	14113	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	200	22	22	14	14114	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
8 Jul. 85	250	22	22	14	14115	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
9 Jul. 85	100	22	22	14	14116	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14117	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14118	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14119	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14120	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14121	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14122	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14123	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14124	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14125	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14126	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14127	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14128	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14129	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	100	22	22	14	14130	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de

FECHA	VAGÓN DE MATERIAL	TIPO MATER.	TIPO MATER.	REPAR. MATER.	Nº	OBSERVACIONES
10 Jul. 85	150	22	22	14	14131	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14132	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14133	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14134	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14135	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
11 Jul. 85	150	22	22	14	14136	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14137	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14138	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14139	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14140	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
12 Jul. 85	150	22	22	14	14141	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14142	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14143	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14144	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14145	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
13 Jul. 85	150	22	22	14	14146	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14147	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14148	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14149	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14150	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
14 Jul. 85	150	22	22	14	14151	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14152	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14153	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14154	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14155	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
15 Jul. 85	150	22	22	14	14156	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14157	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14158	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14159	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14160	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
16 Jul. 85	150	22	22	14	14161	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14162	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14163	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14164	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14165	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
17 Jul. 85	150	22	22	14	14166	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14167	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14168	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14169	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de
	150	22	22	14	14170	Tráiler de trabajo por trabajo de trabajo de

REGISTRO DEL PRODUCTO DE SECAO AL ADMINISTRADOR FAC. A DE LA SUBSTANCIA SANTIAGO 21

FECHA	VACIO EN MICHONES	TDP. AUTOP.	TDP. AER.	HEMAS SECAO	HR.	OBSERVACIONES
9 Ago. 85	347	30	27	820	12:00	
20 Ago. 85	300	23	21	824	12:00	
	233	29	22	824	12:00	
	282	22	22	825	12:00	
	82	25	22	826	12:00	
13 Ago. 85	327	30	22	847	12:00	
13 Ago. 85	328	30	22	873	12:00	
13 Ago. 85	347	30	21	880	12:00	
	340	30	25	897	12:00	
24 Ago. 85	347	30	22	927	12:00	
25 Ago. 85	347	28	24	942	12:00	
	340	37	25	942	12:00	
	340	37	24	942	12:00	
17 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
27 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
	340	37	24	942	12:00	
28 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
19 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
20 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
21 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
22 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
23 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
24 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
25 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
26 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
27 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
28 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
29 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	
30 Ago. 85	340	37	24	942	12:00	

El tanque conservador entró bajo vacío con el grupo de radiadores 4, 5 y 6.

CIENVA No. 1 - 7 JULIO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
270	27	12:00
275	26	12:05
280	26	12:10
310	25	12:15
320	25	12:20
335	24	12:25
345	24	12:30

CIENVA No. 1 - 11 JULIO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
360	22	9:00
380	26	8:05
390	26	8:10
355	27	8:15
360	27	8:20
395	27	8:25
325	27	8:30

CIENVA No. 12 - 31 JULIO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
190	35	10:00
195	35	10:05
205	35	10:10
215	35	10:15
220	35	10:20
230	35	10:25
230	35	10:30

CIENVA No. 15 - 10 AGOSTO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
100	23	12:00
115	23	12:05
125	24	12:10
130	24	12:15
130	26	12:20
150	26	12:25
170	27	12:30

-223-

CIENVA No. 6 - 17 AGOSTO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
170	38	13:00
190	38	13:05
205	38	13:10
205	38	13:15
225	38	13:20
265	38	13:25
300	38	13:30

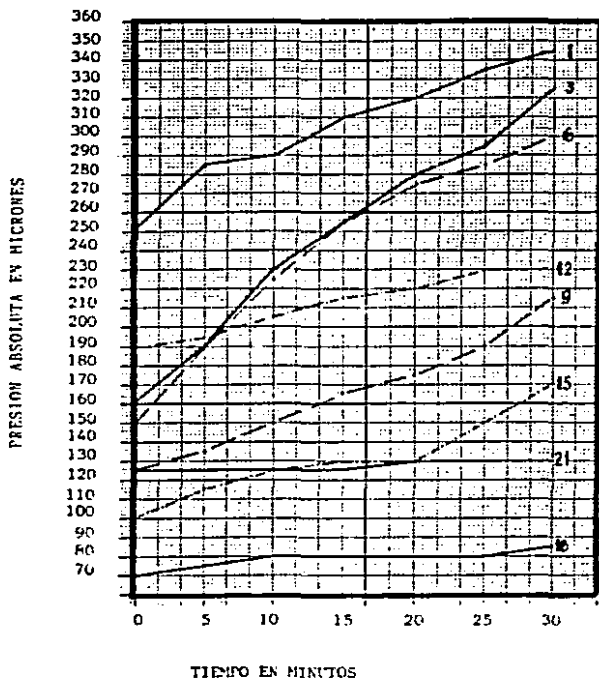
CIENVA No. 9 - 21 AGOSTO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
125	30	13:00
135	30	13:05
150	31	13:10
165	31	13:15
175	31	13:20
190	32	13:25
215	32	13:30

CIENVA No. 18 - 17 AGOSTO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
70	21	14:00
75	22	14:05
80	23	14:10
80	24	14:15
80	24	14:20
80	24	14:25
85	25	14:30

CIENVA No. 21 - 25 AGOSTO 85		
VACIO	TEMPERATURA °C	HR
125	42	12:00
125	42	12:05
125	-2	12:10
125	41	12:15
130	41	12:20
130	41	12:25
130	42	12:30

FIG. 11.43

CURVAS DE ABATIMIENTO DURANTE EL PROCESO
DE SECADO AL AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA



Además, las cantidades de agua extraída son acumulativas, es decir, si no está especificado el cambio de lubricante y la medición de agua contenida, en la siguiente prueba esta acumulada la humedad condensada.

Lo mismo ocurre con las pruebas de abatimiento, que se hicieron un total de 23 curvas, de las cuales únicamente plasmamos 6, que consideramos de mayor relevancia. Fig. II.43

La humedad relativa final del autotransformador fué de 0.28%, alojando con esto un total de 4.2 litros de agua aproximadamente, cantidad que deja fuera de peligro totalmente la vida y operación del equipo.

CAPITULO III.- ACEITES AISLANTES.

- 1.- CARACTERISTICAS DEL ACEITE AISLANTE
- 2.- PRUEBAS DE CAMPO
- 3.- ACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE Y LLENADO DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA.

CAPITULO III.- ACEITES AISLANTES

1.- CARACTERISTICAS DEL ACEITE AISLANTE:

El término líquido aislante, cubre en forma general todos los líquidos de alto valor de resistividad, los cuales son usados en equipo eléctrico. Al principio con el uso de bajos voltajes y poca carga se utilizaba aceite de linaza con buenos resultados.

Al irse incrementando los potenciales y las demandas, este aceite fué ya inadecuado como medio aislante. Fué así, como empezó el uso de los aceites derivados del petróleo con base parafínica, nafténica o de básicos mezclados.

En la actualidad los aceites son obtenidos de fracciones de aceites pesados o fracciones de lubricantes ligeros conocidos como aceites neutros. Existe básicamente dos tipos de aceite aislante, los derivados del petróleo y los aceites artificiales clorados.

Los aceites derivados del petróleo son básicamente de dos tipos, los de base nafténica, que son normalmente los de importación, proporcionando un aceite con características ideales, como bajo punto de congelación, para uso en lugares con bajas temperaturas; el otro tipo de aceite derivado del petróleo, es el parafínico que es la característica del aceite nacional.

Hasta hace poco tiempo con sólo determinar el tipo de básico, se indicaba ya la calidad de un aceite, argumentándose con ésto que el nafténico era de mejor calidad y por lo tanto se podía usar en todo equipo de alta tensión, siendo el parafínico de inferior calidad y sólo podía usarse en equipo de distribución.

Actualmente se considera que es la forma de fabricación y no

el tipo de básico, la que proporciona la calidad del aceite, por lo que el análisis final de las pruebas de campo y laboratorio nos indicarán si es adecuado o no, para una determinada aplicación.

Los aceites artificiales, llamados comúnmente askarules o pyranoles, son compuestos sintéticos no inflamables, los cuales descompuestos por arco eléctrico producen mezclas de gases no inflamables, siendo por tanto estables y difíciles de destruir.

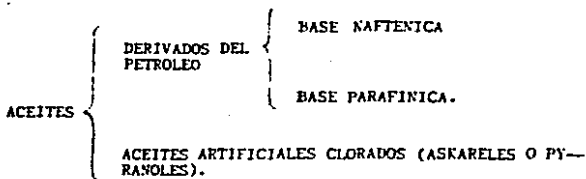
Son grandes contaminantes ambientales y tóxicos, que producen por el contacto o inhalación de sus gases problemas como el acné, disturbios intestinales, ictericia, afección a los riñones e hígado, problemas genitales, etc.

Entre los más comunes están el tricloro difenil, pentacloro difenil y triclorobenceno. Se usan en transformadores pequeños, capacitores, talleres, etc. y en lugares donde sería problemático instalar equipos contra incendio.

El problema más severo en el uso del askarel en operación es el agua, ya que solo una pequeña porción se disuelve en el aceite (125 ppm), mientras el resto queda libre sobre la superficie, abatiendo drásticamente la resistencia dieléctrica conforme el askarel tiende a la saturación. El arco reduce también la resistencia dieléctrica, descomponiéndolos y tornándolos en fluidos negros debido a la carbonización.

Además, es antieconómico tratar de regenerar el askarel, por lo que debe ser desechado, siendo un proceso muy delicado el tratar de deshacerse de ellos, ya que de hacerlo en una forma irresponsable, causaría daños permanentes a la ecología.

Anteriormente las características finales de un aceite deseado eran principalmente la de estabilidad a la oxidación, lo cual ha variado actualmente en favor de propiedades eléctricas y fi-



sicas como el factor de potencia y la rigidez dieléctrica.

En la actualidad la tendencia es relacionar a los aceites de acuerdo a su composición química, para esto se han obtenido muchos procesos para la coordinación del uso de materias primas con diferentes reactivos, a modo de obtener el aceite de la calidad deseada.

En forma general, podemos decir que la materia prima consiste en una fracción del petróleo obtenida por destilación al vacío entre 260 y 371°C a 50 mm de Hg. de diferentes tipos de aceite crudo.

La composición química tan compleja de estas fracciones fué la que impidió los estudios correspondientes, pero los métodos actuales analíticos, (Cromatográficos, espectroscópicos, etc.), están desarrollados para analizar las mezclas más complejas.

Podemos decir, que los aceites empleados como materia prima en la fabricación de los aceites aislantes, están constituidos por hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos; se encuentran presentes en pequeñas concentraciones compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno, comúnmente denominados compuestos polares. Se considera que estos compuestos polares, son los que imparten la inestabilidad a la oxidación de los aceites.

Los actuales procesos para la obtención de aceites aislantes

han tratado de eliminar estos componentes indeseables, sin alterar los descables de las diferentes materias primas empleadas. Estos procesos son básicamente de dos tipos: De extracción y de hidrogenación.

El proceso de extracción consiste en la eliminación de los compuestos indeseables por medio del ácido sulfúrico y el furfural, siendo este último el disolvente más efectivo.

Los compuestos aromáticos son también eliminados, situación que puede ser controlada mediante la relación aceite furfural, de acuerdo a ello pueden obtenerse aceites aislantes con diferente contenido de los componentes antes mencionados, aunque no se ha podido establecer un proceso mediante el cual se eliminen sólo los compuestos polares.

En la teoría, los procesos de hidrogenación deberían eliminar solamente los compuestos polares, sin embargo, la selectividad dependerá de las condiciones del proceso y de los catalizadores: en la industria petrolera se usan tres diferentes procesos de hidrogenación: Hidrofinishing, hidrostreating é hidrocracking.

La diferencia básica entre ellos, es lo severo de la hidrogenación y de la materia empleada, siendo los dos primeros los que pueden producir aceites de alta calidad, mientras el último es demasiado severo y dificultoso su uso.

En la siguiente página con fines ilustrativos, presentamos el diagrama de flujo para la refinación de aceite aislante Pemex tipo "M" de la refinería Salamanca. Fig. III.1.

El proceso principia en una planta de destilación primaria, en donde se obtiene un residuo que en el siguiente paso es fraccionado en una torre de destilación al vacío a 50 mm de Hg, el corte obtenido entre 260 y 371 °C se denomina "Base especialidades" que posee las características físicas adecuadas para la

PROCESO DE FABRICACION DE ACEITE PARA TRANSFORMADOR TIPO "M"
 REFINERIA EN SALAMANCA GUANAGUATO

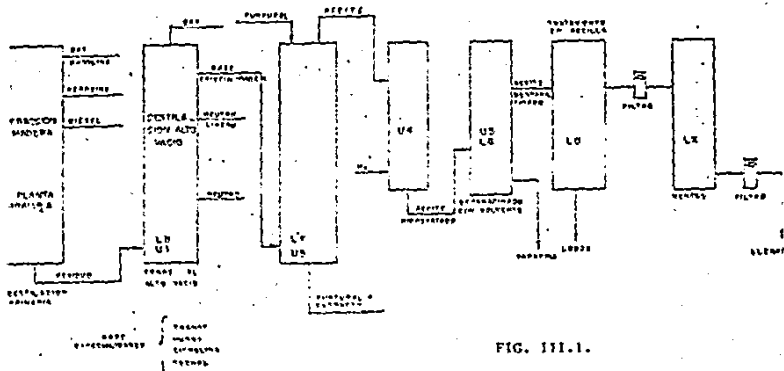


FIG. 171.1.

obtención de los aceites aislantes.

Posteriormente el aceite es sometido a la extracción de los compuestos indeseables con furfural, luego pasa el proceso de hidrogenación, debido a su naturaleza parafínica, el aceite se somete a un proceso de desparafinación con una mezcla de metil-etil cetonatolueno a -35°C , con el fin de precipitar la parafina presente y obtener un punto de escurrimiento adecuado.

Por último el aceite ya refinado pasa a un tratamiento de precolación con arcilla, para eliminar huellas de agua.

El aceite al bombearse a la unidad de entrega, pasa a través de un sistema de filtración en donde se retienen partículas hasta de 2 micrones, así mismo, al cargar el aceite ya sea a carros-tanque, tambores o pipas, nuevamente pasa a través de otro sistema de filtración, igualmente para retención de partículas.

Para determinar la calidad de un aceite, es necesario analizarlo, entender lo que se está midiendo y los criterios a seguir de acuerdo a los resultados obtenidos.

Un aceite aislante, usado en equipo eléctrico primario debe tener cualidades aislantes y refrigerantes, o sea proporcionar un medio de arrastre para las partículas que se forman durante el arqueo y conducir el calor generado en el equipo.

Como aislante tiene por fin, evitar la fuga de electrones libres en su estructura física. Se consideran como conductores de alta resistividad y poseen ventajas sobre los aislantes gaseosos por ser más densos y por tanto, ofrecer una resistencia mayor al paso de los electrones. Deben tener una capacidad de calor que permita una mejor disipación, cumpliendo con el requisito de viscosidad adecuada.

Las propiedades principales del aceite dependen de la relación

entre los componentes saturados y los no saturados, mientras que su vida queda determinada por la relación entre el contenido de antioxidantes naturales en los aromáticos y los contaminantes no deseables.

Los hidrocarburos saturados, comúnmente llamados aceites blancos, no son satisfactorios como dieléctricos, por que en presencia de esfuerzos eléctricos (bombardeo electrónico) se descomponen liberando hidrógeno en forma gaseosa, creando huecos que disminuyan la rigidez dieléctrica; además los aceites blancos sin inhibidores se autooxidan, formando peróxidos, ácidos solubles en el aceite y agua.

Los hidrocarburos aromáticos son más estables desde el punto de vista eléctrico y por lo tanto tienen una tendencia menor a gasificarse. En condiciones favorables, absorben el hidrógeno liberado por los hidrocarburos saturados y así disminuyen el peligro de gasificación.

Se concluye, que los buenos aceites derivados del petróleo deben tener la mayor cantidad de aromáticos compatible con los demás requerimientos. Su acción oxidante es autoretardante y los productos de su oxidación son principalmente fenoles y lodos.

Los antioxidantes naturales son compuestos aromáticos activos, que reaccionan con los peróxidos y funcionan como inhibidores al romper la reacción de los peróxidos; tanto ellos como sus productos primarios de oxidación retardan la misma y ayudan a la formación de quelatos de cobre catalítico.

Los corrosivos son hidrocarburos alifáticos, capaces de disolver metales catalíticos, los cuales solubles en el aceite promueven la peroxidación y la falla del aceite. Casi todos los crudos contienen corrosivos en su constitución y se agregan otros durante la destilación por ruptura (cracking) de materiales

asfálticos del aceite creado.

Básicamente hay dos tipos de corrosivos:

- Los que reaccionan con sosa cáustica y pueden por lo tanto ser eliminados por ésta sustancia produciendo un aceite neutro.
- Los corrosivos verdaderos, los cuales no pueden ser eliminados por métodos convencionales, requiriendo un tratamiento químico más drástico.

Los primeros son nafténicos, mientras que los segundos son mercaptanos, (hidrocarburos alifáticos sulfurados).

El resumen, el valor del aislamiento de un aceite disminuye por la presencia de agua, permitiendo la oxidación del mismo, formando a la vez ácidos orgánicos que causan retención de tal líquido, además de ser conductores.

La degradación severa del aceite produce jabones metálicos, una combinación de ácidos orgánicos con metal y lodos. Los jabones ayudan en la retención del agua y pequeñas partículas de lodos que pueden estar suspendidas en el aceite, donde actúan como núcleo para la concentración de humedad.

La refrigeración o el valor de disipación de calor de un aceite decrece por retardarse la circulación del mismo por dos causas principales:

- 1).- Por los productos de la oxidación que forman un aceite espeso o una mezcla de aceite espeso y materia en suspensión, incrementando con esto la viscosidad; la evaporación de los compuestos menos viscosos por la temperatura, también incrementa a ésta.
- 2).- Por los productos finales de la oxidación, los lodos, que forman una película sólida en los conductos estrechos.

2.- PRUEBAS DE CAMPO:

Como decíamos anteriormente, para determinar la calidad de un aceite, se hace importante, la necesidad de efectuar análisis del mismo y entender lo que se está midiendo y los criterios a seguir de acuerdo a los resultados de prueba.

Sabemos cuales son las funciones primordiales de un aceite aislante y los agentes que presentes en él, alteran ostensiblemente sus características. Como complemento, enlistaremos las pruebas que debieran aplicarse al aceite.

En el siguiente cuadro sinóptico se muestran las principales pruebas del aceite.

PRUEBAS AL ACEITE	a.- PRUEBAS FISICAS.
	b.- PRUEBAS QUIMICAS.
	c.- PRUEBAS ELECTRICAS.
	d.- PRUEBAS DE OXIDACION ACELERADA.
	e.- PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD.
	f.- ANALISIS COMPLEMENTARIOS.

Las cuales a su vez constan de los siguientes ensayos:

a.- PRUEBAS FISICAS:

a1.- **DENSIDAD:** Es la relación del peso de un volumen dado de aceite, al peso de un volumen igual de agua. La densidad varía con la temperatura, debiéndose corregir cuando se mida a una temperatura diferente a la de referencia.

Esta prueba consiste en hacer flotar en el líquido un aparato de vidrio llamado densímetro, el cual tiene una graduación interna en la que se lee el valor que coincide con la superficie del líquido.

El uso de esta prueba además de que nos sirve para la corrección de la tensión interfacial, sirve para deter-

tificación, ya que aceites nafténicos tienen valores de 0.88 aproximadamente y los de tipo parafínico entre 0.84 y 0.86.

- a2.- VISCOSIDAD: Prueba en la que se mide la fluidez del aceite y se lleva a cabo normalmente con un viscosímetro Saybolt, que contiene un orificio capilar estandarizado por el que se hace pasar una cantidad volumétrica de aceite predeterminada, siendo el tiempo requerido a la temperatura utilizada, la viscosidad del aceite, medida en segundos Saybolt universales.

La viscosidad es una característica necesaria para la conducción del calor generado en el equipo eléctrico y de esta manera, actuar como refrigerante; el límite máximo de viscosidad es de 60 SSU.

Es de gran importancia el comportamiento de la viscosidad del aceite con los cambios de temperatura, llamándosele a este factor índice de viscosidad.

- a3.- ASPECTO VISUAL: Como el aceite debe ser limpio, transparente y libre de sedimentos, esta prueba es una prueba visual, de gran utilidad y de fácil realización en campo.
- a4.- TEMPERATURA DE INFLAMACION E IGNICION: Esta prueba nos sirve para determinar si el aceite contiene elementos muy volátiles, para efectuarlas, se coloca una muestra de aceite en una copa adecuada, calentándolo lentamente pasando una pequeña flama por la superficie de la muestra.

La temperatura de inflamación será cuando el aceite desprenda vapores y se encienda por primera vez, mientras que la ignición será cuando se produzcan vapores suficientes para mantener encendida la muestra durante cinco segundos por lo menos.

El aparato más usado para esta prueba es la copa abierta Cleveland y la especificación para el punto de inflamación es de 145°C como mínimo.

- a5.- CALOR ASTM: Es una prueba muy fácil de determinar aunque no muy importante. Para un aceite nuevo la especificación es de 0.5 como máximo.

Si un aceite tiene un color de 6 sólo puede decirse que no es nuevo, pero si con el transcurso del tiempo adquiere un color de 4 y en un año aumenta a 7, puede decirse que algo crítico ocurrió y deberá investigarse.

El color de los aceites se incrementa con el uso, aunque muchas sustancias propias de los equipos lo incrementan.

- a6.- TEMPERATURA DE CONGELACION: La temperatura a la cual el aceite deja de fluir, es la finalidad de este ensayo y consiste, en colocar un volumen determinado de aceite en unos tubos de vidrio adecuados, con un termómetro de alcohol, capaz de medir hasta -40°C.

La temperatura del aceite se abate con una mezcla refrigerante con bajo punto de congelación, tomando la lectura del termómetro cuando el aceite deja de fluir. En aceites parafínicos la especificación indica como máximo -26°C.

- a7.- ANALISIS ESTRUCTURAL: Como dijimos, en un aceite es deseable un óptimo contenido de hidrocarburos aromáticos, esto se mide principalmente por medios ópticos de dispersión.

Uno de los equipos más utilizados es el refractómetro tipo Abbe. Con los datos de viscosidad, densidad e índice de refracción se obtienen la constante de viscosidad-gravedad y la dispersión óptica específica.

Estos datos son llevados a la gráfica triangular donde se leen los porcentajes de hidrocarburos aromáticos, parafínicos y nafténicos.

El contenido de aromáticos es inversamente proporcional a las propiedades de gasificación del aceite, sin embargo una aromaticidad alta provoca un aumento en la formación de lodos cuando el aceite está en operación.

Para aceite nacional la óptima concentración de aromáticos es entre el 8 y 12 %.

a8.- TENSION INTERFACIAL: Es la medición de la concentración dipolar en un líquido, sin embargo, con esta prueba no pueden diferenciarse los contaminantes polares. Este ensayo se efectúa con dos métodos principalmente: el método del anillo y el de la gota.

El primero utiliza un tensiómetro, en el que se mide primeramente la tensión superficial de 50 ml de agua destilada, que debe ser de 71 a 72 dinas/cm, una lectura diferente puede indicarnos que el anillo está sucio o desalineado, el agua es inadecuada o el recipiente está contaminado.

Para medir la tensión interfacial del aceite, se sumerge el anillo en el agua, luego se agrega cuidadosamente una capa de 10 mm de aceite y se deja reposar 30 segundos, hay que subir el anillo hasta que rompa entre las dos superficies tomando la lectura correspondiente.

Se recomienda filtrar la muestra antes de la prueba con papel Whatman # 1, debiendo corregir la lectura por variaciones en el tamaño del anillo y por la densidad del aceite.

El método de la gota consiste en una jeringa micrométrica montada en un soporte, con aguja hipodérmica hacia abajo conteniendo agua destilada, un cristizador y un soporte. Fig. III.2 .

En ensayo consiste en determinar el tamaño de las gotas de agua formadas al final de la aguja antes de caer en el aceite y compararse con el tamaño de la gota formada en el aceite, el cual se encuentra en un vasito donde se introduce la aguja.

El tamaño de la gota se lee directamente en la graduación del botón de la jeringa, es la misma que se lee un micrómetro.

De acuerdo al tamaño se proporcionan los medios y fórmulas para obtener la tensión interfacial en dinas/cm. Como valor límite tenemos 36 dinas/cm.

- a9.- **CONTENIDO DE PARTICULAS:** Tiene por objeto determinar la cantidad de partículas contenidas en una muestra de aceite, el cual se hace pasar por un filtro, calculando el peso de las impurezas retenidas relacionándolas con el volumen determinado previamente.

El aceite nuevo deberá estar limpio de partículas.

b.- **PRUEBAS QUÍMICAS:**

- b1.- **NUMERO DE NEUTRALIZACION O INDICE DE ACIDEZ:** Es la prueba química más importante y conocida. Si se llama también prueba de acidez, ya que consiste en determinar la cantidad de material alcalino necesario para neutralizar los ácidos del aceite.

Sabemos que durante su operación normal, el aceite sufre cambios en su composición química, originándose peróxidos, aldehídos y ácidos orgánicos.

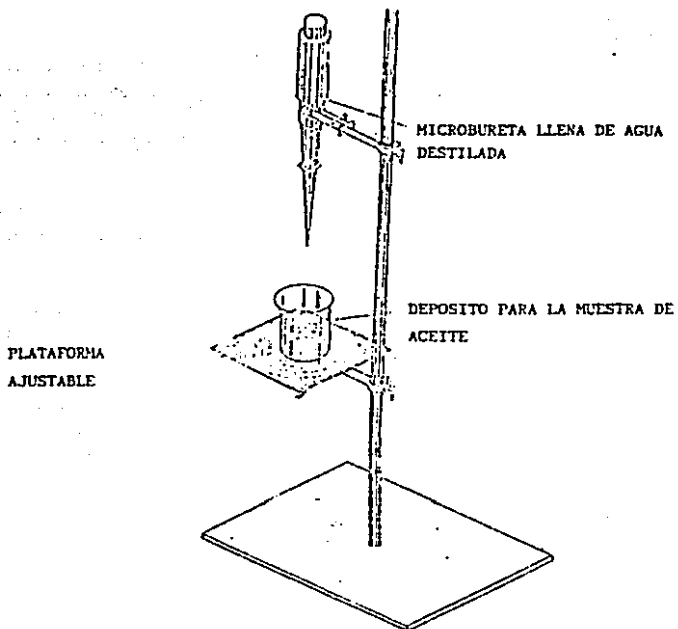


FIG. III.12 : MEDIDOR DE TENSION INTERFACIAL DE ACEITES AISLANTES

Este ensayo nos indica el grado de deterioro por oxidación de un aceite. Para un aceite nuevo, se considera como buen límite 0.030 mg KOH/gr. de aceite.

- b2.- NUMERO DE SAPONIFICACION: En este ensayo se mide absolutamente todo el ácido presente en el aceite y para llevarla a cabo se necesita un soporte, una bureta con un aparato para digestión y una placa para calentamiento.

Se reflujan 25 gr. de aceite con 25 ml. de metil etil cetona y 25 ml. de solución alcohólica 0.5 N mientras se calienta. El punto final es la desaparición del color con HCL usando fenofaleína como indicador, es una prueba poco frecuente de realizar por el tiempo necesario y la dificultad para efectuarla.

- b3.- PUNTO DE ANILINA: Es un método rápido y directo para saber en forma general el contenido de hidrocarburos aromáticos y el grado de refinación de un aceite.

Después de calentar y disolver volúmenes iguales de anilina y aceite, se deja enfriar y se toma la lectura cuando se separan totalmente las dos fases.

La especificación para aceite nuevo tipo nafténico es de 78°C y para aceite parafínico está en estudio.

- b4.- CONTENIDO DE AGUA: El agua es uno de los enemigos principales del aceite y el método más usual para la determinación del contenido del primero en el aislante es el de Karl-Fisher, utilizando un reactivo compuesto de dióxido de azufre, Piridina, Yodo y Metanol.

Para calibrar el reactivo, se disuelve la muestra de aceite en una mezcla de alcohol-cloroformo. El aparato de prueba consta de dos partes: la celda o unidad de muestreo y el indicador o unidad de medición. Es impor

tante resultar, que el muestreo es básico en esta prueba.

Existen otros métodos para la determinación del contenido de humedad en el aceite, como lo es el midiendo el punto de rocío por medio de una celda, calculando el contenido por medio de tablas y fórmulas.

El líquido para su puesta en operación deberá tener las siguientes concentraciones máxima de agua:

Hasta 115 KV	15 partes por millón.
Hasta 230 KV	12 partes por millón.
Hasta 400 KV	10 partes por millón.

Esta prueba es importante en el acondicionamiento del aceite, aunque generalmente es realizada por personal del departamento de Química Analítica, del laboratorio de C.F.E.

b5.- CONTENIDO DE INHIBIDOR: Esta determinación puede ser cualitativa o cuantitativa.

Los inhibidores o antioxidantes destruyen los peróxidos, disminuyendo la velocidad de oxidación, pero si hay presentes corrosivos, estos no pueden evitar que el cobre se mezcle con los corrosivos y catalicen la peroxidación.

La sensibilidad de un aceite a la acción de los inhibidores puede decirse que es inversamente proporcional a la cantidad de corrosivos que tienen influencias en el factor de potencia.

Por lo tanto los inhibidores se justifican cuando se agregan en aceites no corrosivos, siendo para el aceite nacional PENA, el contenido de inhibidor Cero.

Cuando los refinadores no pueden reducir la actividad de los corrosivos, usan aditivos que reactivan la propiedad corrosiva del cobre catalítico disuelto por los corrosivos o hacen pasiva la superficie de cobre metálico para que no reaccionen con él.

- b6.- CLORUROS Y SULFATOS: Es una determinación cualitativa que sirve para determinar la presencia de los contaminantes cloruro y sulfato, que pueden aparecer como resultado de fallas en la refinación, por lo tanto no deben existir en el aceite.
- b7.- AZUFRE TOTAL: Método químico en el que se debe determinar y observar el contenido de contaminantes de azufre en el aceite, los cuales no deben de pasar del 0.1 % máximo.
- b8.- AZUFRE CORROSIVO: Esata prueba utiliza cobre metálico en contacto con aceite bajo condiciones prescritas, no debiendo existir nada de azufre corrosivo.

c.- PRUEBAS ELECTRICAS:

- c1.- TENSION DE RUPTURA O RIGIDEZ DIELECTRICA: La tensión de ruptura eléctrica de un aceite aislante, es una medida de su habilidad para soportar un esfuerzo eléctrico.

Es la prueba más frecuentemente usada y nos revela la resistencia momentánea de un aceite al paso de la corriente alterna y relativa cantidad de agua libre, polvos, lodos o cualquier partícula conductora que este presenta en la muestra.

Si el aceite pierde alguna de sus propiedades aislantes, debido a los agentes arriba mencionados, es lógico que el papel aislante impregnado y sumergido en el aceite se vea también afectado.

En una forma general, podemos decir que la tensión de ruptura o rigidez dieléctrica, mide la presencia de agua y sólidos en suspensión y es un indicativo de buen manejo y uso del aceite. Un alto valor de rigidez dieléctrica, no indica sin embargo la ausencia de todos los contaminantes.

Para la realización de este ensayo, puede usarse cualquier probador de rigidez dieléctrica que cumpla con lo establecido en la norma ASTM 877, aunque se dará preferencia dentro de los equipos que cumplan con los requisitos, a los operados con motor para el control de voltaje, sobre todo cuando el aceite a probar sea para equipos de extra alta tensión.

El esquema del equipo de prueba y componentes fundamentales se muestran en la Fig. III.3. La separación de los electrodos durante la prueba deberá ser de 2.54 mm (0.1"), en el caso de ser electrodos de discos planos (Norma ASTM-D877), pero en el caso de electrodos semiesféricos (Norma ASTM-D1816), la separación será de 1.02 mm (0.04"), Fig. No. III.3.

Tanto los electrodos como la copa deberán ser limpiados con papel sedoso seco, libre de pelusa, o con goma limpia y seca, deberá evitarse tocar los electrodos y el calibrador con los dedos o con porciones de papel que hayan tenido contacto con las manos.

Después de ajustar la distancia entre los electrodos, deberá enjuagarse la copa con solventes secos derivados de hidrocarburo, como thinner, gasolina blanca, etc ya que de usarse un solvente de bajo punto de ebullición, por su rápida evaporación puede enfriar la copa y causar condensación de humedad, como en el caso del éter, alcohol, etc.

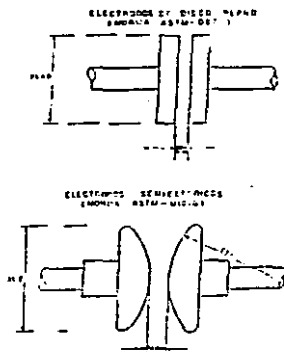
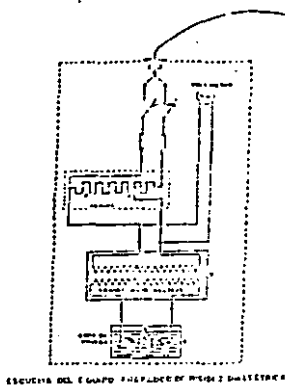


FIG. III.3.

No deberá tocarse el interior de la copa ni los electrodos después de la limpieza; después de ésta, debe enjuagarse la copa con aceite y efectuar la prueba con una muestra representativa.

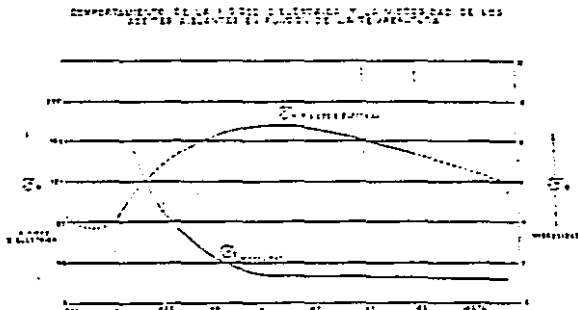
El muestreo, como ya lo habíamos recalcado anteriormente es importante, ya que el valor de la rigidez dieléctrica del aceite puede verse afectado seriamente por la migración de impurezas a través del mismo. Se debe evitar una rápida agitación, porque con ello puede introducirse una excesiva cantidad de aire en la muestra.

Deberá llenarse la copa lentamente, de tal forma que el aceite resbale sobre su superficie y a un nivel no menor de 20 mm sobre la parte superior de los electrodos. Después de esto, deberá de mantenerse el aceite en reposo no menos de 2 minutos y no más de tres antes

de aplicar potencial, para que escape el aire acumulado durante la toma de la muestra.

Las indicaciones dadas en páginas posteriores de este mismo capítulo, inherentes al muestreo son igualmente válidas y habrá que cumplirlas estrictamente. La temperatura de la muestra deberá ser la ambiente, pero en ningún caso menor de 20°C, ya que se tiene la experiencia de que dan resultados variables e insatisfactorios; deberá tomarse al mismo tiempo la temperatura de prueba, ya que la rigidez dieléctrica varía con la temperatura, Fig. No. III.4.

FIG. III.4



La velocidad de aplicación de la tensión, será a razón de 3 KV/seg. \pm 20 % en la norma ASTM-D277 y de 0.5 KV/seg. \pm 20 % en la norma ASTM-D1816, hasta que ocurra la ruptura del aceite, momento en el cual se operará el interruptor de equipo, debiéndose anotar el voltaje

al que ocurrió.

Se deberán hacer tres pruebas sucesivas, dejando reposar la muestra un minuto entre cada una de ellas. Al final, deberán promediarse los tres valores, pero si la resta de la lectura máxima menos la lectura mínima multiplicada por tres, es mayor que la lectura inmediata superior al valor mínimo, la prueba deberá repetirse.

La operación del equipo es extremadamente sencilla, ya que teniendo lista la muestra, bastará con apretar el botón de arranque y el equipo iniciará la aplicación de la tensión a la razón deseada y parará automáticamente al romper el aceite.

Un valor a 30 KV en aceite nuevo y un valor mayor de 26 KV para aceites en operación, es hasta el momento la norma a aplicar, como límite. Las instrucciones generales para las pruebas y para el muestreo, deberán ser cumplidas igualmente en este ensayo.

c2.- FACTOR DE POTENCIA: Es al igual que en el caso de su aplicación en devanados, una de las pruebas más importantes a efectuar en el aceite aislante.

Decíamos en el capítulo II, cuando hablábamos de su aplicación a aislamiento, que el factor de potencia es la relación de la potencia disipada en watts en el aceite, al producto del voltaje efectivo y la corriente expresado en términos de potencia total expresada en voltamperes.

Esto es aritméticamente equivalente al coseno del ángulo de fase o al seno del ángulo de pérdidas, es una cantidad adimensional expresada comúnmente en porcentaje.

El factor de potencia es una indicación de los cambios en el aceite resultantes de la influencia del deterioro, envejecimiento y contaminación y su magnitud, depende de la acción bipolar de los contaminantes, siendo mejor entre menor sea su valor, puesto que la naturaleza propia del aceite es no polar.

Un alto factor de potencia en aceite, es atribuible a la formación de pequeñas cantidades de compuestos que conducen electrones, encontrándose siempre en estos trazas de cobre.

La presencia de mercaptanos en los transformadores sellados produce una reacción con el óxido de cobre presente en todas las superficies de cobre, formando compuestos cuprosos que elevan el factor de potencia, por lo mismo para que éste no se eleve el aceite deberá estar libre de corrosivos.

Para la técnica de la prueba y manejo del equipo, se deben seguir paso a paso las reglas para el muestreo, para el manejo, operación y cuidados del equipo de prueba del factor de potencia DOBLI, de la misma forma como se indica en el capítulo II ("Prueba de factor de potencia a devanados y boquillas").

Ya preparado el equipo, deberá llenarse la celda, para esto se levantará su cubierta llenándose con el aceite a probar, a una altura aproximada de 3/4" del tope final, posteriormente se cubrirá con su tapa, asegurándose que quede apropiadamente ajustada.

En seguida, se colocará sobre una base firme y bien nivelada, se harán las conexiones del equipo a la celda de la siguiente forma: el cable de alta tensión a la manija de la celda, la terminal de baja tensión al cilindro metálico de la celda y el anillo de guarda

del cable de alta tensión se conecta al tornillo de guarda de la celda, formando así un capacitor cuyo dieléctrico es el aceite bajo prueba. Fig. No. III.5.

Tabla III.A: Factores de corrección por temperatura a 20 °C del factor de potencia a aceites.

TEMP. IN °C	FACTOR DE CORRECCIÓN
10	1.38
14	1.24
16	1.18
18	1.10
20	1.00
21	0.96
22	0.91
23	0.87
24	0.83
25	0.79
26	0.76
27	0.73
28	0.70
29	0.67
30	0.64
31	0.61
32	0.58
33	0.55
34	0.52
35	0.50
36	0.47
37	0.45
38	0.43
39	0.41
40	0.39
42	0.37
44	0.35
46	0.33
48	0.30
50	0.28
52	0.26
54	0.23
56	0.21
58	0.19
60	0.17
64	0.15
68	0.13
70	0.12

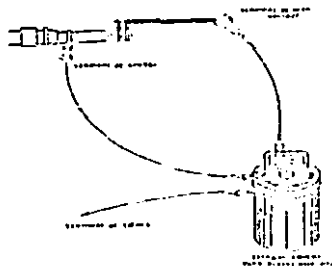


Fig. III.5: Fuera de factor de potencia en aceites.

Deberá ponerse especial cuidado de que las terminales de alta tensión y guarda no se pongan en contacto durante la prueba para evitar cortos circuitos. Hechas las conexiones se procede en la misma forma que en la prueba de factor de potencia a devanados.

Después de efectuar la prueba, en forma inmediata se tomará la temperatura del aceite contenido en la celda, a fin de hacer los ajustes necesarios para relacionar los valores a 20°C de acuerdo con la tabla III.A.

Como nota, después de ser tomada la muestra en la forma correcta, deberá dejarse reposar aproximadamente unos cinco minutos para que el aire atrapado pueda escapar y las partículas de material extraño se asienten en el fondo de la celda.

Un aceite nuevo para ser considerado como satisfactorio deberá tener un factor de potencia de 0.05 máximo a 20°C, siendo la norma para aceite en operación hasta un 0.5 % como máximo, de allí en adelante se considera riesgoso.

c3.- TENDENCIA A LA GASIFICACION: Esta propiedad, es la única propiedad eléctrica que está afectada por el tipo de hidrocarburo que lo constituye.

Los aceites con un contenido óptimo de compuestos aromáticos, al someterse a un campo eléctrico, poseen la propiedad de reabsorber el gas formado, mientras que los aceites con un bajo contenido de aromáticos, tienen una emisión continua de gas, lo cual es crítico en aplicaciones en equipo eléctrico.

Todos los aceites que trabajan bajo tensión eléctrica alta, forman un sólido llamado cera X, que fomenta la gasificación aumentando el factor de potencia, aunque hasta ahora no se haya podido determinar como lo hace.

Por lo tanto, es indeseable la presencia de este compuesto. Aún cuando no hay especificaciones para esta prueba, se considera que el aceite debe de reabsorber

el hidrógeno.

- c4.- RESISTIVIDAD: Prueba denominada también de resistencia específica, se define como la relación de un gradiente de potencial de corriente directa en Volts/cm', en un instante dado de tiempo, bajo condiciones prescritas.

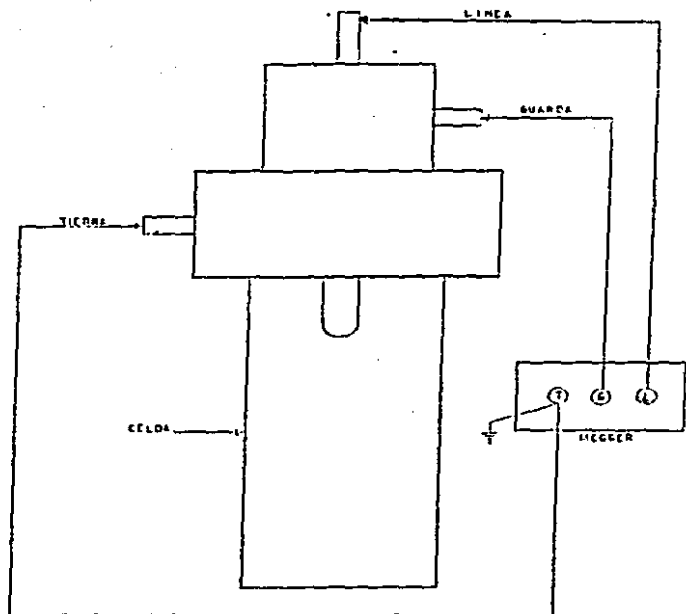
Esto es numéricamente igual a la resistencia entre caras opuestas de 1 cm' de aceite, es una medida de sus propiedades dieléctricas la cual refleja el contenido de iones libres y partículas formadas por estos. Es decir, una alta resistividad refleja un bajo contenido de partículas formadas de iones e iones libres.

Se ha generalizado el uso para esta prueba de una celda para resistividad marca "BIDDLE", en combinación con un megger motorizado (El mismo que se utilizará en el capítulo II, para la prueba de resistencia de aislamiento). Esta celda está calibrada en fábrica con un multiplicador de 1,000. Fig. No. III.6.

Deben seguirse paso a paso las recomendaciones para el manejo, operación y cuidados del equipo megger, para resistencia de aislamiento del capítulo II.

Después de ajustado el megger en la forma convencional, se procede a conectar la celda, la cual previamente estará sumergida en el recipiente que contiene la muestra del aceite, siguiendo cuidadosamente las instrucciones para la toma de muestras.

La manera de conectar esta celda es como lo indica la Fig. No. III.6. La terminal de línea se conecta a la terminal superior de la celda, la terminal de guarda a la terminal horizontal formada por un aro metálico, en la parte central superior de la tapa de la celda y la terminal de tierra al borde horizontal inferior



CONEXIONES DE PRUEBA DE RESISTIVIDAD DE ACEITE AISLANTE
UTILIZANDO MEGGER Y COPA BIDDLE

FIG. III.6

de la celda, el cual sobre sale de una parte aislante.

Hecho ésto se energiza la celda con 2500 volts, tomando la lectura después de un minuto de haberse energizado la celda.

Un valor mínimo satisfactorio para operación, se considera de 50×10^6 .

d.- PRUEBAS DE OXIDACION ACELERADA:

Estas pruebas se efectúan para obtener una indicación de la vida útil de aceite dentro del transformador. Esencialmente consiste en acelerar el procedimiento de envejecimiento bajo condiciones controladas y comparar los resultados con los de operación.

Las causas principales que provocan la oxidación son el calor y el oxígeno: así mismo se usan catalizadores como el cobre con el fin de acelerar el proceso.

El procedimiento general es pasar una corriente de aire u oxígeno, a través del aceite, bajo una temperatura predeterminada y otras condiciones por un periodo de tiempo prefijado.

Los resultados se reportan como la cantidad de ácidos o lodos formados, incremento de viscosidad, número de naturalización, etc., o el tiempo requerido en llegar a valores finales especificados.

d1.- E.S.I. En esta prueba se utiliza una corriente de aire para la oxidación, así como cobre metálico como catalizador. 45 hrs. Se reporta el % de lodos obtenidos.

d2.- C.E.I. Esta prueba se ha adoptado como norma por C.F.E. para determinar la estabilidad o la oxidación del aceite que se adquiere.

En este método el aceite permanece 164 hrs. a una temperatura de 100°C en presencia de cobre metálico y con una corriente constante de oxígeno. La especificación indica 0.1% máximo de lodos y D.4 máximo de número de neutralización.

d3.- ASTM D-2440. Esta prueba es muy similar a la C.E.1., la temperatura es de 110°C y se utiliza también cobre metálico y una corriente de oxígeno durante 164 hrs. El criterio final varía con la severidad de la prueba.

d4.- PFVO. Esta prueba fue desarrollada por la compañía Doble y ha sido aceptada por C.F.E. como especificación. En esta prueba se mide continuamente el factor de potencia y cada 8 hrs. se toma una pequeña muestra del aceite envejecido con objeto de determinar cualitativamente la presencia de lodos.

La temperatura es de 95°C durante 140 hrs. Se usa cobre metálico como catalizador y una corriente continua de aire puro y seco.

Al final de la prueba se obtiene una gráfica del factor de potencia contra el tiempo, la cual se compara con la obtenida por la compañía Doble en base a estadísticos.

Si la curva de la muestra cae dentro del estándar de la Doble, el aceite es aceptable. Para determinar los lodos, se toman 2 ml. de pentano normal, se deja reposar 24 hrs. y se observa para la aparición de lodos.

El aceite debe tener una vida libre de lodos de 64 - hrs. ± 8 hrs.

e.- PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD:

Estas pruebas tienen por objeto determinar la aceptación por parte de los componentes de un transformador, del aceite aislante.

f.- ANALISIS COMPLEMENTARIOS:

- f1.- ANALISIS INFRARROJOS. Con este método se puede detectar en forma rápida la concentración de inhibidor, los productos de oxidación antes de que ocurra la precipitación de lodos y otras impurezas disueltas en el aceite.
- f2.- ANALISIS DE METALES. Se pueden detectar trazas de metales en aceites aislantes con el objeto de identificar ciertos tipos de problemas mecánicos o de sobrecalentamientos en transformadores.

Una técnica puede ser filtrar la muestra, retener las partículas y efectuar análisis químico cuantitativo y cualitativo.

Otra técnica es usando un espectrofotómetro de absorción atómica, con la cual determina directamente del aceite la cantidad de los metales contenidos en él.

- f3.- CONTENIDO DE GASES. El análisis del contenido de gases es un tanto difícil de realizar en campo, por el grado de complejidad en el manejo de los equipos y la exactitud que requiere.

Para esto, la S.F. Bowser Co. desarrollo un equipo de prueba muy sencillo de operar, aunque delicado en su manejo, que ha tenido gran aceptación como analizador de contenido de gas disuelto en aceite.

El equipo de prueba consiste de una cámara de vacío con un grifo de 3 pasos, un recipiente con 10 libras aproximadamente de mercurio, tubos flexibles de Tygon

y accesorios menores.

La cámara de vacío es de 100 ml. y puede construirse de accesorios comunes de laboratorio o de vidrio Pyrex fundido, para evitar fugas en las uniones, ya que el conjunto deberá ser hermético al vacío.

Para realizar la medición del contenido de gas, se deberá cerrar el grifo de tres vías y colocar el frasco de mercurio en la posición más baja, generando con esto un completo vacío en la cámara.

El alto vacío requerido, como puede observarse en la Fig. III.7, es proporcionado por la columna barométrica del mercurio contenido en el recipiente, el cual es movido de arriba hacia abajo en relación con la cámara de vacío.

El frasco y la cámara de vacío están conectados entre sí por la manguera flexible de tygon. El mercurio, como vemos, funciona como bomba, para hacer el vacío y permitir el flujo de aceite.

Se introduce la muestra de aceite dentro de la cámara de vacío, tomándose de un sistema a presión o de una jeringa, a través del grifo de 3 pasos, el cual deberá ser abierto poco a poco.

Parcialmente abierto el grifo, permitirá fluir lentamente el líquido sobre las paredes de la cámara, desgasificado en un vacío completo. Hecho esto, se levanta el recipiente de mercurio hasta su posición más alta.

Ahora ya queda la cámara a la presión atmosférica, donde los gases extraídos se comprimen. Los gases condensables se mezclarán con el aceite y los no condens-

bles permanecerán sobre el nivel del líquido, en forma de burbuja de gas.

Este gas desarrollado es atrapado en la parte más estrecha de la cámara y su volumen puede ser leído sobre la escala directamente. Para esta prueba se requiere de aproximadamente 40 ml. de aceite, debiéndose tener las precauciones mayores al tomar la muestra, a fin de que sea representativa.

El conjunto deberá ser hermético al vacío. Esto se com prueba haciendo un vacío completo sobre la cámara por algunos minutos, con la botella de mercurio en su posición inferior. El aire acumulado por fugas puede ser medido de la misma manera que el gas que se extrae del aceite.

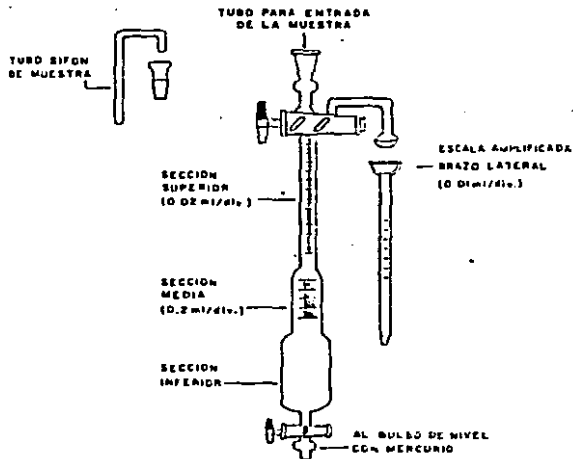


FIG. III.7: APARATO PARA PRUEBA DE CONTENIDO DE GAS.

Para realizar las pruebas mencionadas y explicadas se requiere una gran cantidad de equipo y personal profesional altamente calificado y especializado, lo cual hace imposible realizarlas en campo.

De todas ellas, las que aplicamos al aceite del autotransformador fueron las que están vigentes en campo, las cuales son pruebas prácticas, fáciles de realizar y no requieren de equipo excesivamente sofisticado y delicado.

Las pruebas de campo comunes y altamente necesarias, para completar el estudio de puesta en servicio del aceite son:

Pruebas Físicas : a3.- Aspecto visual.

Pruebas Químicas: b4.- Contenido de agua.

Pruebas Eléctricas: c1.- Rigidez dieléctrica

c2.- Factor de potencia.

c4.- Resistividad

Análisis Complementarios: f3.- Contenido de gases.

Algunas otras pruebas están siendo investigadas y estudiadas con factibilidades muy altas de poder ser llevadas al campo, como la prueba de acidez, tensión interfacial, etc.

Las pruebas de campo actuales, son más que suficientes para determinar con gran exactitud las condiciones del líquido aislante y ya fueron explicadas completa aunque brevemente, con lo cual creemos satisfecho su desarrollo y aplicación.

Las pruebas de contenido de agua y % de gases flarables son pruebas con un cierto grado más de complejidad, requieren de mayor precisión y cuidado, por lo cual no pueden ser hechas con el personal obrero común, aunque en un tiempo no muy lejano se podrán llevar a cabo con la capacitación adecuada.

Estas dos pruebas fueron hechas por personal de LAPEM, del departamento de Química Analítica de CFE, los cuales amablemente

nos proporcionaron los resultados y observaciones necesarias.

Los ensayos de campo deberán ser aplicados al aceite aislante en las siguientes etapas:

- i).- Factor de potencia y rigidez dieléctrica, al aceite contenido en todos los tanques de 200 lts. que se reciban en la subestación, a fin de no mezclar aceites contaminados con líquidos aislantes de buena calidad.
- ii).- Todos los ensayos de campo a la mezcla de aceites contenida en el tanque pilot antes del acondicionamiento.
- iii).- Todas las pruebas de campo al aceite contenido en el transformador, después de que pasó por primera vez por el equipo acondicionador.
- iv).- Todas las pruebas de campo al aceite, después de cada ciclo de acondicionamiento, hasta el instante de permanecer finalmente en el equipo transformador .

3.- ACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE Y LLENADO DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POTENCIA.

OBJETIVO.

Ya vimos los efectos contaminantes del agua y del aire, componentes que siempre forman parte de un aceite, aceleran la oxidación del mismo y le ocasionan un decremento en sus propiedades aislantes y refrigerantes. Las cantidades de agua y aire en el aceite, generalmente están por sobre los límites de operación, aún en aceites recién obtenidos en la refinería.

El agua puede presentarse en su forma libre, disuelta y aparecer separada del aceite por diferencia de gravedades específicas en la parte inferior, superior o en estado de ingravidéz, como en el caso de los aceites siliconados.

Esta agua forma en el aceite emulsiones, las que son por lo general firmes y permanentes y se caracterizan por pequeñas partículas de agua dispersadas con un rango bajo de separación entre ellas. Los aceites con buena demulsibilidad poseen una alta tensión interfacial de 35 a 45 dinas/cm².

Las emulsiones pueden formarse por la agitación mecánica producida por el paso del aceite a través de una bomba, por enfriamiento del aceite o por inyección de vapor al mismo.

El aire y otros gases son también solubles en el aceite, entendiéndose por solubilidad al fenómeno físico de absorción de gas por un líquido. Si la solubilidad del agua en el aceite aislante depende de la temperatura, Fig. No. III.6 la del aire depende mucho de la presión, Fig. No. III.9 lo cual nos dice que a presión atmosférica el aceite contiene el 11% de aire en solución aproximadamente.

Hay varios factores que afectan la separación del aire o gas del aceite, contándose entre ellos: La viscosidad, el aire en-

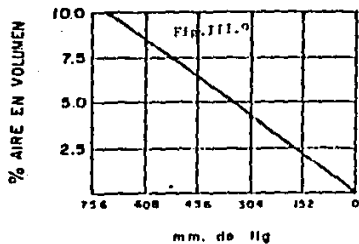
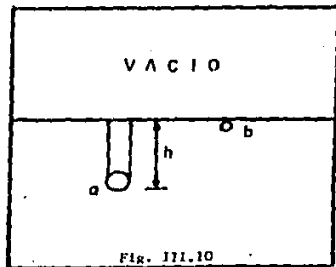
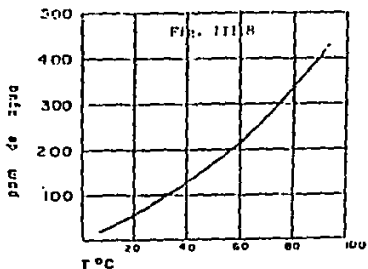


FIG. III.8. DEPENDENCIA DE LA SOLUBILIDAD DEL AGUA EN EL ACEITE AISLANTE DE LA TEMPERATURA.

FIG. III.9. DEPENDENCIA DE LA SOLUBILIDAD DEL AIRE EN EL ACEITE AISLANTE DE LA PRESION ABSOLUTA.

FIG. III.10. RECIPIENTE HERMETICO CON EMULSION AGUA - ACEITE.

tre gas y líquido, la agitación o la falta de ella, la presión o vacío, etc.

El agua y aire soluble en forma disuelta son invisibles y no afectan las propiedades eléctricas o lubricantes del aceite, pero los cambios de presión y temperatura pueden sacarlos de solución, convirtiéndose en su forma libre en agentes sumamente dañinos, ya que ambos contienen oxígeno, contribuyendo a la oxidación del aceite y como consecuencia al desarrollo de ácidos y lodos o sedimentos, todo esto acelerado también por agentes catalíticos como el cobre.

La presencia del aire y del agua disminuye la rigidez dieléctrica del aceite, reduciendo sus propiedades como aislantes. Es necesario pues, reducir el contenido de ellos, de tal manera que no aparezcan libres con los cambios de temperatura y presión.

Las partículas sólidas y el carbón coloidal son también agentes indeseables y deberán ser eliminados inicial y periódicamente por medio de filtración. Los productos formados por la descomposición del aceite debido a arcos eléctricos, resinas y gomas solubles, ácidos por oxidación, etc. pueden ser eliminados con tierra Fuller.

Es por ésto necesario conocer los procedimientos para el tratado de aceite, para que al entrar en operación logre estar en óptimo estado y cumplir con el objetivo de esta parte del proceso de puesta en servicio.

Considerando el equipo necesario para el tratamiento o acondicionamiento del aceite y el llenado de transformadores de potencia, así como también su reacondicionamiento periódico, mostraremos algunos procedimientos y sus limitantes:

PROCEDIMIENTOS PARA EL TRATAMIENTO DEL ACEITE AISLANTE:

RE- HERVIDO: En este método, se pretende eliminar el agua del aceite hirviéndolo a temperaturas ligeramente superiores a la de ebullición del agua, manteniéndola hasta que el agua es expulsada lentamente.

A dichas temperaturas, el contenido de agua soluble aumenta - considerablemente y rápidamente y en ese estado el agua no puede ser eliminada únicamente por la temperatura elevada, en este proceso el contenido de agua al final será superior a los 700 ppm.

Además, debido a que se alcanzan temperaturas de entre 120 y 130°C, por el sobrecalentamiento el aceite comienza a oxidarse, es decir, empieza a carbonizar, perdiendo gran parte de su vida útil al perder parte de sus propiedades aislantes.

FILTRO PRENSA: Esta máquina consiste básicamente, de una serie de láminas de papel secante con una porosidad tal que permite el filtrado del aceite, colocadas una después de otra, a través de las cuales pasa el aceite a presión.

Este procedimiento mientras permite un alto flujo limpio no removerá el agua y tenderá a airear el aceite; el papel filtro se satura rápidamente con el agua y se va destruyendo poco a poco con los sedimentos, causando una contrapresión y con ello una disminución en la capacidad de filtración.

Puede también, desprender fibras el papel filtrante y ser arrastradas por el aceite. Para obtener en este procedimiento una operación buena, se deberán cambiar con frecuencia los papeles filtro, aunque esto en sí, también es un inconveniente, ya que el aire que lleva el papel es absorbido por el aceite.

En este procedimiento resulta muy difícil determinar cuando está realmente saturado el papel.

DESECANTES DE ABSORCION: Se ha usado en una forma limitada, es-

te proceso es similar en su efecto al del filtro prensa. Los desecantes eliminan también algunos elementos aditivos e inhibidores del aceite y requieren estar mucho tiempo en contacto, siendo por tanto, este procedimiento inadecuado para aplicaciones portátiles.

CENTRIFUGACION: Los separadores centrífugos aprovechan la diferencia de pesos específicos para separar el agua libre y los sólidos en suspensión del aceite, haciéndolos girar a gran velocidad, pero mediante la centrifugación, se removerán únicamente los sólidos en suspensión y parte del agua libre, obteniéndose al final un aceite con mayor contenido de agua en solución que cuando entró.

DESGASIFICACION Y DESHIDRATACION POR VACIO: Proceso que opera en base a un descenso de la presión absoluta y por tanto, una disminución del punto de ebullición del agua, aunado a un eventual calentamiento del aceite, de esta manera, podemos eliminar prácticamente toda el agua y los gases contenidos en él.

Este proceso resulta hasta la fecha ser el más eficiente, aunque de acuerdo a experiencias, el hecho de elevar la temperatura para deshidratar y desgasificar el aceite puede ser negativo, debido a que provoca una prematura oxidación y con esto una disminución de la vida útil del líquido aislante, aún cuando las condiciones iniciales del mismo se encuentren dentro de lo especificado; es por lo tanto, recomendable tratarlo a temperatura ambiente.

La presión absoluta requerida para el tratamiento del aceite, depende de la calidad que se requiera y los valores límites que se tengan, a partir de la cantidad y aire iniciales en el aceite. El equipo deberá garantizar una presión absoluta que nos lleve abajo del punto de ebullición del agua.

La presión hidrostática y la tensión superficial son otros factores que impiden que la eliminación de agua sea completa, para

esto, se puede vencer a la primera por medio de agitación, llegando el agua desde el seno del aceite en donde se encuentra hasta la superficie del mismo.

Para eliminar la tensión interfacial se hace necesario bajar la presión absoluta, hasta que el valor de agua tenga el volumen necesario, para que la diferencia de densidades sea tal, que el agua pueda liberarse en forma de vapor.

El procedimiento seguido es el de reducir la relación de volúmenes en un momento dado, mediante la formación de películas o gotas pequeñísimas, con objeto de proporcionar una mayor superficie de contacto con el vacío de la cámara.

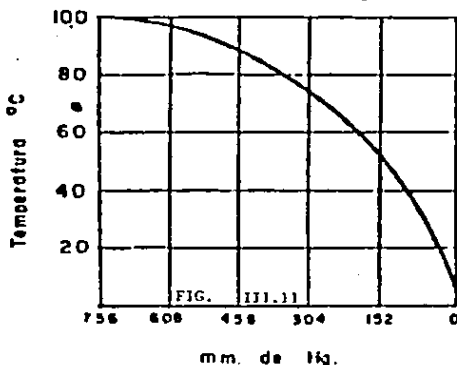
La formación de estas gotitas se efectúa mediante la inyección a presión del aceite a través de un filtro de fibra de vidrio o un material semejante, el cual tiene la propiedad de cortar el aceite en pequeñas partes.

El filtro se coloca en la cámara de vacío y a la salida se producirá la deshidratación y desgasificación adecuadas, este proceso tiene que ser entonces, en forma continua.

En la Fig. No. III.D, se muestra un recipiente hermético que contiene una emulsión agua aceite, se ven dos gotas de agua - (a y b), de las cuales notamos en la gota (a) existe una presión dependiente de la altura (h) de la columna de aceite, que está directamente sobre ella y que ocurre debido a la diferencia de gravedades específicas.

Como dijimos anteriormente por agitación u otro procedimiento, esta presión hidrostática desaparece, para entonces la gota de agua (a) estará al igual que la gota (b), en la superficie del aceite, quedando ahora el problema de romper la tensión superficial, para lo cual, abatiremos la presión absoluta.

En la Figura siguiente, Fig. No. III.11, presentamos la curva resultante del punto de ebullición del agua en función del vacío.



Con el uso de estas gráficas podemos planear el procedimiento a seguir en cuanto a las condiciones que se deben obtener en el equipo. La curva de cantidad de agua contra temperatura, Fig. No. III.9, muestra la posibilidad de pasar agua en solución a agua libre, mediante un descenso en la temperatura, una vez libre, es fácilmente removible por medio de un abatimiento de presión, el cual a su vez produce un descenso en la temperatura del punto de ebullición.

En la curva de cantidad de aire y gases contra vacío, Fig. No. III.10, nos damos cuenta de que es posible la extracción de aire con una aplicación de vacío, hasta obtener la cantidad de aire y gases contenidos en el aceite en niveles aceptables, basta entonces conjugar los parámetros de presión y temperatura adecuados para obtener los resultados satisfactorios.

Por ejemplo: Si se requiere que en un aceite a tratar contenga 30 ppm de agua y el 1 % de aire y gases, será necesaria una temperatura de saturación aproximada de 12°C, temperatura a la que el agua entre en ebullición a una presión absoluta de 50 mm de Hg.

Lo mismo, para tener el 1 % de aire y gases requerido, se hace necesario un vacío del 92 %, es decir, llegar a los 160 mm de Hg aproximadamente.

Puede notarse, que la presión absoluta necesaria para eliminar el agua es inferior a la requerida para extraer el contenido de aire y gases del aceite, para ésto, es conveniente garantizar la extracción del agua, del aire y gases, disminuyendo la presión a un valor menor del obtenido para la ebullición del agua.

RECOMENDACIONES PARA EL TRATAMIENTO DEL ACEITE.

Un proceso típico para el tratamiento del aceite aislante sería:

- 1.- Llegada de los tachos o pipas. Realizar el análisis cuando menos de la rigidez dieléctrica y del factor de potencia. Deberá realizarse en cada uno de los tachos o de las pipas.
- 2.- Transferir el aceite con características razonablemente buenas a la bolsa de almacenamiento o tanque pilot.
- 3.- Realizar pruebas de campo al aceite de la bolsa pilot.
- 4.- Efectuar el vacío al transformador previamente secado hasta llegar a una presión absoluta de 100 micrones aproximadamente.
- 5.- Transferir el aceite de la bolsa a través del equipo desgasificador y deshidratador y llenar el transformador. Deberá hacerse análisis del aceite a la salida de la bolsa y a la salida del equipo.
- 6.- Recircular el aceite del transformador al equipo tan-

Las veces como sea necesario hasta obtener los valores buscados. Hacer análisis en cada vuelta de la misma forma que en el punto anterior.

- 7.- Llenado final del transformador con el aceite acondicionado.

Para dar cumplimiento al primer punto de estas recomendaciones, se realizaron las pruebas de rigidez dieléctrica del aceite aislante y factor de potencia, tanque por tanque de 200 litros, tomando todas las precauciones posibles en la toma de muestras, toma de lecturas, operaciones aritméticas y análisis de resultados.

La forma de efectuar las pruebas eléctricas, así como el razonamiento de los resultados, lo vimos en el anterior tema de este capítulo. (Pruebas de campo para aceites aislantes). No son por sí solas pruebas concluyentes, aunque en conjunto, son una referencia para la selección del aceite de condición mejor.

RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO DEL ACEITE.

Es básico para la obtención de resultados correctos el buen muestreo del aceite, el cual deberá efectuarse sólo cuando la temperatura del aceite sea igual o mayor que el ambiental, para evitar la condensación de humedad en el mismo. de la misma forma deberán suprimirse las muestras con humedad relativa superior a 70 %.

La muestra deberá extraerse del equipo por las válvulas de muestreo, mismas que de preferencia serán del tipo globo, para obtener un flujo controlado y homogéneo. Los recipientes para el muestreo deberán estar completamente limpios y enjuagarse con el mismo aceite que se va a analizar.

Previamente se deberá purgar la línea de muestreo, limpiando perfectamente el extremo con estopa cuidando de no dejar residuos. Posteriormente se drena el aceite en cantidad suficiente

para que al tomar la muestra a analizar, esta sea representativa.

El recipiente deberá acercarse lo más posible a la línea de salida, cuidando no permitir que se formen burbujas, esto se obtiene dejando que el aceite resbale por las paredes del recipiente. También puede usarse un tubo de neopreno lo suficientemente largo para llegar al fondo del recipiente y desplazar el aceite.

Los siguientes listados mostrarán los resultados de las pruebas y su resultado, por tanques individuales. La prueba A corresponde al ensayo de rigidez dieléctrica del aceite, en kilovolts de ruptura y la prueba B, al factor de potencia en tanto porcentual. Los resultados B y M, significan Bueno y Mal estado sucesivamente.

Después de terminadas las pruebas de selección del aceite, se hizo la transferencia del mismo al tanque de almacenamiento. Se evitó la mezcla de aceites buenos y malos, desechando del grupo los tanques 3, 4, 17, 18, 19, 29, 30, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 69, 70, 72, 93, 96, 97, 103, 128, 133, 134, 142, 157, 165, 168, 174, 175 y 189, que contienen aceite no apto para el transformador tal y como lo marca la recomendación No. 2

Este aceite no es de deshecho porque a pesar de no haber cumplido los requisitos mínimos, puede ser útil para otros equipos de potencia cuyas exigencias son menos estrictas como puede ser en interruptores de potencia.

El punto No. 3 de las recomendaciones para el tratamiento del aceite nos obliga a hacer un ensayo completo del contenido de gases y agua a varias muestras representativas del tanque pilot, a las que por referencia le efectuaremos las pruebas de campo mínimas. Los resultados de las pruebas los enlistaremos al final este tema.

Relacion de pruebas electricas al aceite
aislante del autotransformador No. 1 de
la S.E. Santiago II.-

BOCA	PRUEBA			PRUEBA	PRUEBA			PRUEBA
	%	A	B		%	A	B	
1	32	0.010	0	46	31	0.012	0	
2	31	0.016	0	43	31	0.011	0	
3	26	0.011	0	66	36	0.020	0	
4	26	0.011	0	66	37	0.018	0	
5	36	0.012	0	31	37	0.018	0	
6	37	0.011	0	52	37	0.020	0	
7	37	0.011	0	52	37	0.012	0	
8	37	0.010	0	51	37	0.012	0	
9	37	0.016	0	56	37	0.016	0	
10	37	0.010	0	56	37	0.017	0	
11	37	0.010	0	56	37	0.015	0	
12	37	0.010	0	57	37	0.010	0	
13	37	0.016	0	56	37	0.015	0	
14	37	0.016	0	56	37	0.010	0	
15	37	0.016	0	61	36	0.012	0	
16	37	0.016	0	61	37	0.016	0	
17	37	0.016	0	62	37	0.016	0	
18	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
19	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
20	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
21	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
22	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
23	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
24	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
25	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
26	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
27	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
28	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
29	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
30	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
31	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
32	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
33	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
34	37	0.011	0	67	37	0.016	0	
35	37	0.011	0	67	37	0.016	0	

-270-

PRUEBA	PRUEBA		PRUEBA	PRUEBA		PRUEBA	
	%	A		%	A		
36	37	0.010	0	111	36	0.010	0
37	37	0.010	0	111	36	0.010	0
38	37	0.010	0	111	36	0.010	0
39	37	0.010	0	111	36	0.010	0
40	37	0.010	0	111	36	0.010	0
41	37	0.010	0	111	36	0.010	0
42	37	0.010	0	111	36	0.010	0
43	37	0.010	0	111	36	0.010	0
44	37	0.010	0	111	36	0.010	0
45	37	0.010	0	111	36	0.010	0
46	37	0.010	0	111	36	0.010	0
47	37	0.010	0	111	36	0.010	0
48	37	0.010	0	111	36	0.010	0
49	37	0.010	0	111	36	0.010	0
50	37	0.010	0	111	36	0.010	0
51	37	0.010	0	111	36	0.010	0
52	37	0.010	0	111	36	0.010	0
53	37	0.010	0	111	36	0.010	0
54	37	0.010	0	111	36	0.010	0
55	37	0.010	0	111	36	0.010	0
56	37	0.010	0	111	36	0.010	0
57	37	0.010	0	111	36	0.010	0
58	37	0.010	0	111	36	0.010	0
59	37	0.010	0	111	36	0.010	0
60	37	0.010	0	111	36	0.010	0
61	37	0.010	0	111	36	0.010	0
62	37	0.010	0	111	36	0.010	0
63	37	0.010	0	111	36	0.010	0
64	37	0.010	0	111	36	0.010	0
65	37	0.010	0	111	36	0.010	0
66	37	0.010	0	111	36	0.010	0
67	37	0.010	0	111	36	0.010	0
68	37	0.010	0	111	36	0.010	0
69	37	0.010	0	111	36	0.010	0
70	37	0.010	0	111	36	0.010	0
71	37	0.010	0	111	36	0.010	0
72	37	0.010	0	111	36	0.010	0
73	37	0.010	0	111	36	0.010	0
74	37	0.010	0	111	36	0.010	0
75	37	0.010	0	111	36	0.010	0
76	37	0.010	0	111	36	0.010	0
77	37	0.010	0	111	36	0.010	0
78	37	0.010	0	111	36	0.010	0
79	37	0.010	0	111	36	0.010	0
80	37	0.010	0	111	36	0.010	0
81	37	0.010	0	111	36	0.010	0
82	37	0.010	0	111	36	0.010	0
83	37	0.010	0	111	36	0.010	0
84	37	0.010	0	111	36	0.010	0
85	37	0.010	0	111	36	0.010	0
86	37	0.010	0	111	36	0.010	0
87	37	0.010	0	111	36	0.010	0
88	37	0.010	0	111	36	0.010	0
89	37	0.010	0	111	36	0.010	0
90	37	0.010	0	111	36	0.010	0
91	37	0.010	0	111	36	0.010	0
92	37	0.010	0	111	36	0.010	0
93	37	0.010	0	111	36	0.010	0
94	37	0.010	0	111	36	0.010	0
95	37	0.010	0	111	36	0.010	0
96	37	0.010	0	111	36	0.010	0
97	37	0.010	0	111	36	0.010	0
98	37	0.010	0	111	36	0.010	0
99	37	0.010	0	111	36	0.010	0
100	37	0.010	0	111	36	0.010	0

El vacío del autotransformador hasta 100 micrones aproximadamente, se realiza en forma simultánea al acondicionamiento del aceite y se efectúa de la misma forma que el secado, por lo cual nos bastará con mencionarlo y es altamente indispensable para la circulación de aceite y llenado final del equipo.

El significativo paso es circular el aceite por el equipo de degasificación y deshidratación y de este último al autotransformador, para terminar un ciclo. De ser necesario otro ciclo, - cambiarán las conexiones de entrada y salida del equipo de acondicionamiento y se circulará el aceite en sentido contrario al inicial, es decir, del autotransformador al tanque pilot.

Es también muy importante cumplir lo especificado en el punto 6 de las "recomendaciones para el tratamiento del aceite", en el sentido de hacer las pruebas de campo en cada ciclo de acondicionamiento del aceite.

EQUIPO DE DEGASIFICACION Y DESHIDRATACION.

Un equipo estandar para el acondicionamiento del aceite consta de:

- Cámara degasificadora hermética.
- Sistema de bombeo de alto vacío con soplador y bomba de vacío.
- Sistema de enfriamiento.
- Tablero de control.
- Calentadores eléctricos.
- Filtros especiales.
- Bomba de alimentación de aceite sin tratar.
- Bomba de descarga de aceite tratado.
- Válvulas automáticas y manuales.
- Medidor totalizador de flujo.
- Manómetros de presión y vacío.

Preferentemente el equipo está montado sobre una base común; la cámara degasificadora deberá estar construida con acero al carbón y diseñada para trabajar al alto vacío, vendrá provista

con un indicador de presión absoluta, una válvula de seguridad, una válvula de control y una válvula de rompimiento de vacío.

El sistema de filtrado será con cartuchos intercambiables, diseñado para retener partículas hasta de 0.5 micrómetros de dimensión máxima. En la Fig. de la página siguiente, Fig. No. III-12, mostramos un sistema típico de desgasificación y deshidratación del aceite.

El tratamiento comienza al operar la bomba de succión "A", la que descarga el aceite absorbido a través de los calentadores eléctricos "B", con intermedio de una válvula para muestreo de aceite sin tratar.

En los calentadores se eleva la temperatura del aceite a la requerida, aunque dijimos que preferentemente no deberán utilizarse estos calentadores, por las razones anteriormente expresadas.

En seguida el aceite pasa por el filtro "C", para eliminar impurezas, para pasar de ahí a los difusores "D", donde se atomiza el aceite dentro de la cámara de vacío "E". En esta cámara de vacío, se mantiene la presión absoluta necesaria por medio del sistema de vacío "F".

En la cámara de vacío manteniendo el nivel adecuado, se saca el aceite con la bomba de descarga "G", pasando por el totalizador de flujo y en forma intermedia por otra válvula de muestreo, pero de aceite tratado. Después del medidor de flujo "H", el aceite pasa al transformador.

El equipo normalmente usado en la C.F.E., tanto por los departamentos de Construcción como Operación, son los fabricados por la PENWALT-STOKES, equipo que describiremos a continuación, - aunque también tiene bastante utilización el sistema FIL-THERMO-VAC de la Bowser Inc. que básicamente operan de la misma forma.

PROCESO DE REMOCION DE AGUA: Después de su entrada el aceite pasa a los difusores ya filtrados y de estos a la cámara desgasificadora, eliminando el agua libre por evaporación instantánea debido al alto vacío.

El aceite pulverizado cae sobre una cama, la cual tiene unos anillos, sobre cuyas paredes se provoca la deformación de las gotas de aceite y la humedad entrampada rompe la superficie del mismo, eliminando la última resistencia (Resistencia Superficial o Tensión) y salga libre, esta humedad entrampada no es más que agua en saturación.

Este sistema es capaz de reducir el contenido de humedad a valores inferiores de 10 ppm.

PROCESO DE DESGASIFICACION: Este sistema con un solo paso puede reducir el contenido de gases a valores por debajo de 0.5%, a base del principio anteriormente expresado de que a menor presión absoluta la cantidad de gases en saturación es menor.

Algunas ocasiones, el aire o gas se entrampa en el aceite formando una espuma en la cámara de alto vacío, si esta espuma no es evitada puede ser causa de serios problemas en el sistema de vacío.

En este sistema parte del aceite se recircula dentro de la cámara de vacío a fin de romper dicha espuma, este aceite entra en la tubería de succión del sistema de vacío, para evitar la absorción de espuma en la bomba.

Los difusores del sistema y los anillos de la cámara desgasificadora, son autolimpiables, haciendo innecesario el mantenimiento o reemplazo durante la operación bajo condiciones normales. Con esto también no es necesario abrir la cámara, evitándose así fugas por los cierres y aperturas de la tapa.

PROCESO DE FILTRACION: Las partículas dañinas son retenidas

por filtración reteniendo partículas de 0.5 micrones con una eficiencia del 95 al 99%. Para el cambio de cartucho lo indican los manómetros instalados a la entrada y a la salida del filtro. El filtro principal es del tipo HYFLOW de cartuchos intercambiables.

PROCESO DE VACIO: El vacío opera con bombas mecánicas BOOSTER de dos pasus, de alto vacío y alta capacidad, con conexión auxiliar para el secado de transformadores. En operación el sistema de vacío opera primero con la bomba BOOSTER y luego con la bomba de sostén a un vacío predeterminado, cuenta además con un completo sistema de enfriamiento.

PROCESO DE FLUJO DE ACEITE: El sistema está diseñado para un continuo flujo de aceite a la capacidad de operación y cuenta con controles de nivel, medidor totalizador de flujo y control de ajuste de flujo y con una válvula para toma de muestras en la entrada y en la salida del líquido.

PROCESO DE CALENTAMIENTO: Los calentadores están protegidos contra el sobre calentamiento, habiéndolos con diferentes capacidades de acuerdo al flujo.

PROCESO DE BOMBEO DE ACEITE: Las bombas están diseñadas para operar al alto vacío y tienen una protección que hace que a falta de aceite en la entrada la bomba pare automáticamente y no opere en seco, ya que de suceder esto la bomba podría sacar rebabas y contaminar el aceite.

Son bombas de desplazamiento positivo y del tipo de engranes, con sello mecánico y contruidas con válvulas de alivio de presión.

TABLERO Y MEDIDORES: Es un tablero completo provisto con interruptores termomagnéticos para la protección de los diferentes procesos, con todo el equipo de medición necesario, como el VACUOMETRO para la cámara de vacío, MANOMETROS para el proceso

de estomización, TERMOMETROS para el aceite, etc.

CAMARA DESGASIFICADORA: Diseñada especialmente para trabajos al alto vacío, está fabricada de acero al carbón y cuenta con válvulas de seguridad, una válvula para el control de flujo y una válvula para rompimiento de vacío; su interior va pintado con poliuretano blanco y tiene tres mirillas para la observación del proceso.

En la siguiente tabla, (Tabla III.1), se da una relación de los diferentes modelos de desgasificadoras y deshidratadoras PENWALT-STOKES.

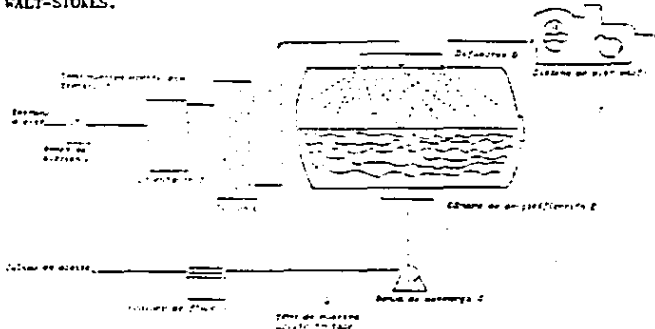


Fig. III.12: Sistema típico de desgasificación y deshidratación de aceite.

Modelo	Capacidad (gal)	Altura (in)	Diámetro (in)	Peso (lb)	Peso (kg)	Peso (ton)	Peso (kg)	Peso (ton)
820-10	10	40	7	2	2	2	200	20
820-20	20	50	7	2	2	2	200	20
820-30	30	60	7	2	2	2	200	20
820-40	40	70	7	2	2	2	200	20
820-50	50	80	7	2	2	2	200	20
820-60	60	90	7	2	2	2	200	20

TABLA III.1
MODELOS DE -
DESGASIFICA-
DORAS PENWALT
-STOKES.

PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO Y LLENADO:

Es importante en este proceso la hermeticidad, la limpieza y el clima exterior. Para ello, hay que probar estrictamente todos los equipos, vigilar y corregir cualquier fuga de aceite y limpiar perfectamente todo lo que intervendrá en el acondicionamiento del líquido aislante.

Hay necesidad de recircular algo de aceite bueno para la limpieza de mangueras, tuberías, bombas, etc. y deshecharlo de su uso en el autotransformador.

Es preferible elegir temporadas fuera de lluvias o invierno para realizar el tratamiento del aceite, pero no por esto, pasan a ser épocas vedadas para estas actividades.

El equipo desgasificador-deshidratador, debe ser manejado u operado por personal capacitado. El operador debe percibir cualquier anomalía en el proceso, reportarla o corregirla y de ser necesario detener el ciclo, en caso de fuerza mayor.

Los ciclos de acondicionamiento del aceite, preferentemente serán continuos, esto quiere decir que iniciado el primer ciclo no deberá interrumpirse, a menos que existan problemas de causa mayor en el equipo, hasta terminarlo.

De igual manera iniciados los otros ciclos. Si por alguna razón se interrumpe un ciclo, es obligación de todo supervisor, vigilar que nos se mezcle el aceite que ya circuló por la máquina acondicionadora, con el aceite que guardó su tratamiento.

Deberá cuidarse el nivel de aceite en el transformador, para cerrar la válvula del vacío, cuando el aceite vaya alcanzando la altura de conexión de la bomba de vacío.

Generalmente cuando el líquido alcanza un 75% de la capacidad de la cuba del equipo transformador, se desconecta el equipo

de vacío, para que el mismo vacío que queda, se encargue de lo que resta por tratar.

Para la vigilancia del nivel, se hace uso del totalizado de flujo de la máquina Penwalt-stokes, el cual se pondrá en ceros al término de cualquier ciclo.

Al empezar el tratamiento del aceite el vacío inicial es bajo, debido a que el agua, el aire y los gases al ser extraídos aumentan la presión absoluta. Cuando todo el aceite ha sido tratado y se comienza a recircular, la presión absoluta llegará al nivel mínimo, señal de que el aceite estará desgasificado.

Por experiencia, se tiene como regla general dar solo 3 ciclos de acondicionamiento al aceite aislante; en cambio se ha detectado que con más de 5 ciclos, el aceite se degrada, cambiando su color de translúcido a amarillo, aumentando el factor de potencia, los valores de estabilidad a la oxidación y disminuyendo su vida útil.

Los valores obtenidos desde el almacenamiento del aceite hasta el llenado definitivo del autotransformador, fueron los que en la página siguiente se enlistan:

Los ciclos de acondicionamiento del aceite, se lograron con el siguiente orden:

Ciclo 1: BOLSA PILOT-DESGASIFICADORA-AUTOTRANSFORMADOR

Ciclo 2: AUTOTRANSFORMADOR-DESGASIFICADORA-BOLSA PILOT

Ciclo 3: BOLSA PILOT-DESGASIFICADORA-AUTOTRANSFORMADOR.

El aceite se introdujo por la válvula No. 21, Fig. 1.20, con un vacío de 140 micrones como promedio en el primer ciclo, 75 micrones en el segundo y 40 micrones en el tercero y último ciclo, cumpliendo con esto el requisito mínimo para el desgasificado y deshidratado del líquido aislante.

Cabe recordar que los equipos de protección buchholz Rs 2001,

RESULTADOS DE PRUEBA AL ACEITE EN SU PROCESO DE ACORDICIONAMIENTO

PRUEBA	EN TAMBOR (SUCIEDO)	ANTES DE TRATAMIENTO	DESPUES DEL 1er. CICLO	DESPUES DEL 2o. CICLO	DESPUES DEL 3er. CICLO	FINA. EN EL AUTOTRANSF.
ASPECTO VISUAL.	limpio y transparente	limpio y transparente	limpio y transparente	limpio y transparente	limpio y transparente	limpio y transparente
CANTIDAD DE AGUA (PARTES POR MILLON)	-	45	25	10	7,0	6,0
TENSION DE RUPTURA O RIGIDEZ DIELECTRICA (KV)	36	36	38	42	46	46
FACTOR DE PONDERA (%)	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
RESISTIVIDAD EN (OHMS)	-	40 000	55 000	88 000	125 000	125 000
GASES TOTALES (%)	-	9,5	4,0	1,0	0,6	0,5

así como los demás equipos flotadores y de medición, no están instalados aún en el transformador, debiendo tomarse para esto las precauciones debidas. Se colocaron tuberías provisionales en el lugar de estos (Buchholz y RS-2001).

También recordemos que existe una tubería de By-Pass entre el tanque principal y la cuba del cambiador, por la cual se llenó, sin necesidad de cambiar la manguera de alimentación. En caso de que se retirara el By-Pass, puede ser llenada la cuba del cambiador de derivaciones por su válvula de llenado.

Antes de finalizar el tercer ciclo, llenada la cuba principal del transformador y el cambiador de derivaciones, hay que detener el proceso para quitar el By-Pass, colocar el buchholz, el relevador RS-2001 y el nivel de aceite, buscando que el día sea propicio.

Procedimos a quitar el By-Pass, colocando los tapones correspondientes, desatornillamos las tuberías provisionales y ensamblamos en sus respectivos lugares muy cuidadosamente el Buchholz, RS-2001 y el medidor de nivel del líquido.

Volvimos a abrir válvulas y antes de continuar con el proceso, se recomienda inyectar unas cuantas libras de nitrógeno para detectar posibles fugas en los lugares que trabajamos para cubrir los detalles mencionados en los párrafos anteriores.

En la detección de fugas, apareció una pequeña en la tapa frontal del tanque conservador, que de inmediato se eliminó, reapretando la tornillería.

Realizado lo anterior, continuamos el proceso de llenado definitivo.

Llenado el transformador posterior al tercer ciclo, se hizo el análisis exhaustivo de las pruebas o ensayos, para estar plenamente seguros de que el estado del aceite era el óptimo para

su entrada en operación.

El nivel del aceite se dejó por encima del especificado, esto es, sobre la marca de lleno a 25°C, hay que tomar en cuenta que, si la temperatura es mayor que la de referencia (25°C), el nivel debe ser casi el máximo, pero si la temperatura es mucho menor que la referida, bastará con dejar el nivel con la marca de 25°C.

Esta cantidad sobrada de aceite, es con el fin de que exista el líquido aislante para las pruebas, purgas y en el último de los casos, cuando tengamos al final de estas actividades una temperatura cercana a los 25°C, poder sacar el aceite excedente a la marca de lleno.

Es obvio entonces, que llenamos un poco más de lo debido el autotransformador, porque también es más sencillo sacar el líquido sobrante que tener que añadir al volumen, el faltante y tener que volver a probar, purgar, etc.

Lleno el transformador inyectamos unos 3 o 4 libras por pulgada cuadrada de nitrógeno para evitar entrada de humedad.

Mediante el análisis de los resultados de prueba el aceite aislante en su proceso de acondicionamiento y llenado final, nos damos cuenta de que realmente se cumplieron con todas las especificaciones impuestas en las pruebas de campo.

Se nota una ostensible mejoría en cuanto al contenido de agua, rigidez dieléctrica, resistividad y en el porcentaje de gases totales contenidos, guardando los otros ensayos cifras o resultados excelentes, aún sin variaciones considerables.

Esta es la base que nos permite dar por concluida esta parte del proceso, acondicionamiento del aceite y llenado definitivo del autotransformador, restándonos tan sólo, unos pequeños detalles por afinar, así como las pruebas finales.

IV.- PUESTA EN SERVICIO.

- 1.- PRUEBAS DE CAMPO FINALES AL AUTOTRANSFORMADOR.**
- 2.- PRUEBAS Y AJUSTES FINALES AL EQUIPO ACCESORIO.**
- 3.- ARREGIOS FINALES.**
- 4.- PUESTA EN OPERACION.**

CAPITULO IV. PUESTA EN SERVICIO.

Nos resta, como lo expresamos en la terminación del capítulo anterior, afinar algunos detalles y sobre todo, uno de los aspectos más importantes para la puesta en servicio del autotransformador de potencia y de cualquier equipo transformador, las pruebas finales de campo.

El éxito de estos ensayos definitivos estriba en el cuidado con que se realicen, la calibración y buen estado del equipo, la exactitud de las lecturas y cálculos y muy especialmente el análisis correcto de los resultados.

Es en esta parte del proceso de puesta en servicio del equipo, es donde se decide, define y se estima la vida útil y las cualidades operativas del mismo, de acuerdo con los datos finales de los ensayos.

Es aquí donde nos podemos encontrar con la severa dificultad de aprobar o reprobado todo un gran procedimiento y es donde el Ingeniero de campo debe afrontar y resolver tal responsabilidad, con acierto.

1.- PRUEBAS DE CAMPO FINALES AL AUTOTRANSFORMADOR.

Como mencionábamos, son ensayos definitivos y determinantes, que dependiendo de su manejo, obtención y análisis, nos indica con gran certeza el estado del equipo para su inminente entrada en operación.

Los bushings o boquillas, los consideramos para fines prácticos, como parte del autotransformador y no como equipo auxiliar o accesorio, como es generalmente considerado, para una mejor interpretación y manejo de los resultados de prueba.

Las pruebas de campo que realiza comúnmente la Comisión Federal

de Electricidad y que se tienen como norma en operación son:

- A.- FACTOR DE POTENCIA A DEVANADOS Y BOQUILLAS.
- B.- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A DEVANADOS Y BOQUILLAS.
- C.- RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD DE DEVANADOS.
- D.- CORRIENTE DE EXCITACION.
- E.- RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.
- F.- IMPEDANCIA DE DEVANADOS.

Estas pruebas serán el inicio del historial de vida en operación del transformador, el punto de comparación y partida de las pruebas de mantenimiento predictivo y preventivo, de allí la gran necesidad de que sean realizadas y analizadas, por personal de experiencia.

Es además de gran utilidad la comparación de los resultados definitivos, con los obtenidos antes del secado y tener la certeza del éxito o fracaso en el secado y llenado con aceite.

Algunas pruebas ya fueron ampliamente definidas y explicadas, (A, B, C y D), para cualquier aclaración, pueden ser consultadas en el Capítulo II de este trabajo, todas las precauciones, referencias, etc. son más que nunca válidas en todos los ensayos.

En este capítulo complementaremos la teoría de las pruebas que antes del secado no se realizaron, porque no tenían utilidad alguna en esa parte del procedimiento.

A.- FACTOR DE POTENCIA A DEVANADOS Y BOQUILLAS.

Hay que tomar en cuenta para la selección del factor de corrección, que en las pruebas previas al secado, el transformador no tenía sello de gas y en las pruebas finales ya tiene nitrógeno.

RESULTADOS Y ANALISIS DE LA PRUEBA DE FACTOR DE
 POTENCIA A DEVANADOS:

PRUEBA No.	MVA	MW	F.P. MEDIDO	F.P.A 20°C
1	10 200	48.0	0.47	0.35
2	6 900	38.5	0.55	0.42
3	14 600	62.0	0.42	0.32
4	11 200	53.0	0.47	0.35
5	3 350	9.0	0.27	0.20
6	3 300	9.3	0.28	0.21
1-2	3 300	9.5	0.29	0.22
3-4	3 400	9.0	0.26	0.20

Temperatura del transformador = 32°C
 Temperatura ambiente = 29°C
 Factor de Corrección = 0.76

Se hizo uso en primera instancia para elegir el factor de corrección, la columna de transformadores en aceite con respiración libre o tipo conservador, aún cuando el aceite no existía en el interior del autotransformador y para estos ensayos finales, la columna de transformadores en aceite con sello de gas.

Los resultados ahora son evidentemente satisfactorios si los comparamos con los que obtuvimos en las pruebas preliminares, (Sección II.2A) y de acuerdo al criterio de evaluación de las mismas, que podemos resumirlo a un valor no mayor al 0.5% de Factor de Potencia a 20°C para todos los ensayos.

RESULTADOS Y ANALISIS DE LA PRUEBA DE FACTOR
DE POTENCIA A BOQUILLAS.

PRUEBA No.	BUSHING.	KV PRUEBA	MVA	M ²	F.P. Z MEDIO	CAPACITANZIA EN: PICOFARADIOS
3	H ₁	2.5	6900	35.50	0.51	
4	H ₁	2.5	60	0.10	0.16	
5	H ₁	2.5	587	2.90	0.49	289,475
6	H ₁	0.5	5755	40.75	0.71	97,835
3	X ₁	2.5	6610	43.55	0.64	
4	X ₁	2.5	67	0.08	0.12	
5	X ₁	2.5	548	2.06	0.37	232,900
6	X ₁	0.5	4700	32.15	0.68	79,900
3	Y ₁	2.5	11400	47.25	0.41	
4	Y ₁	2.5	55	0.12	0.22	
3	Y ₂	2.5	11700	50.80	0.43	
4	Y ₂	2.5	55	0.19	0.34	
3	Yofo	2.5	6850	38.65	0.51	
4	Yofo	2.5	48	0.11	0.23	

Comparemos los resultados con los preliminares (Secc. 11. 2.A), ya desde enter habiamos concluido las excelentes condiciones de los bushings, confirmando con la prueba final que conservaron sus buenas caracteristicas y no sufrieron alteracion alguna durante el acondicionamiento del transformador.

B.- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A DEVANADOS Y BOQUILLAS.

RESULTADOS Y ANALISIS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA
DE AISLAMIENTO A DEVANADOS

TIEMPO (MINUTOS)	PRUEBA No. 1	PRUEBA No. 2	PRUEBA No. 3	PRUEBA No. 4
1/4	1250	550	480	1200
1/2	1800	650	720	1800
3/4	2600	700	1050	2400
1	3500	800	1250	3000
2	6900	880	2100	5100
3	9500	960	2200	6500
4	12000	1000	2800	7500
5	13000	1050	3300	8500
6	14000	1080	3600	9000
7	14500	1100	3800	10000
8	15000	1150	4000	10500
9	16000	1160	4100	11600
10	16000	1180	4200	13100

MIDE	R _{xy}	R _{yx}	R _y	R _{xyy}
MEGAOHMS A 1 MIN. A 20°C	36400	7178	12125	37500
INDICE DE ABSORCION	1.94	1.23	1.73	1.66
INDICE DE POLARIZACION	4.57	1.475	3.36	3.66

Temp. de Devanados - Factor de Corrección

En Prueba 1 =	32	2.08 X 5
En Prueba 2 =	31	1.94 X 5
En Prueba 3 =	31	1.94 X 5
En Prueba 4 =	35	2.50 X 5

RESULTADOS Y ANALISIS DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA
DE AISLAMIENTO A BOQUILLAS

PRUEBA Nº	BUSHING	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN MEGAOHMS A 20°C
3	H ₁	4 250
5	H ₁	250 000
6	H ₁	38 000
3	X ₁	3 975
5	X ₁	250 000
6	X ₁	28 000
3	Hoxo	4 000
4	Hoxo	250 000
3	Y ₁	9 000
4	Y ₁	250 000
3	Y ₂	11 000
4	Y ₁	250 000

Comparando los valores de resistencia de aislamiento obtenidos en estas pruebas finales, observamos que disminuyeron considerablemente en términos generales, situación que en las pruebas preliminares ya habíamos previsto (falta del accesorio aislante) y que no reviste situación anormal alguna.

Por el contrario si los comparamos por las pendientes de sus curvas, es decir, por sus índices, principalmente el de polarización, es claro que muestra una mejoría sustancial debido a la extracción de agua principalmente.

Es claro conforme a las bases de análisis, que para esta prueba planteamos en la Sección II.2.B. de este trabajo, que se cumplen con los requerimientos y en sobremanera los resultados de prueba se antojan excelentes.

Para el caso de los bushings el secado casi no influyó, aunque mejoraron los valores más bajos un poco. Se comprueba con los ensayos finales que ningún elemento aislante, que se evidenció en las mediciones, resultó dañado o afectado negativamente.

Por lo tanto, podemos afirmar que tanto los Bushings, como los aislamientos internos del autotransformador, están en condiciones de entrar en operación.

C.- PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD A DEVANADOS.

RESULTADOS Y ANALISIS:

PRUEBA 1			
TAP	RELACION MEDIDA	RELACION TEORICA	DESVIACION
10L	2.198	2.200	0.09 %
9L	2.179	2.180	0.05 %
8L	2.158	2.160	0.09 %
7L	2.138	2.140	0.09 %
6L	2.117	2.120	0.14 %
5L	2.097	2.100	0.14 %
4L	2.078	2.080	0.10 %
3L	2.058	2.060	0.10 %
2L	2.037	2.040	0.15 %
1L	2.017	2.020	0.15 %
HL	1.997	2.000	0.15 %
H	1.997	2.000	0.15 %
HK	1.997	2.000	0.15 %
1R	1.978	1.980	0.10 %
2R	1.959	1.960	0.05 %
3R	1.939	1.940	0.05 %
4R	1.918	1.920	0.10 %
5R	1.899	1.900	0.05 %
6R	1.879	1.880	0.05 %
7R	1.859	1.860	0.05 %
8R	1.840	1.840	0.00 %
9R	1.820	1.820	0.00 %
10R	1.800	1.800	0. %

Después de realizar cuidadosamente esta prueba, llevando paso a paso a efecto de las instrucciones que para este caso se mencionaron en el capítulo II.2.C, solo nos queda analizar los presentes, de lo que obtenemos la siguiente conclusión: Se observa una mejoría en las relaciones de transformación, sobre todo en los primeros taps, aunque el procedimiento de secado en esto no conlleva influencia alguna, tan solo comprobamos que no sufrió daño ni el devanado, ni el cambiador de derivaciones.

Es de notarse que en ningún caso tenemos desviaciones mayores a las permitidas ($\pm 0.5\%$), antes al contrario, todas quedan muy por debajo de tal límite.

La polaridad también se certificó, aunque de antemano se tenía revisada. La prueba 2 que verifica la relación de transformación entre el devanado de alta tensión y Baja (R.T._{II}), resultó con evidencias similares a la prueba antes del secado, por lo que creemos innecesario el dar las mediciones, al igual que la prueba 3 (R.T._{III}), también antes del secado.

D.- PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION:

RESULTADOS Y ANALISIS

PRUEBA Nº	TAP	D I R E C T A		C R U Z A D A		DESVIACION: Z
		MVA	Iexc. MA	MVA	Iexc. MA	
1	10L	45500	18.2	45750	18.3	0.55
2	9L	46700	18.7	46750	18.7	0.11
3	8L	47500	19.0	47750	19.1	0.52
4	7L	48250	19.2	48500	19.4	0.52
5	6L	49000	19.6	49250	19.7	0.51
6	5L	49500	19.8	50000	20.0	1.00
7	4L	50500	20.2	51000	20.4	0.98
8	3L	51250	20.5	52750	20.7	0.97
9	2L	52250	20.9	52500	21.0	0.48
10	1L	53000	21.2	53300	21.3	0.56
11	HL	54000	21.6	54500	21.8	0.92
12	H	54000	21.6	54500	21.6	0.92
13	HR	54000	21.6	54500	21.8	0.92
14	1R	55000	22.0	55500	22.2	0.90
15	2R	56000	22.4	56500	22.6	0.89
16	3R	57250	22.5	57750	23.1	0.87
17	4R	58500	23.4	58750	23.5	0.43
18	5R	59500	23.8	59750	23.9	0.42
19	6R	61000	24.4	60750	24.3	-0.41
20	7R	62000	24.8	62000	24.8	0.00
21	8R	63500	25.4	63125	25.3	-0.59
22	9R	64750	25.9	64250	25.7	-0.76
23	10R	66000	26.4	65750	26.3	-0.38

Si los resultados siguientes no son iguales a los arrojados por la prueba realizada antes del secado, esto se debe a que al efectuar cualquier ensayo de esta naturaleza, ingresamos en algún punto de la curva de histéresis sin poder precisar cual nos tocará, pero se puede apreciar: que los valores no son distantes antes y después del secado, que las desviaciones entre la prueba directa y cruzada no rebasa el $\pm 2\%$ puesto como límite y por último puede comprobarse que el crecimiento de los valores es escalonado, no existen picos exagerados ni cruzamiento de valores, por lo que este ensayo es claramente aprobado por el autotransformador.

E.- RESISTENCIA ÓMICA A DEVANADOS.

OBJETIVO DE LA PRUEBA:

El objetivo principal de este ensayo es el de evaluar las pérdidas por efecto de Joule, esto es, los valores de I^2R , como un auxilio para la detección de falsos contactos ó puntos de alta resistencia en soldadura y conexiones, que a su vez producen puntos calientes.

El determinar este parámetro nos permite aproximar la cantidad de calor que se requiere disipar al régimen de trabajo, en el interior del Transformador.

TEORIA GENERAL DE LA PRUEBA:

La resistencia (R), es la propiedad escalar de un Circuito eléctrico que viene a determinar la proporción de la energía eléctrica que es convertida en calor y cuyo valor multiplicado por el cuadrado de la corriente, es lo que denominamos coeficiente de conversión de la energía.

La relación física por la que puede ser calculada la resistencia eléctrica de un material cuya sección transversal es uniforme es:

$$R = \rho \frac{L}{A}, \text{ Donde: } R = \text{Resistencia en ohms.}$$

ρ = Resistividad específica del material en ohms-cm.

L = Longitud en cm.

A = Área de la sección transversal en cm^2

Es esencial para la prueba, el que la temperatura de los devanados se mida con la mayor precisión, también, es conveniente referir todas las lecturas a temperatura ambiente, a una temperatura base para su comparación y poder establecer las estadísticas adecuadas y llevar eficientemente el historial ó expediente de un equipo.

EQUIPO DE PRUEBA:

Puesto que la resistencia de un circuito es la razón de la diferencia de potencial aplicado en sus terminales y la cantidad de corriente resultante, el método más rudimentario y común para medirla, es conectando las terminales del citado circuito a un generador de voltaje (fem), como una batería, midiendo el voltaje y corriente resultantes por medio de un voltmetro y un amperímetro de precisión adecuada.

Al emplear este procedimiento, se debe poner especial cuidado en las limitaciones de voltaje de la resistencia a medir, porque si se hacen circular por el circuito en prueba elevadas cantidades de corriente, causará calentamiento, que como veremos más adelante hace aumentar los valores de resistencia, además, una tensión alta puede causar falla en el aislamiento.

Existen en el mercado para la realización de mediciones de resistencia óhmica, equipos de prueba especialmente diseñados para tal fin, como lo son los puentes de Wheatstone, Kelvin y el llamado Ducter, cuya aplicación no representa mayor problema, ya que básicamente son óhmetros comunes y corrientes en cuanto a su manera de conectar.

El puente de Wheatstone puede medir valores del orden promedio de 1 ohm a 11.11 megohms, mientras que el puente de Kelvin, de 0.1 microhms a 111 ohms. Para el uso de estos equipos se debe poner especial cuidado en el estado de sus baterías, para realizar ensayos consistentes.

TECNICA DE APLICACION DE LA PRUEBA:

Como las resistencias a medir, conforme a los datos del fabricante son menores a 1 ohms, el puente de Wheatstone en este caso no es útil. Por falta de puente Kelvin y Ducter, cuyo uso es muy sencillo, para la realización de este ensayo utilizaremos el método más rudimentario, por ser incluso el principio de acción de cualquier aparato.

Para ello, alimentaremos con una fuente de C.D. el devanado bajo prueba, conservando en circuito abierto los otros dos arrollamientos, midiendo con un instrumento de precisión la corriente circulante y el voltaje aplicado, recordando que debemos esperar al efectuar las mediciones, el tiempo suficiente para que se estabilicen las lecturas.

Como la resistencia de un conductor aumenta con la temperatura, a excepción de la resistencia del carbón y la de los electrolitos que disminuye, en condiciones normales para una variación de temperatura de unos 100 °C, la resistencia a la temperatura t_2 viene dada por:

$$R_{t_2} = R_{t_1} \left[1 + \alpha_1 (t_2 - t_1) \right]$$

Donde: R_{t_1} = Resistencia a la temperatura inicial t_1 .

R_{t_2} = Resistencia a la temperatura final t_2 .

α_1 = Coeficiente de temperatura de la resistencia del material para la temperatura t_1 .

Para el cobre de conductividad 100%

$$\alpha_1 = \frac{1}{234.4 + t_1}$$

Para $\alpha_1 = 20$ °C, $t_1 = 0.00393$, para fines estadísticos y como una medida patrón para subsecuentes mediciones, esta será nuestra temperatura base, aunque en su comportamiento real el autotransformador tiene una temperatura de trabajo que oscila entre 55°C y 75°C a plena carga, por lo cual también sugerimos analizar el valor de resistencia requerido a 75°C .

$$R_{t_1} = \frac{R_{t_2}}{1 + 0.00393 (t_2 - 20 \text{ °C})} \quad (\text{Cuando } t_1 = 20 \text{ °C}).$$

$$R_{t_1} = \frac{R_{t_2}}{1 + 0.003232 (t_2 - 75 \text{ } ^\circ\text{C})} \quad (\text{Cuando } t_1 = 75^\circ\text{C})$$

Hay que considerar que la resistencia óhmica a la corriente alterna es mayor que para la corriente directa, solo que con el flujo alterno no podríamos evitar la influencia de la Capacitancia y la inductancia y del efecto pelicular ó piel, por tanto debe tomarse el presente procedimiento como un método aproximado. el cual con el uso adecuado de factores de corrección se puede calcular con un poco de más precisión la resistencia a la corriente alterna.

El pretender conocer la resistencia a la C.A; nos permitiría - acercarnos un poco más a la realidad, pero sería tornar más complejo el procedimiento, que alejaría la posibilidad de hacerlos y analizarlos en el campo, por tanto consideramos suficiente, el utilizar la resistencia medida (c.d.) como una buena referencia comparativa para futuros ensayos.

Se deberá tener especial atención que la corriente empleada en la medición no debe exceder el 15% del valor nominal del devanado, ya que valores mayores pueden arrojar resultados inexactos por calentamiento del devanado.

PRECAUCIONES GENERALES PARA LA PRUEBA:

Las precauciones para el trato del equipo, tanto para su traslado como la posibilidad de aplicarle a equipos energizados, nunca estarán de más en recalcarlos: ya que aún cuando son equipo para trabajo de campo requieren cuidados y trato delicado.

Deberá de apegarse estrictamente el personal de campo al procedimiento general para las pruebas, Capítulo II.2, tomando adicionalmente para el particular las siguientes:

- Desconectar todas las terminales de los boquillas, de la línea
- Conectar las terminales del probador a las del equipo bajo prueba, previo limpieza de ellas, asegurando buen contacto.

- Desconectar los neutros de tierra.
- A menos que se conozca aproximadamente el valor de la resistencia a probar, se deberán usar las máximas escalas, bajando gradualmente hasta obtener la lectura más precisa.
- Debe dejarse transcurrir un cierto tiempo, antes de hacer las lecturas, con el objetivo de que la tensión y la corriente alcancen sus valores de estado permanente. (Generalmente un minuto).
- Medir la resistencia de cada devanado.

CONEXIONES PARA LA PRUEBA:

PRUEBA Nº	CONEXIONES		MIDE	VOLTAJE APLICADO
	+	-		
1	H_1	HoXo	R_H (OA)	12 VOLTS
2	X_1	HoXo	R_x (OA)	2.1 VOLTS
3	Y_1	Y_2	R_y (OA)	2.1 VOLTS

La prueba Nº 1 deberá realizarse en cada uno de los taps; puesto que el cambiador de derivaciones está en el lado de alta tensión, (entre H_1 y X_1), en los otros 2 ensayos se hará una sola prueba ya que no influye la posición del cambiador de taps.

TAP Nº	P R U E B A		R	R
	I _p (Amp)	R _p	(20 °C)	(75 °C)
10L	18.0	0.6667	0.6911	0.8452
9L	18.3	0.6557	0.6798	0.8313
8L	18.5	0.6486	0.6724	0.8222
7L	18.7	0.6417	0.6652	0.8135
6L	18.8	0.6383	0.6617	0.8092
5L	19.0	0.6316	0.6547	0.8007
4L	19.4	0.6186	0.6412	0.7842
3L	19.6	0.6122	0.6347	0.7762
2L	20.0	0.6000	0.6220	0.7606
1L	20.3	0.5911	0.6128	0.7484
HL	20.5	0.5854	0.6066	0.7421
H	20.5	0.5854	0.6066	0.7421
HR	20.5	0.5854	0.6066	0.7421
1R	20.4	0.5882	0.6098	0.7457
2R	20.0	0.6000	0.6220	0.7606
3R	19.7	0.6091	0.6315	0.7722
4R	19.4	0.6186	0.6412	0.7842
5R	19.2	0.6250	0.6479	0.7923
6R	18.9	0.6349	0.6582	0.8049
7R	18.7	0.6417	0.6652	0.8135
8R	18.4	0.6522	0.6761	0.8266
9R	18.2	0.6593	0.6835	0.8359
10R	17.9	0.6704	0.6950	0.8499

Prueba realizada a 11 °C (I_p, R_p) y con 12 V.C.D. medimos la Resistencia eléctrica (C.D.) del Devanado de alta tensión (H1 - Hojo).

PRUEBA Nº	I _p (Amp)	TEMP.	R _p	R (20°C)	R (75°C)	MIDE
2	7.4	14	0.2836	0.2906	0.3553	F c.d. (X1-Hojo)
3	17.5	18	0.1200	0.1210	0.1478	R c.d. (Y1-Y2)

Para el análisis de estos datos, nos ubicamos en las copias de las pruebas que entrega el fabricante junto con el equipo y cuyos resultados enunciamos:

$$R (H_1 - H_0 \bar{X}_0) = 0.70 \text{ en la posición mayor}$$

$$R (X_1 - H_0 \bar{X}_0) = 0.30$$

$$R (Y_1 - Y_2) = 0.13$$

Todos los resultados están referidos a 20 °C.

Los resultados son prácticamente iguales, lo cual es indicativo de que no sufrió daño alguno de la fábrica a la inminente puesta en servicio, previo paso por el proceso de secado. Pero no solo esto nos debe importar, debemos vigilar que el decremento del valor de resistencia óhmica de la posición - donde se mide el devanado completo a la posición normal, sea casi uniforme, sin sobresaltos ni cruces de valores; lo mismo, al pasar por el valor nominal y comenzar a invertir el devanado que funciona para la regulación por taps, el valor deberá crecer a valores similares a los medidos primeramente.

Así podemos comprobar que la resistencia en la posición 10L es significativamente igual a la medida en la posición 10R: esto se debe a que se mide la misma cantidad de vueltas, solo que la posición que está conectada al cambiador de derivaciones queda invertida en la posición L con respecto a su símil R, aunque la longitud y características del conductor son - iguales. Las diferencias entre son poco significativas.

Por último y como base para este y los subsiguientes estudios, cualquier desvío del 5% con relación a las lecturas iniciales deberá ser sujeto de estudio; por lo pronto esto no ocurre, lo que nos permite afirmar que el autotransformador cumple con este ensayo.

F.- IMPEDANCIA A DEVANADOS:

OBJETIVO DE LA PRUEBA:

La prueba de impedancia de devanados que se practica, es válida sólo para equipo transformador y de instrumento, de la clase correspondiente a equipo eléctrico primario de potencia. Para otra clase de transformador pierde su validez, por que se tendrían que tomar diversos fenómenos y parámetros que para el fin que perseguimos son despreciados.

Estamos despreciando en esta prueba los siguientes conceptos:

- Pérdidas en cobre por corriente de excitación.
- Pérdidas en Núcleo por corriente de excitación.
- Desafiamiento entre Corto Circuito y Circuito Abierto.
- La no linealidad magnética.
- Capacitancias distribuidas.

El objeto de esta prueba es facilitar el descubrimiento de fallas en equipo antes de su puesta en operación, o también durante su vida útil, con el fin de evitar daños mayores - principalmente.

Se propone con ella determinar la impedancia de Cortocircuito (Z_{cc}) que es muy parecida a la impedancia de plena carga o equivalente Z_{eq} , a partir de un método sencillo y fácil de aplicar en el campo.

APLICACION DE LA PRUEBA:

El método de prueba se reduce a poner en corto circuito el o los devanados de bajo Voltaje, aplicando en él o los devanados de alto Voltaje un potencial bajo, midiendo y anotando los Valores de Voltaje de alimentación y la corriente que toma el autotransformador, en nuestro caso, bajo prueba.

Hechas las mediciones correspondientes, se calcula la que denominaremos impedancia de prueba Z_p , solo en el tap nominal, ya que solo existe en la placa de características la impedancia del tap central, de la siguiente manera:

$$Z \text{ prueba} = \frac{\text{Voltaje de prueba}}{\text{Corriente de prueba}}, \quad Z_p = \frac{V_p}{I_p}$$

Posterior a ello, para convertirla a valor porcentual, la dividimos entre la impedancia base, la cual es:

$$Z \text{ base} = \frac{(\text{VOLTAJE BASE})^2}{\text{POTENCIA TOTAL BASE}}, \quad Z_b = \frac{(V_b)^2}{S_b}$$

Datos que obtendremos también en la placa de características y a los cuales están referidas las impedancias de fábrica y son:

IMPEDANCIA A 75 °C

PRUEBA Nº	Z	% Z	KVA BASE	VOLTS BASE
1	HX	5.00	33 333	230 000/V3
2	HY	9.90	10 000	230 000/V3
3	XY	6.27	10 000	115 000/V3

Por tanto: $Z_{HX} \text{ BASE} = 529.00$
 $Z_{HY} \text{ BASE} = 1\ 763.33$
 $Z_{XY} \text{ BASE} = 440.83$

Para calcular el % de impedancia de prueba:

$$Z_p = \frac{Z \text{ prueba}}{Z \text{ base}} \times 100\%, \quad Z_p\% = \frac{Z_p}{Z_b} = X \times 100$$

Deberán aplicarse todas las medidas generales para la aplicación de pruebas, descritas ampliamente en el Capítulo II.2, desconectando en este caso todas las terminales del autotransformador, incluyendo el Neutro. El tanque seguirá firmemente aterrizado.

CONEXIONES PARA LA PRUEBA:

Los circuitos de prueba son los siguientes:

TAPS	DEVANADO EXCITADO	DEVANADO EN CORTO	IMPEDANCIA CALCULADA
TODOS	$H_1 - H_0X_0$	$X_1 - H_0X_0$	Z_{HX}
TODOS	$H_1 - H_0X_0$	$Y_1 - Y_2$	Z_{HY}
NOM.	$X_1 - H_0X_0$	$Y_1 - Y_2$	Z_{XY}

* TAP. NOMINAL..

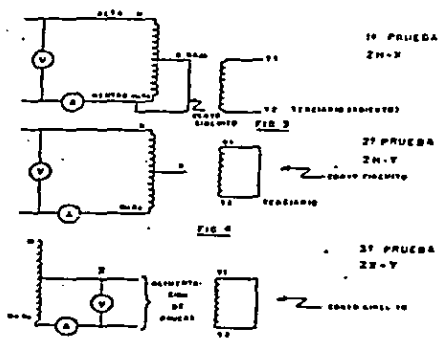


FIG. 1. CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE IMPEDANCIA.

TAP. Nº	PRUEBA 1		PRUEBA 2	
	Ip	Zp	Ip	Zp
10L	7.70	28.57	1.10	204.55
9L	7.79	26.24	1.12	200.89
8L	7.87	27.95	1.14	197.37
7L	7.93	27.74	1.15	195.65
6L	8.05	27.33	1.18	190.68
5L	8.80	27.16	1.20	187.50
4L	8.18	26.89	1.22	184.43
3L	8.25	26.67	1.25	180.00
2L	8.35	26.34	1.29	177.16
1L	8.42	26.12	1.29	174.42
HL	8.50	25.68	1.32	170.45
H	8.52	25.88	1.32	170.45
HR	8.50	25.88	1.32	170.45
1R	8.45	26.03	1.29	174.42
2R	8.36	26.31	1.27	177.16
3R	8.28	26.57	1.26	178.57
4R	8.20	26.83	1.24	181.45
5R	8.15	26.99	1.21	185.95
6R	8.05	27.33	1.19	189.06
7R	7.95	27.67	1.16	193.97
8R	7.90	27.64	1.14	197.37
9R	7.83	28.10	1.11	202.70
10R	7.75	28.38	1.08	208.33
VOLTS PRUEBA	220 V.C.A.		220 V.C.A.	
TEMP. PROVL.	34 °C		38 °C	

PRUEBA 3: 230, Ip = 6.3 A por tanto Zp = 36.51 a 36 °C

Las bases para el análisis los resultados de prueba son las siguientes:

- Comparación de los valores de \bar{Z} de impedancia calculados con las mediciones de prueba en el tap nominal, (pruebas 1 y 2) y de la prueba 3, con los datos de placa.
- El incremento o decremento, según el caso, de los valores de impedancia, detectando posibles repeticiones de valores o sobresaltos en mediciones consecutivas. Esto es más evidente si tomamos en cuenta que el devanado primario tiene inversor.
- Diferencias nunca mayores al 10% entre los valores de prueba y placa a la temperatura a la que hayan sido realizadas. Este porcentaje ya contempla inexactitudes en la medición de temperaturas internas, diferencias de temperatura, etc.

Conforme a lo que obtuvimos en pruebas llegamos a las siguientes conclusiones:

- Cálculo del \bar{Z} de impedancia en tap nominal.

$$Z_{HX} = \frac{25.88}{529.0} \times 100 = 4.89\% \text{ a } 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Z_{HX} = \frac{170.45}{1763.33} \times 100 = 9.67\% \text{ a } 38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Z_{XY} = \frac{36.51}{440.83} \times 100 = 8.28\% \text{ a } 36 \text{ }^\circ\text{C}$$

Estos valores aunque no están referidos a 75 °C, son muy valiosos para ser comparados con los valores de placa. Mientras se cumplan con las bases para el análisis, podemos afirmar que no existen espiras en corto circuito o abiertas, puntos

irregulares de contacto y habremos constatado que la impedancia del transformador tiene valores aceptables para la coordinación de nuestros esquemas de protecciones, pudiendo calcular los valores correspondientes a posibles contingencias.

OTRAS PRUEBAS:

Después del autotransformador ha pasado satisfactoriamente las pruebas de campo eléctrico, conviene no olvidar realizar los ensayos finales a los transformadores de corriente tipo bushing, estos deberán ser ejecutados para comprobar la relación definitiva a la que trabajarán.

El Departamento de Protecciones, posterior al análisis de la carga estimada y al corto circuito esperado, determinó las siguientes relaciones de transformación a los TC's; se indican también los resultados de las pruebas de relación y polaridad, las que deberán compararse a las realizadas antes del secado.

TC N°	RUSHING	RELACION DE TRAB.	CORREX.	RELACIONES		± DESVIA CION.	POLARI- DAD.
				TEORICA	REAL		
1	H ₁	300/5	X ₂ -X ₂	60	61.4	2.33	CORRECTA
2	X ₁	600/5	X ₁ -X ₅	120	122.2	1.83	CORRECTA
3	X ₁	600/5	X ₁ -X ₅	120	123.0	2.50	CORRECTA
4	X ₂ b	300/5	X ₂ -X ₂	60	62.6	4.33	CORRECTA
	X ₂ b	525/5	X ₁ -X ₅	105	107.7	2.57	CORRECTA
5	X ₂ b	300/5	X ₂ -X ₂	60	62.0	3.33	CORRECTA
6	Y ₁	3000/5	X ₃ -X ₅	600	612.6	2.10	CORRECTA

Podemos apreciar que todas las relaciones cumplen con los parámetros límite que mencionamos en el capítulo II.2-E, por lo que aseguramos el correcto funcionamiento de los transformadores de corriente, en sus relaciones definitivas.

Nos resta tan solo los ajustes a todo el equipo accesorio y sus pruebas finales, lo que detallaremos en la siguiente parte de este capítulo.

2.- PRUEBAS Y AJUSTES FINALES AL EQUIPO ACCESORIO:

Aunque en el Capítulo I.4, en la parte Descriptiva del auto-transformador, se enunciaron algunas características del equipo accesorio del transformador, de los que en gran manera nos ocuparemos en esta parte de la preparación para la puesta en servicio. De todos y cada uno de los accesorios, a lo largo de este trabajo se han mencionado sus características y la función que desempeñan, ahora, tratando de ser lo más breve posible, comentaremos la manera de ajustarse, las pruebas a realizar y su montaje final.

Estos accesorios son los siguientes:

- A.- CAMBIADOR DE DERIVACIONES BAJO CARGA
- B.- EQUIPO DE NITROGENO INERTER
- C.- RELEVADOR BUCHHOLZ
- D.- RELEVADOR MECANICO DE SOBREPRESION
- E.- INDICADOR DE TEMPERATURA DE ACEITE
- F.- INDICADOR DE PUNTO MAS CALIENTE
- G.- INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE
- H.- GABINETE DE CONTROL

A.- CAMBIADOR DE TAPS BAJO CARGA: (Fig.I.21 a I.21-E).

Después de los ensayos finales en fábrica, en nuestro caso, el cambiador arribó a su destino final con el conmutador, (que lo compone el ruptor en carga y el selector), ya instalado en el equipo transformador, debidamente conectado en su

interior y al que solo le hacía falta para su puesta en operación, la sincronización entre el conmutador y el mando a motor por medio de la transmisión, actividades realizadas por el fabricante como parte de las observaciones realizadas en el capítulo II.1.B y II.1.C.

Esto no es más que acoplar la posición interior del selector y ruptor con el mando a motor, llevando cada uno a la misma posición ej. posición H, que interiormente es la conexión K y exteriormente H, por medio de la manivela del mando a motor, manualmente se lleva a la posición H de haber existido la falta de sincronismo, con la transmisión desconectada, al completar la operación se conecta la transmisión.

Como debe vigilarse la posición interior, es evidente que este procedimiento tiene que cumplirse en la revisión interna, tal y como se verificó en la sección II.1.C. Cada movimiento en las pruebas antes y después del secado y las pruebas mismas han comprobado la correcta operación del cambiador de taps, es por ello que siempre hay que vigilar que el indicador de taps existente en la parte superior del ruptor y el del mando a motor, señalen la misma posición.

ACCIONAMIENTO A MOTOR MA - 7.

De acuerdo con los datos del fabricante, el cambiador de tomas bajo carga MSI 301, requiere de un motor de 0.75 KW como mínimo y antes de aplicarle cualquier tensión se verificará que sea la adecuada a los datos de placa del mando en general (220 V.C.A. trifásica) revisando que el sentido de giro o secuencia de fases sea la correcta.

La cabina del mando a motor contiene todas las partes mecánicas y eléctricas necesarias para el mando del conmutador. El control sigue el principio de "paso a paso", esto es: para pasar el conmutador de una posición a otra adyacente, se inicia el movimiento del mando a motor con una sola orden y el cambio se realiza sin interrupción.

Para no sobrepasar las posiciones extremas se utilizan limitadores eléctricos y mecánicos. Además, elementos de control y seguridad facilitan el servicio.

Las características más importantes del mando a motor son:

- Desacoplamiento automático del reductor principal en las dos posiciones extremas.
- Control eléctrico: Funcionamiento paso a paso, la duración del funcionamiento está controlada por una leva que da una vuelta por conmutación. Mando por pulsadores. Bornes para mando a distancia por pulsadores o por regulador de voltaje.
- Dispositivos de seguridad: Con contactos eléctricos de fin de carrera. Interruptor de protección del motor con bobina de disparo que puede ser energizada a distancia (parada de emergencia). Arranque automático después de una caída momentánea de la tensión de control. Conexión de seguridad para evitar inversión de fases y paso intempestivo de posiciones. Interruptor de bloqueo que corta la alimentación del motor cuando se coloca la manivela.
- Dispositivos de control: Lámpara de señalización de disparo del interruptor de protección. Bornes para conexión de un dispositivo de control de marcha. Contador de operaciones de 6 cifras.
- Termostato para calefacción.

Sería muy largo enumerar la forma en que funciona cada elemento y la manera de probarse individualmente ya que sería resumir y adaptar gran parte del instructivo de operación, además de que esto sería necesario solo si alguna parte no

funciona correctamente. Hasta este momento no ha aparecido alguna deficiencia, pero bastará con algunas sencillas pruebas para confirmar lo más relevante y se resumen en lo siguiente:

- i).- Apretar el pulsador b₁ y mantenerlo pulsado durante buen rato, esto confirmará el control de marcha paso a paso; no deberá cambiar más de un tap aunque el botón siga obturado, a menos que sea saltado y vuelto a apretar. Al mismo tiempo se verifica que el contador de operaciones funcione adecuadamente que la transmisión no tenga obstrucciones, que el motor no se caliente en exceso, que no se sobre esfuerce. Esta operación se tiene que realizar tap por tap, local y desde el tablero de control. En cualquier momento y entre cualquier cambio puede quitarse súbitamente la alimentación y probar el arranque automático.
- ii).- Para certificar el control de desembargue, (la limitación mecánica en las posiciones extremas), se llevará el mando conforme al punto anterior hasta la penúltima posición, se insertará la manivela, instante en el cual se revisará que el interruptor de bloqueo haya cortado la alimentación al motor. Con la manivela pasar a la posición extrema, aquí se certifica que sean 33 vueltas exactamente entre taps; al llegar al último tap, siga guiando la manivela. 2 o 3 vueltas más adelante el reductor desembargará el eje de salida. Gire la manivela en sentido contrario y el eje volverá a engragar y se llegará a la penúltima posición.
- iii).- Realizar los 2 pasos anteriores en el otro sentido, eléctricamente con el pulsador b₂ y después de la penúltima posición, con la manivela.

iv).- Verificar el control de los interruptores de fin de carrera. (bloqueo eléctrico en las posiciones extremas); llevar el mando a una posición extrema, el motor no debe arrancar si se le dá una orden en un solo sentido, el motor arrancará solo si se le dá una orden en el sentido opuesto. Proceder de igual posición extrema.

v).- Hacer operar por medio de un contacto auxiliar el interruptor de protección del motor y revisar el paro de emergencia y vigilar que la lámpara de señalización encienda.

vi).- Dejar en funcionamiento la resistencia calefactora, revisando la correcta operación del termostato.

Generalmente el control de calidad de la Maschinenfabrik Reinhausen es elevado, es raro encontrar deficiencias en los mandos a motor, pero aún así el procedimiento anterior debe seguirse apegadamente y cualquier deficiencia revisarla en los instructivos, dando aviso al representante de fábrica.

En nuestro caso los detalles encontrados fueron minúsculas y casi todos fueron de alambrado en campo, los cuales creemos innecesario mencionarlo; en sí el mando a motor MA 7 no ofreció dificultad alguna.

DIAFRAGMA Y RELEVADOR RS2001:

El diafragma y el relevador RS2001 se revisaron exteriormente en el capítulo II.2.B, encontrándose en ese entonces físicamente bien.

Para revisar el diafragma basta con retirar la tapa que lo cubre, la cual está colocada a presión, esta membrana operará al existir una súbita alza en el diferencial de presión del interior de la cuba a la atmósfera mayor a 5 Bars. No deberá

tener grietas o estar reseco, si existen trazos de reseque-
dad llenarlo con una capa muy delgada de pasta de vulcanizar.
Si está agrietado deberá reemplazarse.

El relé de protección RS2001 protege al transformador y a su
regulador de posibles averías y debe ser conectado de tal
forma, que su funcionamiento provoque la desconexión inmedia-
ta del transformador. En su constitución física, su caja es-
tá moldeada de material ligero resistente a la corrosión y
es provista de 2 bridas para el acoplamiento de las tuberías,
por una parte con la cabeza del regulador y por la otra con
el tanque conservador de aceite.

Se puede certificar la posición de la clapeta gracias a la
mirilla situada sobre la cara delantera de la caja. En la ca-
ja de bornes están situados 2 botones pulsadores destinados,
uno a controlar el buen funcionamiento del aparato y otro a
su rearme; están protegidos en la caja por una membrana de
plástico transparente.

El órgano activo del relé comprende una clapeta provista de
un orificio y un imán permanente, este último asegura el fun-
cionamiento del contacto auxiliar y el mantenimiento de la
clapeta en posición "rearme". No es posible obtener una posi-
ción intermedia.

El funcionamiento del relé no puede ser provocado más que por
la circulación de un flujo de aceite desde la cabeza del re-
gulador hacia el conservador de aceite. Este flujo empuja so-
bre la clapeta y la hace bascular a la posición de desconexi-
ón; de esta forma se acciona el interruptor, se desconecta
el interruptor de potencia o disyuntor y pone al transforma-
dor fuera de servicio.

Las pruebas para la certificación final son muy sencillas:
Retirar la tapa de la caja de bornes y después apretar el

botón de desconexión, a través de la mirilla vigilar que la clapeta quede en posición oblicua, hecho esto, apretar el botón de rearme, certificar que la clapeta quede en posición vertical. Además de la vigilancia en la posición de la clapeta, es fundamental el operar los interruptores de potencia al realizar las pruebas finales al relevador, quedando también revisados por ende los correspondientes contactos ("a" en este caso), los cables de control y diferentes conexiones a tabillas.

Es importante al término de estas pruebas, colocar correctamente la tapa con su empaque, revisar que no exista posibilidad tanto en la caja de bornes como en los cables de salida, de entrada de humedad.

B.- EQUIPO DE NITROGENO INERTE. (FIG.1.26).

EL INERTER es el sistema para eliminar el oxígeno y la humedad que pueden ser aspirados dentro del transformador cuando en este se forma vacío al bajar la temperatura del aceite.

El equipo INERTER mantiene un colchón de gas interte dentro del tanque del transformador, evitando así la oxidación del aceite dieléctrico. Este equipo se recomienda usar en transformadores de 5 MVA en adelante así como en equipos similares llenos de aceite dieléctrico.

El nitrógeno utilizado proviene de un cilindro que inicialmente contiene 2000 PSI; de aquí pasa al equipo INERTE en el cual, por medio de un sistema de 3 reguladores, la presión es bajada a la que se desea mantener dentro del transformador (0.5 a 3 PSI dependiendo de las condiciones de operación del transformador).

En caso de que la presión dentro del transformador suba, debido a un aumento de temperatura del aceite, el equipo INERTER utiliza dos válvulas de alivio para liberar la presión dentro del transformador. La primera válvula abre al llegar la presión a 6.5PSI, y en caso de que la presión dentro del transformador siga subiendo, la segunda válvula de alivio abre entre 8 y 8.5 PSI.

Además de esto el equipo INERTER consta de un sistema de alarmas para mayor protección del transformador: La primera acciona cuando la presión del cilindro baja a 200 PSI, indicando así que solo queda un 10% del nitrógeno en la fuente de abastecimiento. La segunda alarma se acciona al subir la presión dentro del tran a 8.5 PSI. La tercera cuando se forma vacío y este llega a 1.5 PSI.

Las partes que componen el equipo y su funcionamiento son:

- El nitrógeno es alimentado al equipo desde un tanque externo.
- El nitrógeno regulador del primer paso (1) baja la presión de 2000 a 100 PSI.
- El manómetro (2) marca la presión existente en el tanque de nitrógeno.
- El presostato (3) acciona una alarma cuando la presión del tanque baja a 200 PSI.
- Después del regulador del 1er. paso se encuentra un segundo regulador (4). 2º paso, el cual baja la presión de 100 a 10 PSI.
- A continuar se encuentra el regulador del 3er. paso (5) baja la presión a 0.5 PSI este regulador tiene una manivela que se utiliza para calibrar el equipo, durante la opera-

ción normal esta manivela no debe moverse ya que hay el peligro que se inyecte más presión a la deseada.

- Ya el nitrógeno a 0.5 PSI pasa por un tanque de sumidero (6), el cual sirve de trampa para cualquier impureza.
- Conectados al tanque de sumidero se encuentra; en la parte inferior, una válvula de purga (7) la cual se recomienda abrir cada vez que se cambie el cilindro de nitrógeno para eliminar impurezas en el tanque.
- En la parte superior del tanque de sumidero (6) se encuentra manovacuómetro (8) este indica la presión dentro del transformador.
- También junto al tanque de sumidero (6) se encuentran dos válvulas de alivio para cuando aumenta la presión dentro del transformador, una abre cuando llega a 6.5 PSI (9) y la otra a los 8.5 PSI (10).
- En seguida se encuentra la conexión al transformador antes de esta conexión se encuentra una válvula de aguja (11) para cerrar el paso del nitrógeno en un momento dado, o para cerrar el sistema cuando se haga vacío en el transformador.
- Además del sistema de reguladores y válvulas, el equipo INERTER consta de un sistema de 3 alarmas accionadas por un presostato cada una. La primera es la del cilindro de nitrógeno, ya antes mencionado, esta la acciona el presostato (3) cuando al cilindro le quedan 200 PSI. La segunda es la de alta presión, esta es accionada por el presostato (13) cuando la presión dentro del transformador alcanza 8.5 PSI y la tercera es la de vacío esta la acciona el presostato (14) cuando se forma vacío en el transformador y este llega a 1.5 PSI.

Después de revisar físicamente cada una de las componentes, procedemos a la calibración final del equipo.

El equipo INERTER sale calibrado de fábrica a las siguientes presiones: el regulador del 3er. paso (5) a 0.5 PSI, y las válvulas de alivio (9) y (10) a 6.5 y 8 PSI respectivamente.

Es recomendable, cada vez que se cambie el cilindro de nitrógeno checar si estas piezas estan trabajando correctamente.

Con el fin de certificar los interruptores de alarma, nos auxiliamos de los diagramas de conexiones, ubicamos los bornes de los contactos de alarma.

BORNES	CONTACTO	SEÑAL
1 - 3	b	Interruptor de alarma de presión de cilindro de nitrógeno, opera 200 PSI.
3 - 2	a	
8 - 4	a	Interruptor de alarma de vacío opera a - 1.5 PSI.
4 - 7	b	
5 - 4	a	Interruptor de alarma de alta presión, opera a 8.5 PSI.
4 - 6	b	

Para la primera señal de alarma, se cierran: la válvula de muestreo (12), la válvula de cierre del sistema (11) y la válvula del cilindro, de manera que no pueda entrar nitrógeno al equipo ni salir de él, con la presión sostenida en las mangueras de alimentación, abrir muy lentamente la válvula de purga (7) a fin de disminuir la presión en las mangueras de alimentación del cilindro al equipo, simulando disminución de presión en la botella. Al certificar que cerca de las 200 PSI - obra el contacto "b" y el cierre el contacto "a", operó correctamente a los 235 PSI.

Para la operación de la alarma de vacío, necesitamos crear un ambiente de vacío en el equipo INERTER, lo cual se puede lograr de varias maneras, una de las cuales es mediante una aspiración.

radora doméstica conectada al tanque de sumidero, desconectando la línea que va a la válvula (11) de cierre del sistema. También se verificó que el contacto "a" cierre y el contacto "b" abriera resultando ser a las -1.3 PSI.

Estas 2 alarmas se dejaron en la presión encontrada, al no revestir problema alguno su pequeña desviación.

El interruptor de alarma de alta presión se certificará más adelante, en forma conjunta con la válvula de alivio de 8.5 PSI, para que no vaya a existir una peligrosa alta presión sin su respectiva protección.

Las válvulas de alivio son muy sencillas, constan de una perilla que, girandola en sentido de las manecillas del reloj se cierra y viceversa. Esta perilla tiene un seguro, que es un anillo. Es muy importante que después de calibrar este anillo quede en su posición original para que no haya problema de descalibración.

Para la calibración siga los siguientes pasos:

- Cierre el paso del nitrógeno al transformador con la válvula de aguja (11).
- Cierre la válvula de alivio de 6.5 PSI (9), girando la perilla en sentido de las manecillas del reloj, hasta el tope.
- Deje entrar el nitrógeno a más presión abriendo muy lentamente el regulador del 3er. paso (15), si este regulador se abre rápidamente la lectura será incorrecta.
- El manovacuómetro (8) marcará la presión, a la que alivia la válvula, se recomienda poner espuma de jabón alrededor del anillo rojode la válvula para ver exactamente cuando alivia.

Simultáneamente certifica la correcta operación de la alarma por alta presión, en el presostato (13) de alta presión, en la tablilla de conexiones (15), seleccionando los bornes correspondientes, certificar que operen correctamente los contactos. En caso de que el presostato haga operar a los switches fuera de la presión mencionada, a favor de las manecillas del reloj mover los tornillos de ajustes, si se desca un ajuste a una presión más alta. Las alarmas operaron a 9.4 PSI, lo cual nos obligó a darle después de varios intentos aproximadamente una vuelta y cuarto al tornillo de ajuste, en contra de las manecillas del reloj.

- Para la calibración de la válvula de 6.5 PSI (9) siga los mismos pasos.

Ya calibradas las válvulas de alivio, cierre el regulador del tercer paso (5) girando la manivela en contra del sentido de las manecillas del reloj. Hecho esto deje escapar la presión dentro del equipo abriendo la válvula de purga (7).

Hecho esto, abra muy lentamente el regulador de 3er. paso (5) hasta que el manovacúmetro marque 0.5 PSI. Para llegar a esta presión hace falta girar muy poco la manivela. Este regulador se calibra a 0.5 PSI que es la presión recomendado para la operación normal del autotransformador.

Solo en caso de lugares con frío excesivo y exista el serio peligro de formar vacío, se recomienda calibrar este regulador entre 1.5 y 2.0 PSI, para contrarrestar las posibles bajas de presión.

Después de la calibración y certificación de la correcta operación de cada elemento, se sellan los tornillos de ajustes de presostatos y válvulas con esmalte ó pegamento que sea retirable con solventes químicos comerciales. Acto seguido, se

realiza una acuciosa revisión de fugas con jabonaduras y la consiguiente reparación.

Se hizo necesario aplicar cinta teflón en algunas conexiones y reponer la línea del regulador del 3er. paso (5) al tanque (11), quedando listo el equipo INERTER para entrar conjuntamente con el autotransformador en operación.

C.- RELEVADOR BUCHHOLZ: (Fig. 1.27).

Para la prueba del relevador, se utiliza una manguera que se conecta en la parte inferior del mismo. Dicha manguera conecta a un equipo de aire comprimido, preferimos a modo de evitar a estas alturas cualquier entrada de humedad, inyectar por medio de un regulador nitrógeno desde una botella.

Se abre lentamente la válvula hasta que opera el flotador superior cerrando el contacto normalmente abierto, que se revisa en el gabinete centralizador del autotransformador, conforme los diagramas eléctricos en las terminales 41 y 42, con la nomenclatura de ALARMA.

Se deja entrar nitrógeno a una presión mayor y de manera más súbita, hasta certificar la operación del flotador inferior, con el cierre del contacto "a", en el gabinete centralizador, puntos 39 y 40. Para entonces se apreciará por la mirilla la ausencia del aceite desplazado por el agua.

Además de vigilar los contactos, simultáneamente operan los interruptores de protección al transformador.

Se aprovecha y se prueba la línea de purga que sale del Buchholz en su parte superior y baja hasta la válvula a 1.60 Mts. del nivel del piso. Al abrirse provoca la salida del gas, con lo que se vuelve a llenar la mirilla con aceite.

E.- INDICADOR DE TEMPERATURA DE ACEITE: (Fig. 1.29).

El indicador de Temperatura con Contactos de Alarma diseñado para la aplicación en Transformadores o aparatos similares, se usa cuando se requieren controles de alarma, arranque de ventiladores u otros dispositivos a temperaturas predeterminadas.

Es un instrumento de carátula operado por un elemento bimetalico y está fabricado a prueba de intemperie.

Los dos interruptores del indicador están graduados para operar diferentes niveles de temperatura; el interruptor del nivel más bajo, puede controlar un circuito del ventilador y el interruptor del nivel más alto controla el circuito de alarma.

El circuito del ventilador se usa para suministrar enfriamiento adicional cuando la temperatura del transformador supera el rango especificado, aunque en nuestro caso utilizaremos el indicador de porcentaje de carga térmica para este circuito FA, por ser más sensible a cambios bruscos de temperatura.

El indicador se usa en aceite o en Askarel y el contacto disponible, de temperatura alta accionará los interruptores de protección. El indicador es un instrumento de precisión con carátula, cuya aguja está directamente acoplada a una hélice bimetalica actuando en un eje fijo en un extremo y alojado en un bulbo metálico.

El termopozo (cubierta exterior), es de latón con pared delgada y se atornilla al tanque (en un cople previamente colocado) El termómetro se monta en la pared del tanque, atornillado a su termopozo que estará en contacto con el líquido del tanque.

El termómetro no se debe apretar más que lo necesario para colocar la carátula en una posición vertical. El termómetro se quita del tanque sin pérdida de líquido y sin necesidad de disminuir el nivel de aceite.

La carátula está calibrada en grado centígrados y facilitará su lectura, gracias al contraste en el color de los caracteres, graduaciones y aguja indicadora. Una manecilla de demanda máxima (roja) indica la máxima temperatura alcanzada. Esta manecilla se puede regresar con un imán a través del vidrio de la carátula. El imán está alojado en el cuerpo del termómetro.

PRUEBAS DE CAMPO:

Se separa el termómetro de su termopozo y se coloca en un baño de aceite con temperatura controlada; verificando la temperatura colocando un termómetro acoplado u otro aparato de medición de temperatura; la calibración del termómetro debe ser exacta en $\pm 2^{\circ}\text{C}$., concediendo 15 minutos para que el termómetro llegue a la temperatura.

Las Terminales flojas proporcionarán humedad del conector y causarán oxidaciones eventuales de los circuitos eléctricos o deterioro en las marcas de la carátula.

El término se adapta para:

- 1.- 0.02 amps. de una carga inductiva de corriente directa.
- 2.- 0.2 amps. de una carga no inductiva de corriente directa.
- 3.- 2.5 amps. de una carga no inductiva o inductiva de corriente alterna.
- 4.- 250 volts máximo en todos los casos.

Para alturas de 243 cm. o menores debe ser montado en plano vertical.

Para alturas de 243 cm., ó más, debe tener un ángulo de 30° con respecto a la vertical.

El termómetro tiene fondo oscuro y caracteres claros; la manecilla indicadora es blanca y la de demanda máxima es roja.

Dimensiones	127.0 mm. X 127.0 mm.
Rango de Temperatura	de 0 °C a 160°C.

RANGO DE AJUSTE DE LOS MICRO-INTERRUPTORES.

El indicador de Temperatura con Contacto Doble de Alarma tiene 2 micro - interruptores ajustables en rangos de temperatura independiente.

- a).- Micro - Interruptor No. 1 de 35°C a 70°C. Ajuste en fábrica para que opere a 60°C.
- b).- Micro - Interruptor No. 2 de 70°C a 100 °C. Ajuste en fábrica para que opere a 80 °C. Los cuales se corroboraron con las pruebas de campo.

AJUSTE DE MICRO-INTERRUPTORES:

El ajuste final requerido, se efectúa por el acceso localizado en la parte superior del cuerpo del Termómetro si se desea calibrar a un valor diferente de temperatura ó el aparato se encuentra descalibrado, proceder de la siguiente forma:

- Localice el acceso a los tornillos de calibración en la parte superior del cuerpo (marcados 1 y 2 en el caso de contacto doble).
- Retire el tornillo protector del micro-interruptor que desee calibrar.
- Para el Micro-Interruptor No. 1 gire el tornillo en el sentido de las manecillas del reloj para aumentar la temperatura.

- Para el micro-interruptor No. 2 gire el tornillo en sentido contrario a las manecillas del reloj para aumentar la temperatura.
- Terminando de calibrar, se debe tener cuidado de volver a colocar el tornillo protector (forrado con teflón o similar a fin de evitar humedad). Los microswitches se dejaron ajustados 65° alarma y 95° disparo, conforme a lo establecido en la región, por la Comisión Federal de Electricidad en su Zona de Transmisión Camargo.

Fué colocado posteriormente en su termopozo con todo cuidado que le corresponde.

Al terminar los ajustes es importante que la conexión de la terminales sea la correcta, realizándose ésta de la manera siguiente:

- Las salidas de alarma son conducidas a través de la parte inferior del cuerpo del termómetro por medio de un conector sellado herméticamente y sensible. El conector macho se coloca dentro del cuerpo del termómetro y lleva una espiga central de posición para prevenir conexiones incorrectas; el conector está fabricado con terminales de cobre plateado alojados en un block de baquelita.

El conector hembra está fabricado con terminales de cobre plateado, alojadas en un block de baquelita para conectarse con el macho y un barreno central para acoplarlo a la espiga de posición. Los extremos del cable se sueldan en los terminales del conector hembra.

El Capuchón para presionar la terminal hembra contra la terminal macho y evitar el paso de humedad suele ser de hypalone. Tiene una roldana de hule para hacer el sello entre el cable y el capuchón y un anillo metálico para presionar la roldana contra el cable y un capuchón metálico roscado para sostener los componentes del conector presionadas contra el cuerpo del

termómetro. Este capuchón se atornilla en el cuerpo del termómetro.

De esta manera tan segura, las señales son conectadas desde el aparato al tablero centralizador del autotransformador.

F.- INDICADOR DEL PUNTO MAS CALIENTE. (FIG. I.30).

Este aparato consta de 3 elementos: Termómetro de carátula, Bobina calefactora de Imágen Térmica y el Transformador de corriente.

- a).- El termómetro de Carátula, tiene las siguientes características: Tipo bulbo y termopozo, calibrado de 0°C a 160 °C, para servicio de intemperie, con aguja indicadora y demando máxima, 3 Microinterruptores (10 am., 125-250 V) con ajustes independientes (El No. 1 para el equipo de aire forzado a 65°C, el No. 2 para alarma a los 95°C y el disparo No. 3, a los 105°C).
- b).- Bobina calefactora de imágen térmica. De resistencia, no inductiva, concéntrica al termopozo, 1.Ω a 20 °C, 25 a 75 watts y devanada sobre el mismo termopozo.
- c).- Transformador de corriente de relación múltiple, para hacer circular en la bobina calefactora una corriente proporcional a la bobina del devanado principal.

El elemento sensor consta de una hélice bimetalica, al eje de la cual está acoplada además de la aguja indicadora, una leva que opera en forma secuencial los microinterruptores. La hélice bimetalica actúa dentro de un bulbo de paredes delgadas (termopozo), que se instala dentro de otro bulbo el cual está en contacto directo con el liquido dentro del tanque.

La temperatura registrada por el indicador es por lo tanto función de la temperatura del aceite y de la temperatura de la bobina calefactora. Esta última debe tener una temperatura

igual al prozedio del devanado más caliente ± 10 °C, de modo que el incremento logrado por esta debe ser igual al gradiente existente entre el devanado principal del transformador y el aceite.

PRUEBAS DE CAMPO:

Se procede de igual que en el Termómetro del aceite.

RANGO DE AJUSTE DE LOS MICROINTERRUPTORES:

- a).- Microinterruptor No. 1: de 35 °C a 70 °C. Ajuste en fábrica para que opere a 65°C, cierra a 65 ± 2 °C.
- b).- Microinterruptor No. 2: de 70 °C a 115 °C. Ajuste en fábrica para que opere a 70 ± 2 °C.
- c).- Microinterruptor N° 3: de 90 °C a 115 °C. Ajuste en fábrica para que opere a 100 ± 2 °C.

La apertura de los interruptores es de 4° a 10 °C menos que la de cierre.

Al término de las pruebas de campo los ajustes que de fábrica resultaron son:

- + Microinterruptor No. 1: 64 °C cierre - 58 °C apertura.
- + Microinterruptor No. 2: 72 °C cierre - 66 °C apertura.
- + Microinterruptor No. 3: 103 °C cierre - 95 °C apertura.

Mismos que fueron modificados para dar los ajustes fijados por la Zona de Transmisión: 65° accionamiento de FA. 95 °C alarma y 105 °C disparo.

AJUSTE DE MICROINTERRUPTORES:

El ajuste final se realiza por medio de los accesos localizados

en la parte superior e inferior del termómetro, localizando los tornillos de calibración 1, 2 y 3.

- Retire el tornillo que protege cada microinterruptor.
- Para el microinterruptor No. 1, se debe girar el tornillo a favor de las manecillas del reloj para aumentar el ajuste de temperatura.
- Para el microinterruptor No. 2, el giro será en sentido contrario a las manecillas del reloj, para aumentar el ajuste de temperatura.
- Para el microinterruptor No. 3, se procede igual que con el No. 2.

Finalmente, después de varias pruebas y ajustes, los microswitches quedaron al 65 °C (no se movió) el No. 1, el No. 2 a 94 °C y el No. 3 a 103 °C.

Al terminar los ajustes, es importante proceder de igual manera como se hizo con el termómetro de líquido.

Con inyección de corriente debe probarse el accionamiento de los ventiladores, la alarma y del disparo a los interruptores, conforme las indicaciones siguientes:

- Desconecte la bobina calefactora del secundario del transformador de corriente saturable.
- Se aplica voltaje a las terminales de la bobina calefactora, con una fuente variable, como un variac, de 4 a 7 volts y máximo de 10 Amperes.
- Suba gradualmente la corriente para que el calor producido por la bobina calefactora haga girar el bimetal y opere cada uno de los microinterruptores.

En caso de certificar la operación de los microswitches y que tanto el circuito de ventiladores, la alarma ó el disparo de interruptores falle, deberán revisarse cada una por separado, hasta dejar este punto satisfecho, dado que de esto depende la vida del transformador en circunstancias fuera de lo normal, como lo es un incremento de temperatura súbito.

G.- INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE: (FIG. I.31).

Instrumento sellado a prueba de agua, de operación por flotador y adecuados para usarse en aceite o en askarel.

Está compuesto por 3 partes principales. El bisel, el acoplador magnético con contactos de alarma y la brida.

El bisel contiene la carátula de color negro con caracteres de color aluminio reflejante y una aguja de color amarillo. La aguja indicadora se ensambla sobre un imán que gira en un sistema de aguja flotante para evitar rozamientos. El sistema de indicación está herméticamente sellado.

El acoplador magnético con contactos de alarma contiene flecha y los imanes orientados y polarizados de manera tal, que al recibir el mando del flotador, transmiten su movimiento a la aguja indicadora y accionan un microinterruptor en la posición de bajo nivel de líquido.

Estos contactos se utilizan para operar un circuito de alarma o disparo. Las conexiones se localizan en la parte inferior del instrumento y salen por medio de un capuchón igual al descrito en el indicador de temperatura del líquido.

La prueba de este equipo es muy sencilla, con ayuda de un imán, muévase la aguja indicadora hasta la posición de nivel bajo, con esto actuará el microswitch, certificado esto hágase hasta lograr operar los interruptores de potencia.

H.- GABINETE DE CONTROL: (FIG. I.25).

Verificar el gabinete centralizador es muy sencillo, para ello mencionaremos su constitución:

- Señales de arranque y paro del banco de ventilación forzada FA, (contactores) que son energizadas por el relevador de porcentaje de carga térmica y la protección (fusibles) de cada circuito de ventilación.
- Es un gabinete de interconexión de las Señales de protección y medición de los equipos propios del transformador (Temperatura, sobrepresión, nivel de aceite, buchholz, RS2001, etc.) con equipos adicionales en el Tablero General, ubicado en la caseta de la Subestación. (Relevadores, instrumentos de medición, control de interruptores, alarmas, etc.).
- Contiene además su propia resistencia calefactora para evitar la condensación y combatir la corrosión.

La prueba del gabinete se realizó conjuntamente con las pruebas de los equipos anteriormente citados en esta sección, pero no quise pasar por alto la revisión a conciencia que se le infringió.

Terminales flojas o mal instaladas, cables deteriorados, quemadores o mal acomodados, fusibles quemados o sin listón y que sean de la capacidad adecuada; los contactos eléctricamente que fueron probados, ahora se revisan para que los platinos o contactos no tengan la superficie picada o desgastada, etc... certificando la correcta operación de la resistencia calefactora.

Quitar cualquier inicio de corrosión, vigilar que los empaques sellen correctamente la tapa, que las alimentaciones que lleguen al gabinete sean del nivel de voltaje adecuado. Todas anomalías fueron corregidas, aunque no hubo detalles dignos de resaltar.

Se revisa arranque, paro y sentido de giro de ventiladores.

3.- ARREGIOS FINALES:

Realizadas, comprobadas y certificadas todas las pruebas al autotransformador, tan solo nos resta ultimar detalles, los cuales para no extendernos más de lo que este punto requiere, los enunciaremos solamente:

- Revisión de las presiones de operación del equipo Inerter y del tanque de nitrógeno y su reajuste es necesario. Válvula de aguja de paso de nitrógeno abierta. Se purga el sistema.
- Vigilancia del buen estado de las botellas de Sílica-gel para el control de humedad. Se seca la Sílica-gel en estufa convencional o en hornos especiales.
- Válvulas de radiadores abiertas.
- Ventiladores en servicio y con el sentido de giro correcto.
- Colocación fija de topes en los rieles del autotransformador
- válvulas de intercomunicación de la cuba principal y de la cuba del cambiador al tanque conservador, abiertas.
- Válvulas adicionales bien cerradas.
- Resistencias calefactoras en Gabinete Centralizador y mando a motor MA-7 en servicio.
- Alimentaciones de C.A. y C.D. al gabiote centralizador y mando a motor en el nivel de voltaje adecuado, con la identificación y protección correcta desde el taller de Servicios Propios.
- Indicadores testigo en posición de la aguja de indicación actual, (temperatura).

- Reapriete de conexiones eléctricas de alta, baja, terciario y circuitos de control.
- Revisión del estado de cables de las señales de protección y medición, que no tengan grietas, porque propician con la humedad operaciones de interruptores y fallas de suministro incorrectas.
- Certifique el correcto aterrizamiento de todos los neutros y la interconexión de los autotransformadores monofásicos de lo más destacado, sin que esto le reste importancia a todo lo anterior están: La revisión, corrección de fugas y el proceso de purga.

Un proceso minucioso final de certificación y corrección de fugas, conforme el procedimiento desarrollado en capítulos anteriores y de ser necesario puede llegar a necesitarse el bajar niveles de aceite. Generalmente, si el procedimiento de hermeticidad se llevó adecuadamente en su oportunidad, a estas alturas solo existirán minuciosidades, presentándose generalmente en tapas o bridas, solucionables con un simple apriete en los tornillos o tuercas. Se menciona como de importancia vital, el reapriete total a bridas, válvulas, tuberías, etc.

En estos momentos el autotransformador está casi listo para ser energizado, únicamente falta la extracción del aire que se aloja en el equipo y que puede causar operación de los interruptores de potencia, cuando se libera en forma de burbujas, que ascienden y se colocan en el relevador buchholz, llegando a operarlo, produciendo fallas en el suministro eléctrico.

Para purgar el equipo transformador, se desatornillan levemente los tapones macho de la parte superior de todos y cada uno de los radiadores, dejando escapar en cada uno todas las burbujas que puedan aparecer, hasta que la salida de aceite es permanente. Es conveniente golpear levemente con un martillo

de goma el radiador que se está purgando.

Los bushing de alta tensión, tienen generalmente un tornillo de purga, al igual que la cuba del cambiador de derivaciones, el buchholz, el relevador RS2001 y la tapa de la cuba principal; todas deben ser alojadas para permitir la salida del aire.

Todo proceso de purga es conveniente realizarlo después de 24 hrs., por lo menos, de haber realizado cualquier movimiento en el nivel de aceite, si hubo necesidad de hacerlo.

Al final de todo este cuidadoso procedimiento de puesta en servicio a este autotransformador de potencia, no deberán apreciar muchas de aceite. Si se confirma lo anterior se dá una limpieza general con solventes autorizados (SAF-SOL, SS-25) a toda la cuba, radiadores y equipo adicional, para proceder al retoque de pintura, previo empapelado de lo que se desea proteger.

Seca la pintura se limpian las porcelanas con solventes no clorados y se realiza una última inspección al equipo, retirando todo lo que sea ajeno al mismo y a sus cables de conexión. Podemos afirmar con certeza que hemos terminado y que el autotransformador está listo para ser energizado.

4.- PUESTA EN OPERACION.

Al momento de energizar el Transformador se recomienda:

- a).- Certificar previamente todas las alimentaciones del C.A. y C.D. a los equipos relevadores en el tablero de control de la caseta y al propio equipo.
- b).- El transformador debe contar con todas sus protecciones, incluyendo la protección diferencial; puede producirse un disparo por corriente INRUSH, pero es más conveniente el proteger desde el primer instante el equipo.

- c).- Debe escucharse el ruido interno del autotransformador; debe ser un zumbido constante, uniforme, sin señales de chisporroteo o de partes sueltas, pegando el oído a todas las partes que sean accesibles alrededor de toda la cuba; hasta no comprobar lo anterior pueden irse conectando los circuitos de carga.
- d).- Tomar nota de todas las lecturas antes de y posterior al instante de entrar en servicio, así como tomar nota cada quince minutos durante las primeras veinticuatro horas en operación, a fin de estar censado todos los parámetros del autotransformador (temperaturas, nivel de aceite, presiones de nitrógeno, amperes, M^Watts., MVAR, posibles alarmas, etc.).
- e).- Ante cualquier anomalía deberá ser retirado de servicio; de cumplirse correctamente todo el protocolo ampliamente planteado en este trabajo, no se deja lugar a imprevistos. El autotransformador entró en servicio comercial con una carga de 7 MW, con todos sus parámetros estables, para terminar con 35 MW con todos sus circuitos conectados.

Y - CONCLUSIONES:

V.- CONCLUSIONES:

Es indudable, al igual que para los países altamente desarrollados, para las Naciones que están en vías de desarrollo como lo muestra y aún para los Subdesarrollados, la importancia que reviste la Industria Eléctrica se agiganta día a día directa y proporcionalmente al crecimiento socio-económico y cultural del país, a lo cual se refleja en sustanciales aumentos en las demandas, hasta en los puntos más recónditos.

El crecimiento ordenado y la modernización son de los más grandes retos para el México moderno. Para ello se requiere una Industria Eléctrica Nacionalizada, fuerte desde sus cimentaciones, desde su personal de campo; esto obliga a ofrecer una incansable y permanente preparación técnica a los profesionistas y obreros de hoy, forjándose desde su ingreso un alto sentido de responsabilidad, honestidad y dedicación, donde la unidad de criterios y fuerzas venga a ser la parte medular en el logro de los objetivos institucionales.

Nuestra Industria Eléctrica con sus más de 50 años, ha dado muestras de su grandeza y no debe rezagarse, necesita para poder cumplir con las exigencias del proceso de crecimiento y modernización, entre otras cosas, optimizar el manejo de sus recursos humanos y materiales; el eficiente manejo en los primeros dará como consecuencia la satisfacción de los segundos, para ello requiere seguir adiestrando y capacitando al personal, sobre todo a quienes tienen la alta responsabilidad de las instalaciones de campo.

La idea de este trabajo, es la de ofrecer al profesionista y técnico de campo, que enfrenta la difícil encomienda de la continuidad del servicio, una herramienta sistematizada y ordenada para su ayuda en la trascendente tarea de la puesta en servicio, porque el más alto índice de fallas en equipos, resulta de una deficiente preparación para su entrada en operación.

En otras palabras, la problemática de la continuidad del servicio comienza en la puesta en operación.

Antes que otra cosa, es primordial que el personal de campo conozca al detalle la teoría de los equipos, así como de todos y cada uno de sus componentes principales y auxiliares.

Y entiéndase como Puesta en Servicio, no el energizar el equipo, este acto es la culminación de todo un procedimiento, el cual comienza, como en la mayor parte del Equipo Eléctrico Primario, con su salida de fábrica, su embarque y traslado al sitio final.

El banco de transformación, equipo transformador o como en el caso de estudio, autotransformador, es uno de los equipos más importantes para el proceso Generación-Consumo de la Energía Eléctrica y pese a su visible robustez mecánico-eléctrico, es el elemento más delicado, costoso y relevante de toda Subestación de Potencia, por lo que todo cuidado extremo jamás será vano.

Son tan evidentes las ventajas y tan pocas las desventajas que los autotransformadores ofrecen en la actualidad por sobre los equipos transformadores, en relaciones de transformación bajas, pero diferentes a la unidad, que en la actualidad está ampliamente difundida su actualización. Como en el caso de 230 KV., como voltaje de línea primario y 115 KV., como voltaje de línea secundario, para conexión de Líneas de Transmisión y Subtransmisión; abatiendo los costos iniciales por adquisición de equipo (son más económicos), menor tamaño y peso, pérdidas menores y por tanto eficiencias mayores, mejor regulación de voltaje tan importante para la calidad del suministro de energía.

También es indudable el cuidado y profesionalismo que deben demostrarse en el armado y montaje de cada componente del

equipo, cumpliendo y haciendo cumplir las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia propia, ejecutando cada acto con la debida planificación, no dejando detalles a la improvisación porque pueden adoptarse riesgos innecesarios con resultados peligrosos y lamentables.

Esta etapa del proceso bien terminada facilita enormemente el secado del transformador, y lo que debe invitar al personal a esmerarse y aplicarse minuciosamente en la detección y corrección de fugas, a la correcta colocación, selección y corte de empaquetaduras, al preciso apriete de tornillos y tuercas y a la exactitud con lo que hayan sido ensambladas cada uno de los accesorios y elementos principales.

Las pruebas de campo son y serán por siempre una herramienta vital y concluyente en el proceso, pero para poder explorarlas en toda su dimensión, se requiere que sean cumplidas todas las reglas básicas que en su oportunidad enuncié, se cuiden, transporten y operen los equipos con todo el cuidado y la precisión de que deben ser objeto y se realicen los ensayos con toda la meticulosidad atinencia.

Sobre todo se necesita que sean interpretadas por personal capaz y experimentado aunque aquí se dan parámetros de referencia, jamás pretendí con ellos suplir la experiencia que se tenga en determinados equipos, marcas y situaciones, fueron tan solo referencias válidas que fijas suelen ser útiles para quienes las usan y cuya flexibilidad solo es medible con los años de trabajo.

Hay que recordar que una prueba por sí sola no puede ser concluyente, será siempre necesario para toda decisión analizar el conjunto: de su exactitud dependen las pruebas subsiguientes en toda la vida del transformador y las conclusiones a que se deba llegar por la comparación de ellas, en un momento determinado, decisiones que revisten en ocasiones repercusiones

económicas muy elevadas.

En el autotransformador monofásico de ejemplo, fué necesario conjuntar y estudiar cada prueba en lo individual, para concluir posteriormente con todas ellas la aprobación para pasar al período de secado.

La exactitud con la que se lleven a cabo las diferentes actividades del secado, como lo es la selección del método de secado, la elección del equipo con el cual se llevará a cabo, el seguimiento preciso de las rutinas de vacío, la medición del mismo y los cálculos de la humedad residual, nos darán la proporción de vida útil del transformador.

Un deficiente secado puede originar fallas a unos meses de puesta en operación y un secado excesivo puede disminuir grandemente la vida útil de los aislantes sólidos, abatiendo la rentabilidad económica del equipo.

El método de secado por calor de alto vacío, ha probado con excelentes resultados, ser por muchos el procedimiento más sencillo y eficiente en campo para el secado de los aislamientos sólidos y los interiores de los equipos de transformación, reduciendo la temperatura de ebullición del agua y extracción de vapor a temperaturas ambiente.

Se deben seleccionar bombas de alto vacío de lóbulos giratorios y nunca de paletas desplazables por su poca capacidad de respuesta a los niveles de vacío necesarios y deben calcularse en forma precisa, dado que a los materiales aislantes de los transformadores que son a base de papel kraft o crepé, las resinas y barnices, las secciones excesivas los deglanan y desgarran. Deben estar acordes a la proporción de llenado y extracción de vapor y aire.

La hermeticidad en el proceso es clave y debe ser vigilada estrictamente, cualquier estancamiento o pérdida de vacío debe

obligarnos a una exhaustiva revisión de fugas, cuantas veces sea necesario.

Evidentemente también es importante el control de calidad de fábrica, debiendo recibirse en destino equipos y aceites secos y limpios, que solo requieren un procedimiento corto, económico y que pueda cumplirse eficientemente con herramientas, equipos y personal de campo.

Para el correcto manejo, acondicionamiento y uso de los aceites aislantes, es vital el conocimiento de sus componentes: Hidrocarburos Naftéticos, parafínicos, aromáticos y compuestos polares. La relación entre los dos primarios nos da un indicativo de la calidad de los aceites, mientras que la relación de los aromáticos y los compuestos polares (azufre, nitrógeno y oxígeno) nos determina la vida útil.

El aceite Puro: "M" utilizado en México como aislante es de naturaleza Parafínica (por su mayor contenido que otros aceites) y requiere para operar en equipos de alta tensión las siguientes proporciones:

- Hidrocarburos Aromáticos: 4.5 - 6%
- Hidrocarburos Parafínicos: 35 - 40%
- Hidrocarburos Naftéticos: 56 - 60%
- Compuestos polares: menos del 0.1%

En su acondicionamiento como en operación al aceite lo debemos de alejar de sus principales degradantes agua y aire, agentes que aceleran su oxidación, propiciando una disminución de sus propiedades aislantes y refrigerantes.

El agua se presenta libre y disuelta en el aceite, mientras el aire y otros gases son también solubles en él. Mientras la solubilidad del agua depende de la temperatura, la del aire depende de la presión, por lo que propuse el método de desgasificación y deshidratación por vacío como solución a este

problema, recomendando los equipos PENCUALT-STOKES O FIL-THERMO-VAC de la Bowser Inc.

Con ayuda de sistemas de filtrado, atomización y vacío, se remueven particular no deseadas, aire y vapor de agua con relativa facilidad.

El control del aceite debe llevarse tambo por tambo, en el tanque Pilot, en el equipo desgasificador - deshidratador y en el transformador, en todos los ciclos, para ello utilizaremos las pruebas de campo que vuelven a ser una herramienta invaluable, proponiendo para ello los ensayos, aspecto visual, contenido de agua, Rigidez dieléctrica, Factor de Potencia, Resistividad y contenido de gases por ahora, debiéndose adquirir el equipo necesario para las pruebas de análisis estructural, tensión interfacial, el índice de acidez y el punto de anilina, para su futura aplicación en campo.

No se deben mezclar aceites que en pruebas resulten malos, con los susceptibles de reacondicionamiento. Realizar ciclos de acondicionamiento, si el término de 3 ciclos el aceite no es bueno, deberán apoyarse de las plantas regeneradoras de aceite aislante, que con gran éxito tiene funcionando la Comisión Federal de Electricidad, en varias regiones del país.

Una vez llenado el autotransformador, definitivamente las pruebas finales dictaminarán el éxito o fracaso de todo el proceso. Decía pues, que cada fase del proceso es vital y una falla en cualquiera de ellas puede ocasionar la pérdida total del equipo, fallas en el suministro y pérdidas económicas, etc.

Por ello me he permitido realizar lo que a mi juicio es un trabajo lo más completo y detallado posible, que por sí solo resuelva las necesidades de orientación al personal de campo y logre inquietar al personal directivo a enfocar más su atención en esta actividad tan fundamental, la puesta en servicio. Espero lograrlo.

VI .- BIBLIOGRAFIA:

VI.- BIBLIOGRAFIA:

- 1.- TEORIA DE LAS MAQUINAS DE CORRIENTE ALTERNA.
 - Alexander S. Langsdorf
 - Editorial Mc Graw Hill
- 2.- MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES.
 - Irving L. Kosow
 - Editorial Reverté
- 3.- MAQUINAS ELECTRICAS TRANSFORMADORES Y CONTROLES.
 - Harold W. Gingrich
 - Editorial Prentice/Hall
- 4.- TEORIA Y ANALISIS DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS.
 - A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr. y Alexander Kusko
 - Editin Mexicana S.A.
- 5.- ESTACIONES TRANSFORMADORAS Y DE DISTRIBUCION.
 - Gaudencio Zoppetti Júdez
 - Editorial Gustavo Gil S.A.
- 6.- MANUAL PRACTICO DE ELECTRICIDAD PARA INGENIEROS.
 - Donald G. Fink, H. Wayne Beaty y John M. Carrol
 - Editorial Reverté
- 7.- CIRCUITOS MAGNETICOS Y TRANSFORMADORES.
 - Enrique Betancourt, Fernando Betancourt e Ing. Juan Diego Carra.
 - U.A.N.L.
- 8.- INSTRUCTIVOS DE MONTAJE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CAMBIADORES DE DERIVACION H.P.
 - Maschinen Fabrik Reinhausen
- 9.- INSTRUCTIVOS DE MONTAJE, OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL AUTO-TRANSFORMADOR Y EQUIPO ACCESORIO.
 - Prolec S.A.
- 10.- INSTRUCTIVOS DE OPERACION DE EQUIPOS DE PRUEBA.
 - Factor de Potencia - Doble Engineering Co.
 - Megger - Biddle
 - T.T.h. - Biddle

11.- INSTRUCTIVO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA DESGASIFICA-
DORA Y DESHIDRATADORA.

- Penwalt Stokes

12.- PROCEDIMIENTOS C.F.E.

13.- ARTICULOS I.I.E.