

# Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

3<sup>2</sup>  
García



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

"PUESTA EN SERVICIO DE TRANSFORMADORES DE  
POTENCIA MAYORES DE 20 MVA"

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

**En el Area Industrial**

P R E S E N T A

**Silvia del Carmen Barradas Contreras**

GUADALAJARA, JALISCO. 1988



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.

# I N D I C E

	Página
Introducción .....	1
Antecedentes .....	3
CAPITULO I " RECEPCION " .....	5
CAPITULO II " ARMADO " .....	13
CAPITULO III " DETERMINACION DE HUMEDAD RESIDUAL Y - SECADO " .....	20
3.1 Aislamientos sólidos en transformadores de potencia	21
3.2 Humedad en los aislamientos sólidos .....	22
3.3 Determinación de humedad residual .....	25
3.4 Valores máximos aceptables de humedad residual en aislamientos sólidos de transformadores de potencia..	32
3.5 Secado de transformadores de potencia .....	33
3.6 Apéndice y recomendaciones generales .....	40
CAPITULO IV " ACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE AISLANTE Y LLENADO " .....	58
4.1 Hervido .....	60
4.2 Descantes de absorción .....	60
4.3 Filtro prensa .....	61
4.4 Centrifugación .....	61
4.5 Desgasificación y deshidratación .....	62
CAPITULO V " PRUEBAS ELECTRICAS " .....	76
5.1 Pruebas de resistencia de aislamiento de sus deva- nados .....	78
5.2 Pruebas de factor de potencia a los devanados .....	81
5.3 Pruebas de factor de potencia a las boquillas .....	86

5.4 Pruebas de relación de transformación en todos sus taps .....	88
5.5 Pruebas de rigidez dieléctrica, factor de potencia y resistividad del aceite aislante .....	90
5.6 Verificación de dispositivos indicadores de temperatura, presión de nitrógeno y buchholz .....	94
CAPITULO VI " COSTOS Y RUTA CRITICA DE LAS ACTIVIDADES " .....	124
Grupos de trabajo .....	129
Materiales .....	131
Matriz de antecedentes y de secuencias .....	133
Matriz de pendientes .....	134
Matriz de tiempos .....	135
Red de tiempo Estándar .....	136
Red de tiempo Optimo .....	137
Red de tiempo Intermedio .....	138
Costo total .....	139
Conclusiones .....	141
Bibliografía .....	143

## INTRODUCCION

Definición del problema:

En la actualidad no existe un libro donde aparezca en forma condensada y clara la puesta en servicio de transformadores de potencia mayores de 20 MVA.

Objetivo de la tesis:

Recopilar información de instructivos proporcionados por los fabricantes, documentos, libros y experiencias de los ingenieros para crear un documento escrito donde se muestren los pasos consecutivos para la puesta en servicio de los transformadores de potencia y además, las pruebas eléctricas, la ruta crítica de las actividades y sus costos.

## ANTECEDENTES

Actualmente no existe un libro donde se explique en forma clara y profunda la puesta en servicio de transformadores de potencia mayores de 20MVA por lo que se tienen que recopilar instructivos proporcionados por los fabricantes, documentos, libros y experiencias de los ingenieros, lo cual provoca una pérdida de tiempo, ya que en algunos casos se tiene la necesidad de hacer traducciones.

Con ésta tesis se pretende reunir toda la información existente para que los ingenieros, estudiantes, compañías particulares y del estado, no se vean involucrados en ésta pérdida de tiempo.

Se pretende que su redacción sea de una manera clara para que las personas que tengan acceso a ésta, comprendan fácilmente todos los procesos.

Se darán las instrucciones necesarias para el manejo de los aparatos de medición que se utilizan a fin de evitar errores de lectura, ya que en algunos casos se carece de éste tipo de información.



CAPITULO I

RECEPCION

Los transformadores de potencia de Extra Alta Tensión y - grandes capacidades, son transportados de la fábrica a su lugar de instalación en barcos, ferrocarriles y/o por carretera: por su tamaño y peso normalmente son transportados sin su aceite aislante, accesorios separados y en algunos casos en secciones modulares. Para preservación de los aislamientos - evitando la entrada de humedad en los mismos, durante el transporte del transformador, el tanque se llena con nitrógeno a presión positiva, considerando las variaciones de presión por cambios de altitud y temperatura, a que pudiera estar sujeto durante su transporte.

Quando se recibe el transformador en el sitio donde se va a instalar, antes de bajarlo del vehículo de transporte ( plataforma de ferrocarril o de carretera ) deberá efectuarse una minuciosa inspección externa, con el objeto de verificar que no hay signos de daños externos ( golpes ); comprobando que los cables, varillas de amarre, bloques y soldaduras al vehículo de transporte, estén en su lugar y en buenas condiciones. En el caso de existir signos de daños, será necesario avisar al fabricante, al transportista y a la compañía de seguros correspondiente, levantando un acta de recepción para el caso de que hubiera reclamaciones por daños en tránsito, mismos que pueden confirmar durante la revisión interna, armado y pruebas del transformador.

Si el transformador fué dotado con registradores de impacto, las gráficas serán revisadas.

En caso de existir impactos ó aceleraciones mayores de 3g ésto se asentará en el acta de recepción, avisando a las oficinas antes mencionadas. El registrador de impacto no es más que

un reloj de pilas que hace girar el rollo de papel cuya escala longitudinal es en días y la transversal es para medir la magnitud del impacto. Sobre el papel imprime una plumilla que registrará los impactos en la dirección para la que fué instalado el registrador; ésto quiere decir que se requieren de tres registradores: uno para el plano X, otro para el plano Y y - - otro más para el plano Z .

Se revisarán las condiciones de presión, contenido de oxígeno y punto de rocío del nitrógeno, la presión del gas deberá ser positiva aún si el tiempo es muy frío; el contenido de oxígeno deberá ser menor de 1% y el punto de rocío deberá ser - - prácticamente el mismo que tenía en el momento de embarque en fábrica; si la presión del gas es " cero " o " negativa " , el contenido de oxígeno y el punto de rocío serán mayores que los esperados y existe la posibilidad de que los aislamientos del transformador estén contaminados con aire y humedad de la atmósfera, por lo que será necesario tomar las medidas necesarias para someter el transformador a un riguroso proceso de secado, después de su armado.

Punto de rocío es la temperatura a la que la humedad contenida en un gas se condensa; por lo que a mayor temperatura - de punto de rocío, indica mayor contenido de humedad en el - - gas. El punto de rocío de un gas se mide por medio de un higrómetro, y entre los más conocidos son de la marca ALNOR y Parametrics. La medición consiste básicamente en que el higrómetro toma una muestra del gas ( nitrógeno ) contenido en el transformador y sobre ésta se efectúa la medición del punto de rocío.

Las figuras 3.12 y 3.13 muestran los tipos de higrómetros - -



suficientes dos horas como máximo.

Se debe evitar que objetos extraños caigan o queden dentro del transformador, para lo cual, todos los artículos que se puedan perder, deberán eliminarse de las bolsas de la ropa de todo trabajador que esté dentro y sobre el tanque del transformador; todas las herramientas que se usen deberán ser amarradas con cinta de algodón, lino o vidrio y aseguradas al tanque externamente.

Durante la revisión interna, las actividades más relevantes que se deben realizar son las siguientes:

- Se realizará una verificación minuciosa sobre la sujeción del núcleo y bobinas, así como sobre posibles desplazamientos.
- Se verificará el número de conexiones a tierra del núcleo, revisando su conexión y probando su resistencia a tierra.
- Se realizará una inspección visual de terminales, barreras entre fases, estructuras y soportes aislantes, conexiones y conectores.
- Se revisarán los cambiadores de derivaciones, verificando contactos y presión de los mismos en cada posición.
- Se revisarán los transformadores de corriente y terminales de boquillas, verificando soportes y conexiones.
- Se realizará una inspección general para verificar que no haya vestigios de humedad, polvo, partículas metálicas y cualquier material extraño y ajeno al transformador.

Si durante la revisión interna se encuentran o se confirman daños internos, los cuales pueden atribuirse a un manejo rudo, golpes o aceleraciones durante el transporte o durante

el armado en fábrica se deberá notificar al transportista, al fabricante y a la compañía aseguradora.



FIGURA 1.2

REPORTE DE INSPECCION Y REVISION

SUBESTACION: \_\_\_\_\_

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

LOCALIZACION: \_\_\_\_\_

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

TRANSFORMADOR  
AUTOTRANSFORMADOR  
REACTOR  
NUEVO  
REPARADO  
USADO

MARCA  
SERIE No.  
CAPACIDAD  
TENSIONES: AT KV BT KV  
TERCIARIO KV  
CONEXIONES AT BT T  
MONOFASICO TRIFASICO

NUCLEO: TIPO COLUMNAS  
TIPO ACCRAZADO

SILICA GEL INTERIOR SI NO  
SOPORTES INT..TRANSPORTE SI NO

NUCLEO Y BOBINAS

SUJECION BIEN Y FIRME  
SUJECION FLOJA  
FALTAN TORNILLOS.  
SOPORTES ROTOS  
TIERRAS NUCLEOS BIEN  
PANTALLA BIEN

FALTAN PARTES  
FALTAN AISLAMIENTO  
BOBINAS DESPLAZADAS  
BOBINAS GOLPEADAS  
TIERRAS NUCLEOS DESC.  
PANTALLA DAÑADA

ESTRUCTURA AISLANTE.

BIEN  
ROTA  
GOLPEADA  
SUELTA

GUIAS TERMINALES:

BIEN  
ROTAS  
CORTAS  
SUELTAS

CANBIADOR DE TAPS.

BAJO CARGA SI NO  
MONTADO SI NO  
DAÑADO  
GOLPEADO  
MANEJO AUTORIZADO  
MANEJO MANUAL

CONTACTOS MOVILES BIEN SI NO  
CONTACTOS FIJOS BIEN SI NO  
FLECHAS Y PERNOS BIEN SI NO  
CARDAN (ES) BIEN SI NO  
GUIAS DERIVACIONES BIEN SI NO  
INDICADOR DE POSICION BIEN SI NO

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

INTERIORES SI NO  
EN CIRCUITO SI NO

TRANSFORMADORES BIEN SI NO  
CONEXIONES BIEN SI NO

ACCESORIOS

BRIDAS BIEN SI NO  
BOMBA (S) ACEITE BIEN SI NO  
VENTILADORES BIEN SI NO  
GABINETE DE CONTROL BIEN SI NO  
ESQUILLAS BIEN SI NO  
DISPOSITIVOS SOBRE BIEN SI NO  
PRESION.

FALTAN ACCESORIOS BIEN SI NO  
VALVULAS RADIADORES BIEN SI NO  
VALVULAS VARIAS BIEN SI NO  
BOMBA (S) BIEN SI NO  
TUBERIAS CONDUIT BIEN SI NO  
BUCHHOLZ BIEN SI NO

REVISADO POR:



CAPITULO II

ARMADO

Los transformadores de gran capacidad y Extra Alta Tensión, para facilitar su manejo y transporte se construyen en secciones modulares separadas, como son el tanque principal, tapa o cubierta, sección de cambiador de derivación bajo carga, secciones para salida de boquillas, tanque conservador, válvulas y tuberías; las partes mencionadas son selladas con tapas provisionales ( bridas ciegas ), las que se eliminan durante el armado; el montaje se debe realizar en base a las instrucciones particulares de cada fabricante y tomar las precauciones recomendadas en el capítulo anterior para la revisión interna sobre el contenido de oxígeno y llenado preliminar, si los trabajos internos duran más de un día, durante la noche o períodos que no se trabajen los transformadores deberán ser sellados y presurizados.

El manejo e instalación de boquillas se hará siempre en posición vertical, con las consideraciones indicadas para cada tipo según el fabricante, las boquillas deberán estar perfectamente limpias y secas, se deberán tener precauciones especiales, para que durante su manejo y montaje, no se excedan cargas mecánicas sobre sus extremos, superiores a límites de diseño, que pudieran ocasionar roturas graves de su porcelana.

Para el montaje de las boquillas primeramente deberán retirarse las bridas ciegas que sellan las bridas donde se fijan éstas. La boquilla se levanta con una maniobra como la indicada en la figura 2.1 y se coloca sobre su brida apretando sus tornillos. Posteriormente se retira la campana superior, y se introduce através de la boquilla la terminal trenzada de la bobina que corresponda asegurándola con sus pernos de sujeción a la terminal rígida superior de la boquilla, colocándose la -

la campana y verificando la correcta instalación de sus empaques ( figura 2.2 ) . Para ésta actividad se requiere que una persona se introduzca através del registro-hombre para checar la correcta instalación de las terminales de las bobinas.

Cuando las boquillas del transformador van a ser conectadas a elementos rígidos, o se van a usar conexiones externas de agua o aceite, deberá preverse la expansión o contracción para evitar esfuerzos excesivos en las boquillas o conexiones de tubería y proteger las válvulas, boquillas y aditamentos -- contra deformaciones.

Para el caso de los radiadores, éstos se montarán después de efectuar el secado y llenado del transformador; en ésta fase sólo se montarán sus válvulas y se sellarán con brida ciega intercalando empaque de neopreno.

Para el montaje de los radiadores después del llenado, se verificará que las válvulas estén cerradas antes de retirarles las bridas ciegas, y éstos, al igual que las boquillas, deberán manejarse siempre en posición vertical lavándolos perfectamente con aceite limpio y caliente ( 25 - 35°C ) . Antes de -- abrir las válvulas es necesario llenar los radiadores con aceite tratado y de abajo hacia arriba por medio de las tomas que para éste caso existen instaladas y selladas con tapón macho, evitándose así la entrada de aire hacia el transformador al momento de abrir las válvulas. Después de que se instalaron todos los radiadores y que fueron abiertas sus válvulas, se deberá reponer el poco nivel que haya descendido el aceite del -- transformador.

Al igual que los radiadores, el tanque conservador, tuberías y válvulas de aceite deberán lavarse con aceite limpio y

caliente antes de su instalación, la cual puede efectuarse antes del secado pero sin instalar el relevador Buchholz sellando la tubería con bridas ciegas.

También se procederá con el montaje del indicador de nivel, termómetro de devandos y termómetro del aceite. El relevador de sobre presión se instalará después del llenado sellándose su brida de sujeción con una brida ciega.

Para el montaje de los accesorios mencionados, se utilizan una gran variedad de empaques en cuanto a forma y tamaño - se refiere, ya que por lo que respecta al material, dependiendo del fabricante podrá ser de uno o dos tipos cuando mucho, - corchoneopreno y neopreno o nitrilo; los empaques deberán estar limpios, así como las superficies y alojamientos donde deberán colocarse y su montaje se hará con cuidado y comprimidos uniformemente para garantizar un sello perfecto.

Al montarse los cambiadores de derivaciones, se verificará su operación correcta en ambos sentidos, así como en cada posición se haga contacto completo en cuanto a área y presión para una de las derivaciones. Todas las conexiones eléctricas que manejan corriente, deberán limpiarse cuidadosamente antes de soldarse o unirse con conectores mecánicos (atornillados). Se confirmará la operación de los indicadores de nivel, flujo y temperatura antes de sellar el tanque.

Al terminar de armar el transformador y perfectamente sellado, se procederá a probar su hermeticidad presurizándolo - con aire o nitrógeno secos a una presión de 10 lb/pulg<sup>2</sup>, verificando que no haya fugas, explorando con la aplicación de jabonadura en todas las uniones con soldaduras, juntas y empaques, en caso de encontrarse con fugas, éstas deberán ser co--

rregidas antes de proceder al secado o llenado definitivo del-  
transformador.

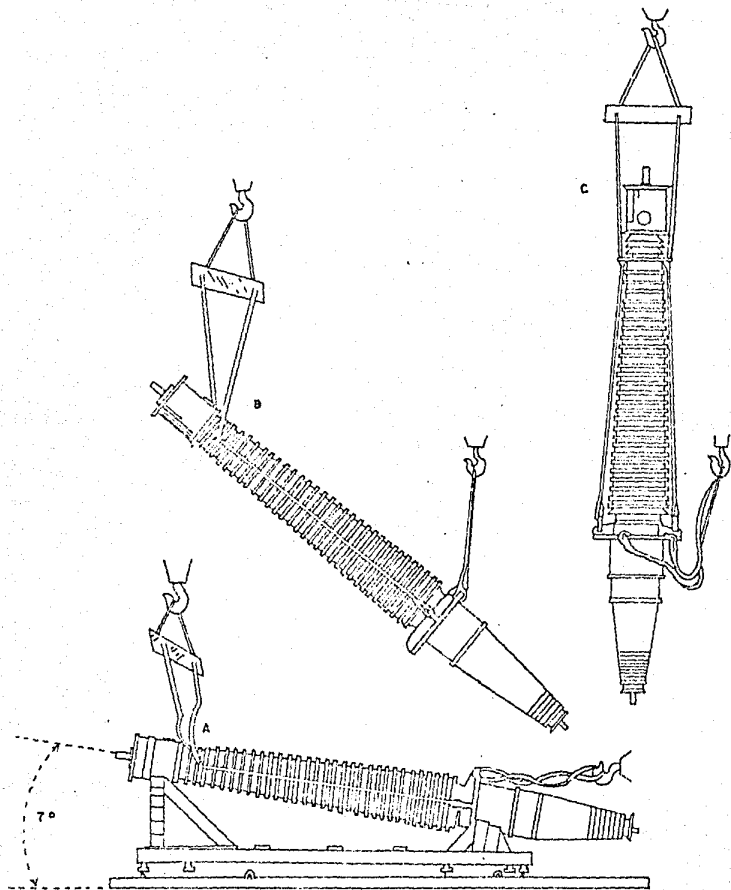


FIG. 2-1 METODO PARA LEVANTAR UNA BOQUILLA

1. CONEXION SUPERIOR RIGIDA
2. CONEXION FLEXIBLE TRENZADA
3. CORAZA SUPERIOR
4. NIVEL DE ACEITE
5. PORCELANA AISLANTE
6. TUBO PRE-TENSADO GUIA
7. ACEITE AISLANTE
8. CUERPO DEL CONDENSADOR
9. REGISTRO PRUEBA TAP. CAP.
10. PLACA DE MONTAJE
11. EXTENSION PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE
12. AISLAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR
13. CONEXION INFERIOR

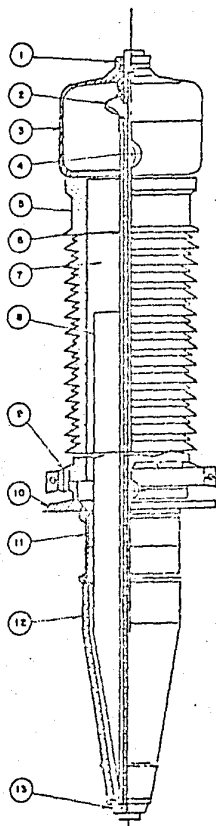


FIG. No. 2.2 MONTAJE DE UNA BOQUILLA

CAPITULO III

DETERMINACION DE HUMEDAD  
RESIDUAL Y SECADO



En éste capítulo se describen los procedimientos de campo recomendados para la determinación de la humedad residual en aislamientos sólidos de transformadores de potencia. Además, en forma general se describe cómo afecta el agua contenida en los aislamientos en detrimento de sus propiedades, ante elementos tales como calor y esfuerzos eléctricos.

### 3.1 ) AISLAMIENTOS SOLIDOS EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Los aislamientos sólidos de los transformadores de potencia están compuestos principalmente por papel, cartón y madera; generalmente un 95% de éstos aislamientos son papel " Kraft " y cartón ( " Press Board " ), los cuales tienen como principal componente la celulosa, la que desde el punto de vista químico está considerado como una cadena de glucosa.

Los tipos de papel utilizados en transformadores son el kraft y crepé con sus variantes, dependiendo del fabricante, el cual los somete a diferentes tratamientos a fin de reforzar determinadas características; entre ellas están la resistencia dieléctrica, resistencia al desgarrar, temperaturas de utilización, envejecimiento, etc. El papel kraft tiene como origen el pino silvestre de las regiones nórdicas, teniendo muy buenas propiedades mecánicas ( resistencia a la tracción y a los desgarrarres ) y una buena permeabilidad al aire, la cual facilita la evacuación del aire aprisionado entre las capas de los bobinados, pero es un material higroscópico conteniendo de 8 a 10% de su peso en humedad.

El papel crepé dada su forma, facilita enormemente el encintado de formas irregulares, teniendo también excelentes ca-

racterísticas mecánicas mecánicas y una relativa permeabilidad al aire.

Actualmente algunos fabricantes están utilizando dos tipos de papel especialmente tratados para los encintados de las bobinas; el papel de las capas interiores tiene buenas propiedades dieléctricas y las capas exteriores son de magníficas características mecánicas, pero las higroscópicas son similares a los normalmente usados.

La función principal de los aislamientos sólidos en transformadores es formar una barrera dieléctrica, capaz de soportar la diferencia de potencial a que están sujetas las diferentes partes del equipo, así como mantener el flujo de corriente principal por una trayectoria predeterminada, con el objeto de evitar trayectorias de corriente no deseadas (circuito corto). Para ésto es necesario mantener en óptimas condiciones de operación los aislamientos.

### 3.2 ) HUMEDAD EN LOS AISLAMIENTOS SOLIDOS

Con los nuevos voltajes de transmisión cada vez más elevados, el secado casi perfecto de los transformadores ha tomado una importancia vital para la instalación y operación de los mismos. El factor importante en el proceso de secado de transformadores es el agua residual permisible en los aislamientos.

El método de secado en fábrica varía según el constructor, siendo los más comunes aire caliente y vacío, vapores calientes y vacío, y aceite caliente y vacío. Todos los métodos tienden a reducir la humedad a 0.2% o menos por peso de los aislamientos secos, la temperatura del transformador se mantie

ne entre 85 y 95°C no excediendo los 100°C y se aplica un alto vacío de fracciones en mm de Hg, hasta que la humedad que se extrae diariamente ( colectada en una trampa de hielo seco a menos de 20°C ) es insignificante en relación al agua remanente en el transformador.

Para transformadores de 150 a 300 MVA la cantidad de aislamiento puede alcanzar 10 toneladas, teniendo 15 litros más o menos de agua para una humedad residual de 0.15% ; en el proceso final de secado las cantidades de agua extraídas tendrán que ser sólo una fracción mínima comparada con los 15 litros residuales; para éstos transformadores el proceso de secado en fábrica puede alcanzar 15 días o más, dependiendo del voltaje de la unidad y el volumen y geometría de las estructuras aislantes. A continuación se ilustra un método de secado de un transformador moderno en fábrica.

En la primera etapa o presecado se colocan las bobinas previamente prensadas en un tanque especial al cual se le hace un vacío de 20 mmHg, para prueba de fugas y desalojo de aire, a continuación se inyecta vapor de un solvente especial a una temperatura de 140°C y una presión absoluta entre los 70 y 140 mmHg. y una presión absoluta entre los 70 y 140 mmHg., después de estar circulando el vapor y ya que se uniformiza la temperatura entre 120 y 130°C , se extrae el vapor de solventes y se hace un vacío de 2 mmHg., posteriormente se inyecta aceite aislante hasta cubrir totalmente las bobinas para su impregnación, se decaloja el aceite, se extraen bobinas y se prensa para dimensiones finales, se procede a ensamblar núcleo-bobinas, herraje de sujeción, cambiador de taps, etc., se introduce en su tanque y se efectúa el secado final dentro de su propio tanque, -

con circulación de aceite caliente entre 90 y 100°C, y un vacío menor de 1mmHg., como paso final se determina la humedad residual por cualquiera de los métodos descritos más adelante.

La presencia de agua afecta considerablemente la rigidez dieléctrica, tanto del papel como del aceite, disminuyendo ésta hasta límites peligrosos dentro de los esfuerzos a que están sometidos éstos materiales, originados por las tensiones de operación de los equipos de que forman parte.

Los efectos sobre las características eléctricas del papel y del aceite se muestran en las gráficas 3.1 y 3.2; en la figura 3.2 se ve la afectación del factor de potencia del papel de acuerdo a su contenido de humedad y variación de temperatura; en la figura 3.1 se ve cómo varía la rigidez dieléctrica del aceite según el contenido de agua.

El calor provoca degradación tanto en el papel como en el aceite y es originada por cambios químicos que afectan la estabilidad de sus propiedades mecánicas y eléctricas, y ésta degradación depende de muchos factores: la habilidad del papel para resistir la degradación térmica es disminuída por la presencia de contaminantes orgánicos, la retención de productos originados por su propia degradación, por la naturaleza del medio y por la presencia de humedad.

Los efectos de la degradación, conocida como envejecimiento sobre las propiedades mecánicas del papel según su contenido de humedad, se pueden ver claramente en las figuras 3.3 y 3.4.

Para conocer el estado de los aislamientos, naturalmente se efectúan pruebas eléctricas, como mediciones de resistencia de aislamiento y de factor de potencia y de acuerdo con éstos-

resultados y las tensiones de operación del equipo, se concluyen si están en buenas condiciones; éstas pruebas dan cierta seguridad en la actuación de los aislamientos ante esfuerzos eléctricos, no siendo así en lo que se refiere a la degradación térmica de los mismos, ya que éste es dependiente de la humedad continua entre ellos.

En vista de lo anterior, se ha creado la necesidad de disminuir al mínimo el contenido de agua de los aislamientos, así como el desarrollo de nuevos métodos para determinación exacta de la humedad residual, tanto en el papel como en el aceite.

### 3.3 ) DETERMINACION DE HUMEDAD RESIDUAL

Se entiende por humedad residual, la cantidad de agua expresada en % del peso total de los aislamientos sólidos que permanece en ellos al final de un proceso de secado; actualmente se usan dos métodos: el que determina ésta humedad residual a partir de la presión de vapor producida por ésta en un medio al vacío ( el propio tanque del transformador ), y últimamente el que usa la medición del punto de rocío de un gas en contacto con los aislamientos, los cuales se describen en detalle a continuación:

#### A ) Método del abatimiento de vacío

La presión absoluta dentro de un transformador es originada por el movimiento molecular de un gas, en éste caso vapor de agua desprendido por los aislamientos, con la medición de ésta presión y la temperatura de los devanados podremos determinar el % de humedad residual contenido en los aislamientos.

Al terminar el armado total del transformador ya debidamente sellado, las bridas del tanque conservador y radiadores, se le extrae todo el aceite y se hace una prueba de presión positiva con nitrógeno a 10 Lbs/Plg<sup>2</sup> durante 24 horas, de no haber problemas de fugas, se deja a presión cero.

Se conecta el equipo de vacío y el vacuómetro de mercurio ( figura 3.5 ) y se procede a efectuar vacío hasta alcanzar un valor estable, durante 4 horas o más.

Con éste valor máximo estable se toma una última lectura de vacío, se procede a cerrar la válvula entre el tanque del transformador y el equipo de vacío; se toman las lecturas de vacío cada cinco minutos por un lapso de una hora máximo.

Cuando tres lecturas sucesivas tengan el mismo valor, ésta será la presión de vapor producida por la humedad residual, a la temperatura que se encuentran los devanados del transformador.

En el caso de que las lecturas de vacío no se estabilicen y se salgan del rango del vacuómetro, tendremos el transformador húmedo o en su defecto con fugas.

Se determina la temperatura de los devanados, preferentemente por el método de medición de resistencia óhmica.

Con los valores de presión de vapor y temperatura, se determina la humedad residual de los aislamientos sólidos del transformador, utilizando la figura 3.6.

Es necesario probar a brida ciega el equipo para conocer el vacío máximo que puede alcanzar, con el objeto de saber si a la temperatura a que están los devanados es capaz de obtener el vacío correspondiente, para la humedad máxima permitida ( 0.2% o menores en transformadores secos ); ésta prueba se --

realiza a la temperatura ambiente entre 10 y 40°C, el equipo - deberá ser capaz de obtener un vacío en un banco entre 5 y 75- micrones ( ver figura 3.6 ) .

Para la medición de la resistencia óhmica ( se puede usar un óhmetro para bajas resistencias ) que discrimine la resis- tencia de conexión de prueba, se recomienda el uso del doble - puente de Kelvin.

Se debe leer el instructivo del medidor de vacío para no- incurrir en lecturas erróneas.

#### B ) Método del Punto de Rocío del gas ( nitrógeno o aire )

El punto de rocío de un gas es por definición, la tempera- tura a la cual la humedad presente ( vapor de agua contenido - en el gas ) comienza a condensarse sobre la superficie en con- tacto con el gas; en base a éste valor se puede determinar so- bre un volúmen conociendo la cantidad total de agua contenida- en él, así como su humedad relativa. La cantidad de agua en el papel ( impregnado ) se determina como una función de la hume- dad relativa del gas con el cual está en contacto cuando está- expuesto, hasta alcanzar condiciones de equilibrio entre sus - respectivas humedades.

En la actualidad existe la suficiente experiencia para de- cir que la técnica de determinación de humedad por éste método es adecuado y con suficiente presión. El procedimiento general consiste en llenar el transformador con un gas seco ( aire o - nitrógeno ) , de tal manera que al cabo de un cierto tiempo, - en el cual se alcance el estado de equilibrio de humedad, se -

mida el punto de rocío del gas y con éste valor determinar la humedad residual en los aislaminetos. A continuación se detallan los pasos necesarios punto por punto, para efectuar la determinación de ésta humedad residual:

Al terminar con el armado total del transformador ya debidamente sellado las bridas de tanque conservador y radiadores, se le saca todo el aceite y se procede a efectuar vacío hasta alcanzar 1 mmHg o menos y se mantiene en éstas condiciones por 4 horas.

Al término del tiempo fijado en el punto anterior, se rompe el vacío con aire o nitrógeno seco, teniendo cualquiera de ellos un punto de rocío de 45°C o menos y se presuriza el transformador con 1 a 5 Lbs/Plg<sup>2</sup> y se mantiene en éstas condiciones por 24 horas, tiempo suficiente para alcanzar el punto de equilibrio.

Alcanzando el punto de equilibrio se efectúa la medición del punto de rocío del aire o nitrógeno.

Se determina la temperatura de los devanados, preferentemente por el método de medición de resistencia óhmica.

Con el valor de punto de rocío medido y la presión del gas (aire o nitrógeno) dentro del transformador, se determina la presión de vapor en la figura 3.7.

Con la presión de vapor y la temperatura de devanados se determina la humedad residual con la gráfica 3.6.

Para la determinación del punto de rocío, se puede usar cualquier higrómetro de los que existen en el mercado; los más usados son el ALNOR y PANAMETRICS 2000 (figuras 3.8 y 3.9 respectivamente).



## B.1 ) Higrómetro ALNOR

El medidor de punto de rocío ALNOR se usa para determinar el punto de rocío de una mezcla de gas-vapor de agua. Cuando una mezcla de gas-vapor de agua se enfría, hay una temperatura a la cual el agua empezará a condensarse; por definición ésta-temperatura es conocida como punto de rocío.

La compañía " ALNOR " fabrica tres tipos diferentes de -- instrumentos para la medición del punto de rocío; para nuestro caso el más adecuado es el tipo No. 7000U de 115V c.a 50/60Hz, o 75V c.d. para operarlo con batería ( fig. 3.12 ) .

Los pasos de éste procedimiento son :

Conecte el instrumento a la fuente de c.a. ( 115 V ) o -- bien use la batería.

La conexión entre el tanque del transformador y el instru-mento, deberá ser de cable flexible, lo más corta posible y ve-rificando la limpieza de ésta, sus conexiones deberán estar -- bien apretadas, además se debe colocar una válvula de corte y -- un filtro externo entre el instrumento y el tanque del trans--formador.

Antes de operar el aparato deberá ser ajustado como - --- sigue:

- Coloque la válvula de operación en posición fuera.
- Abra la válvula de purga para asegurar que no existe presión en el instrumento.
- Oprima la válvula del medidor y gire el tornillo de la uni--dad de ajuste hasta que el menisco de la columna de aceite - coincida con el 1º de la escala.
- Libere la válvula del medidor.

NOTA: Si el transformador tiene presión positiva, ciérrase la válvula de corte y desconéctese el aparato antes de proceder al ajuste.

- Cierre la válvula de purga y bombee hasta que el medidor alcance una lectura de 0.5, abra la válvula de purga y el menisco deberá regresar en unos cuantos segundos a el 1 de la escala, en caso de que no regrese, repita el ajuste.

#### Precauciones:

Nunca oprima la válvula del medidor a menos que la válvula de operación esté fuera, la válvula de purga abierta y la válvula de corte cerrada.

Abra la válvula de purga, coloque la válvula de operación en posición fuera y abra la válvula de corte, deje fluir el gas através del aparato operando la bomba de émbolo repetidas veces, con objeto de efectuar un barrido que desaloje todo el gas que contenía el instrumento y obtener una lectura de punto de rocío de la muestra de gas.

Cierre la válvula de purga, bombee la muestra del gas en el instrumento hasta obtener un valor de 0.5 en la escala, observe dentro de la ventana de la cámara de niebla y presione hacia abajo la válvula de operación sin dejar de ver por la ventana; si se forma niebla en el cono de luz, será necesario probar a un valor más alto en la escala, repita la prueba hasta encontrar dos valores en la escala contiguos, con una diferencia no mayor de 0.01, donde se presente y no la niebla en la cámara. El valor intermedio entre éstos dos será el valor correcto de la relación de presión.

Con éste valor de relación de presión y la temperatura — del gas ( leído en el termómetro del instrumento ) , entramos al calculador de punto de rocío ( suministrado junto con el — instrumento ) y obtenemos el valor de temperatura de punto de rocío.

Recomendaciones y precauciones que se deben seguir al aplicar el método descrito:

Para la medición de la resistencia óhmica, se puede usar un óhmetro para bajas resistencias que discrimine resistencia de conexiones de prueba; se recomienda el uso del doble puente de Kelvin.

Durante las 24 horas que se mantiene presurizado el transformador, se recomienda que se efectúen mediciones periódicas del punto de rocío para asegurarse que efectivamente se alcanzó el punto de equilibrio al estabilizarse las lecturas.

Antes de hacerse la determinación de la humedad residual y como se describió, se puede hacer una determinación preliminar; ésto es, determinar el punto de rocío del nitrógeno — que trae el transformador desde fábrica y que debe mantenerse durante su transporte, ésta medición se hará antes de cualquier maniobra de inspección interior y armado, ajustando la — presión a las condiciones ya prescritas.

El valor de humedad así determinado será de utilidad para una apreciación preliminar del tiempo necesario para la puesta en servicio del transformador, ya que en caso de conocerse la — humedad residual con que salió de la fábrica, nos dará una — idea de las condiciones en que llegó .

No se debe tomar como temperatura de los devanados la temperatura de algunos de los termómetros del transformador, ya - que éste se encuentra sin aceite y dará valores erróneos.

#### B.2 ) Higrómetro Panametrics-

Basados en experiencias de campo de ingenieros de mantenimiento, se ha llegado a la conclusión de que el mencionado - equipo no es adecuado para usarlo en el campo, debido a que - las celdas sensoras pierden calibración con el uso de campo y - no existen en el país los medios para calibrarlos, figura 3.13.

El uso de éste equipo queda limitado para equipos fijos - de fábricas, laboratorios y talleres.

#### 3.4 ) VALORES MAXIMOS ACEPTABLES DE HUMEDAD RESIDUAL EN AISLA- MIENTOS SOLIDOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

La experiencia de grandes fabricantes de transformadores, recomienda la necesidad de que el secado de éste equipo sea menor de 0.5% de humedad residual.

El contenido de humedad de 0.2 a 0.3% es un buen valor de trabajo, humedad residual abajo de 0.1% además de ser una condición difícil de obtener, no es recomendable por los efectos - en el papel mismo y la posible pérdida de vida del aislamiento. Se ha demostrado por varios investigadores, que el contenido de agua de aislamiento fibroso se equilibra a un nivel go-bernado por la presión de vapor y la temperatura del medio aislante.

Concluyendo tendremos como norma los siguientes valores - de % de humedad residual en transformadores:

CLASE	HUMEDAD RESIDUAL EN %	
	MINIMO	MAXIMO
69 a 86 KV	0.40	0.70
115 a 161 KV	0.30	0.50
230 a 400 KV	0.20	0.30

En fechas recientes los fabricantes están utilizando exclusivamente la temperatura del punto de rocío como base para determinar si el equilibrio está seco o húmedo.

### 3.5 ) SECADO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

El objetivo de secar un transformador es eliminar del bobinado y del núcleo la humedad y los gases que hayan podido quedar dentro de los mismos, y dejarlos dentro de límites aceptables para la operación confiable del transformador.

Los aislamientos sólidos de los transformadores de potencia están compuestos principalmente por el papel, cartón y madera, los cuales llegan a representar el 95% de éstos aislamientos; éstos materiales en sus diferentes tipos y variantes, son altamente higroscópicos conteniendo de 8 a 10% de su peso en humedad en condiciones de saturación.

El papel aislante tiene una gran afinidad por agua y mucho menor por el aceite aislante, por lo que generalmente absorberá agua además del aceite; la cantidad de agua en el papel será siempre mayor que en aceite; el papel seco absorbe —

agua más rápidamente que el papel impregnado en aceite, el - - cual tiene un rango más abajo de absorción de humedad; el agua dentro del papel afecta la rigidez dieléctrica, el factor de potencia, envejecimiento y rigidez mecánica; el efecto sobre la rigidez dieléctrica del papel impregnado en aceite su muestra en la figura 3.2 .

Para eliminar el agua presente en los aislamientos, es necesario transformarla en vapor y expulsarla a la atmósfera, lo anterior se puede lograr con calor, aumentando la temperatura hasta el punto de ebullición del agua o disminuir la presión atmosférica, hasta el punto de lograr la ebullición de la misma, a temperatura ambiente.

La aplicación de vacío tiene dos propósitos:

- a) Expandir y extraer el gas ( en su mayoría aire ) contenido dentro de un espacio cerrado.

Esta expansión de gas ayuda a la expulsión de la humedad presente.

En la figura 3.8 se muestra la expansión del gas, al reducirse la presión a la que se encuentra sujeto; ésta curva está basada en un volumen unitario de gas a 760 mmHg, o sea, la presión atmosférica al nivel del mar.

- b) Reducir el punto de ebullición del agua contenida en forma de humedad dentro de los aislamientos, con lo cual su evaporación se acelera; al convertirse el agua en vapor, éste puede ser evacuado rápidamente, jnto con los gases por medio de la bomba de vacío.

En la figura 3.9 se muestra el punto de ebullición del agua en función de la presión absoluta.

Puesto que la humedad presente en los aislamientos, afecta grandemente las características dieléctricas de los mismos,

es necesario determinar los límites máximos permisibles, de acuerdo con los niveles de voltaje de los transformadores.

Para transformadores de nivel de voltaje de 69 KV y menores se deberá alcanzar una humedad residual de 0.7% .

Para transformadores de nivel de voltaje de 115KV y hasta 161 KV, se deberá alcanzar una humedad residual de 0.5% .

Para transformadores de nivel de voltaje de 230 KV y 400 KV, se deberá alcanzar una humedad residual de 0.3%.

#### A) Método con alto vacío

Uno de los métodos para secar un transformador dentro de su tanque, consiste de sujetarlo a vacíos muy altos a temperatura ambiente, durante largos periodos de tiempo, de acuerdo con la expansión y extracción de su humedad a los límites establecidos.

Para lograr los vacíos muy altos requeridos, es necesario utilizar bombas de vacío, del tipo rotatorio de un solo paso selladas con aceite, capaces de alcanzar vacíos del orden de 50 micrones ( 0.050 mmHg ) y en algunos casos complementar estas bombas con un soplador ( Booster ) en serie con las mismas, con lo que es posible alcanzar hasta un micrón ( 0.001 mmHg ); los valores anteriores son logrados a brida ciega y los alcanzados dentro del transformador dependerán de las fugas que se tengan.

Para aplicación del método de secado con alto vacío continuo, deberá seguirse el siguiente procedimiento ( ver figura-3.10 ) :

- Armado del transformador según se explicó en capítulo II.

- Verificación de fugas, aumentando presión del nitrógeno hasta 10 Lbs/Plg<sup>2</sup> , y localizándolas con espuma de jabón.
- Instalación de bomba de vacío, conectada al tanque del transformador, en su parte superior, ya sea en el registro-hombro o en el tubo de sobrepresión, la tubería de conexión especial para alto vacío deberá ser de un diámetro de 2 a 4 pulgadas, dependiendo de la capacidad de la bomba, la longitud deberá ser las más corta posible.
- Entre la bomba de vacío y el tanque del transformador, se -- instalará en cuanto sea posible, una trampa de hielo seco, -- para atrapar la humedad extraída por la bomba al condensar -- el vapor de agua.
- Expulsar el nitrógeno del tanque hasta tener una presión manométrica, de aproximadamente cero.
- Poner en servicio bomba de vacío y dejarla operando continuamente, hasta alcanzar un vacío correspondiente a la residual deseada.
- Cerrar válvula principal de vacío y parar bomba; checar abatimiento de vacío para detectar fugas en el tanque, al tener se una tendencia " lineal " pronunciada en la pérdida de vacío.
- En caso de haber fugas, sería necesario detectarlas y corregirlas en caso de ser grandes y no puedan ser compensadas -- con la capacidad de la bomba.
- Continuar con el proceso, vigilando el progreso en el alto -- vacío, y por otro lado la colección de agua en la trampa, -- cuando se use; de acuerdo con éstos parámetros determinar -- tentativamente el punto en que se alcance el grado de secado esperado.



- Parar el proceso y determinar la humedad residual alcanzada de acuerdo al procedimiento de abatimiento de vacío. Si se ha logrado el grado deseado se da por terminado el proceso de secado.
- Después de romper el vacío con nitrógeno de alta pureza, -- confirmar la humedad residual por el método de punto de rocío.

#### B) Método con alto vacío y calor

El método de secado con alto vacío y calor aplicado, tiene por objeto acelerar la ebullición, expansión y extracción del agua en forma de vapor, obteniéndose secados de transformadores en tiempos muy cortos.

El alto vacío se logra de la misma manera que en el método anterior, y el calor es proporcionado por aceite previamente calentado por circulación a través de un grupo de resistencias, y a su vez circulado dentro del tanque del transformador por un rociador ( regadera o boquillas ) bañando los devuados.

Este método se puede aplicar en dos variantes, dependiendo del equipo disponible en sitio y de acuerdo con los siguientes procedimientos:

##### B.1 ) Método continuo con alto vacío y calor aplicado

- Instalación dentro del transformador del sistema de regaderas o boquillas; al efectuar éste trabajo se expulsará el nitrógeno, por lo que se deberán tomar las medidas de segu-

ridad necesarias.

- Instalación de la tubería y bomba para aceite, así como del grupo de resistencias para su calentamiento ( ver figura - - 3.11 ) .
- Instalación de bomba de vacío, conectada al tanque del transformador, en su parte superior, ya sea en el registro-hombre o en el tubo de alivio; la tubería de conexión especial para alto vacío deberá ser de un diámetro de 2 a 4 pulgadas.
- Entre la bomba de vacío y el tanque del transformador, se — instalará en cuanto sea posible, una trampa de hielo seco, — para atrapar la humedad extraída por la bomba.
- Verificación de fugas, aumentando presión del nitrógeno hasta 10 Lbs/Flg<sup>2</sup> , y localizándolas con espuma de jabón ( incluyendo el sistema de aceite ) .
- Poner en servicio bomba de vacío y dejarla operando continuamente, hasta alcanzar un vacío correspondiente a la humedad-residual deseada.
- Cerrar válvula principal de vacío y parar bomba; checar abatimiento de vacío para detectar fugas en el tanque, al tener se una tendencia " lineal " pronunciada en la pérdida de vacío.
- En caso de haber fugas, sería necesario detectarlas y corregirlas en caso de ser grandes y no pueden ser compensadas — con la capacidad de la bomba.
- Introducir aceite al transformador, en una cantidad entre el 10 y 20% del volumen de aceite total, procurando que el nivel se mantenga a la altura de la parte inferior de las bobinas y que tenga como mínimo una altura de un metro.

NOTA: El aceite empleado en el proceso, será utilizado exclusivamente para ésto y nunca se usará como aislante en condi--

ciones normales de operación, ya que se degrada al calentarlo.

- Poner en servicio el sistema o circuito de aceite, circulando y calentándolo hasta alcanzar una temperatura máxima estabilizada a 90°C en el aceite.
- Poner en servicio bomba de vacío y continuar con el proceso, vigilando el progreso en el alto vacío y por otro lado la colección de agua en la trampa, cuando se use; y de acuerdo con éstos parámetros determinar tentativamente el punto en que se alcance el grado de secado esperado.
- Parar el proceso y determinar la humedad residual alcanzada de acuerdo al procedimiento de abatimiento de vacío. Si se ha logrado el grado deseado se da por terminado el proceso de secado.
- Romper vacío con nitrógeno de alta pureza y confirmar la humedad residual por el método de punto de rocío.

## B.2 ) Método cíclico con alto vacío y calor aplicado (fig.3.11)

Quando el método anterior no se puede realizar de forma continua, por no disponer de una bomba de aceite, capaz de recircular aceite en condiciones de alto vacío dentro del transformador, se procederá a efectuar ciclos alternos de calentamiento y de vacío. Considerando los mismos primeros once pasos y a continuación procediendo como sigue:

- Suspender circulación de aceite, parando bomba y cerrando válvulas de entrada y salida de aceite en el tanque del transformador, cuando la temperatura que se alcance en los devanados sea como mínimo de 70°C.

- Proceder a poner en servicio bomba de vacío y mantenerla operando, hasta que la temperatura en los devanados descienda - hasta 30°C.
- Romper vacío con nitrógeno o aire seco ( punto de rocío ---- -40°C ) y volver a iniciar un ciclo de calentamiento con ---- circulación de aceite caliente, hasta alcanzar nuevamente un mínimo de 70°C en los devanados.
- Se repite la operación de circular el aceite caliente.
- Se continúa con los ciclos necesarios, hasta que los parámetros de medición, de abatimiento de vacío al cual de cada ciclo, y el control de agua extraída de la trampa de hielo seco, nos indiquen que se ha alcanzado el grado de secado deseado.
- Parar el proceso y determinar la humedad residual alcanzada de acuerdo al procedimiento de abatimiento de vacío. Si se ha logrado el grado deseado se da por terminado el proceso de secado.
- Romper vacío con nitrógeno de alta pureza y confirmar la humedad residual por el método de punto de rocío.

### 3.6 ) APENDICE Y RECOMENDACIONES GENERALES

Vacío.- Por definición, el término " vacío " significa un espacio cuyo contenido de aire o gases es teóricamente cero; con el concepto anterior, se define el " vacío absoluto " . En la práctica el término " vacío " se aplica a cualquier espacio, - cuyo contenido de aire o gases provocan una presión absoluta - menor que la atmosférica medida a nivel del mar; el rango de - variación de la presión de los gases abajo de la atmosférica, - es lo que determina los diferentes " grados " de vacío.

## Medición de Vacío

La medición del vacío más comúnmente usada, es por la presión absoluta provocada por los gases, medida en términos de columna de mercurio ( Hg ) ; las unidades pueden ser: pulgadas, milímetros o micrones, dependiendo del grado de vacío medido. A continuación se muestran las unidades y sus equivalencias:

$$1 \text{ Atmósfera} = 14.7 \text{ Lbs/Plg}^2 = 1.033 \text{ Kg/Cm}^2$$

$$1 \text{ Atmósfera} = 29.92 \text{ Plg.Hg} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ Torr} = 1000 \text{ micrones Hg}$$

## Medidores de Vacío

Existen varios tipos de medidores que pueden usarse en el campo, para la medición del vacío alcanzado dentro de los tanques de los transformadores, y su aplicación dependerá del grado de vacío que se pretenda medir:

- a) Medidor Bourdon.- Este medidor consiste de un tubo o diafragma, conectado al sistema de bajo vacío, ligados mecánicamente a una aguja, la cual indicará la presión sobre una carátula graduada. Este medidor se emplea generalmente en " bajos " vacíos ( presiones absolutas altas ).
- b) Medidor Termopar.- Este medidor consiste de un par termoelectrónico, encerrado en un tubo de vidrio o metal, el cual es insertado en el recipiente bajo vacío, cualquier cambio de presión provoca un cambio de temperatura en el termopar, lo que a su vez provoca un potencial en milivolts, que convertido a medición de presión, puede dar lecturas directas en una carátula graduada. Estos medidores tienen un rango -

de 1 micrón Hg a 20 Torr, y se emplean generalmente en --  
" altos " vacíos ( presiones absolutas bajas ).

- c ) Medidor tipo McLeod.-- Este medidor consiste básicamente -  
de un tubo capilar de vidrio, el cual contiene mercurio; -  
el arreglo o conformación de éste tipo depende de los rangos -  
que se pretendan medir, así como de los diseños de los  
propios fabricantes de éste medidor; éste tubo va conecta-  
do al recipiente bajo vacío, midiendo directamente la presi-  
ón absoluta por el peso del mercurio desplazado.

Estos medidores son de muy alta precisión, sus rangos ---  
pueden variar desde 20 Torr hasta 1 micrón, y es el tipo-  
más comúnmente usado. ( figura 3.12 ) .

#### Recomendaciones

En resumen, en un proceso de secado de transformadores se  
pueden usar los tres tipos de medidores mencionados: el a) y -  
b) según avance el proceso de vacío y el c) para calibrar el -  
tipo b) ; en caso de dudas y de que no se disponga del b), se  
puede usar el c) ( Tipo Mc Leod ), con las precauciones neces~~a~~  
rias por ser un equipo muy delicado; éstas precauciones van en  
caminadas a evitar: la oxidación del mercurio y la entrada de  
éste al tanque del transformador.

Lo anterior se logra instalando una válvula entre el medi-  
dor de vacío y el tanque del transformador, así como únicamen-  
te poner en servicio el medidor en el momento de tomar la lec-  
tura.

## Bombas de vacío de pistón rotatorio con sello de aceite

De la gran variedad de bombas disponibles en el mercado, la unidad más comúnmente usada para el secado y llenado de transformadores es la de pistón rotatorio con sello de aceite de una sola etapa; éstas bombas son capaces de llegar a una presión de 10 micrones a " brida ciega " ; el rango normal de operación es entre 0.05 y 100 Torr. La bomba más común para el secado de transformadores es la de 150 cfm ( pies cúbicos por minuto ) .

### Efecto del vapor de agua

A una temperatura de 21°C el agua empezará a desprenderse del tanque del transformador, así como del núcleo y bobinas a una presión absoluta de 20 Torr.

Esta agua causa varios problemas en las bombas de vacío, el vapor de agua entra a la bomba y es mezclado y barrido con el aire alrededor de la carcasa con el punto de descarga. En éste 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 y el agua mezclada es expuesta al alto vacío, se volverá a evaporar y expandir ocupando eventualmente la cavidad de la bomba, evitando la entrada de cualquier cantidad de aire o gases; en éste momento se suspende el proceso de vacío sobre el transformador, por lo que el aceite de la bomba deberá ser reemplazado o regenerado.

## Booster ( reforzador mecánico )

Las bombas de un solo paso mencionadas anteriormente pueden manejar gases y vapores hasta que se alcanzan presiones de 20 Torr, y que a temperaturas de 21.5°C, el agua empieza a desprenderse rápidamente de los aislamientos del transformador; - el bombeo de grandes cantidades de agua limita severamente la habilidad de éstas bombas para alcanzar y mantener las "bajas" presiones absolutas necesarias para el secado de transformadores.

En las condiciones mencionadas se puede usar un Booster, - el cual es un soplador seco, con una presión de 20 Torr o menos en la descarga y no es afectado por vapores condensables, - estos vapores pasan através del booster y son expulsados a la atmósfera por la bomba de un solo paso, a pesar de que algo de vapor de agua es retenido y mezclado con aceite de ésta bomba. Como mencionamos anteriormente, la " alta " presión en la succión de la bomba ocasiona que se pueda manejar más agua y en consecuencia, la capacidad del sistema Booster-bomba de vacío se verá aumentada considerablemente:

## Medición de Temperatura

La medición de temperatura de los aislamientos del transformador en proceso de secado es muy importante, ya que ésta - representa el parámetro más útil para el control del proceso, - y sobre todo para la determinación exacta del grado de secado - alcanzado ( humedad residual ) . Esta medición es difícil realizarla prácticamente en el campo, por lo que se recomiendan -



los siguientes métodos:

- a) Instalar previamente el proceso de secado de una manera provisional, un mínimo de tres termopares haciendo contacto -- directo con el papel y/o cartones aislantes de las bobinas, localizados estratégicamente de acuerdo al tipo de bobinas- y aislamientos.

Se deberá poner especial cuidado en sellar perfectamente- la entrada de éstos termopares al tanque del transformador, a través de una brida especial para éste uso.

- b) Por medición de resistencia óhmica, utilizando preferente- mente un puente doble de Kelvin; haciendo la conversión de- variaciones de resistencia a temperatura, considerando como base mediciones a temperatura ambiente. La fórmula aplicada será:

$$t_2 = t_1 + \left( \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} \right)$$

Donde:

t<sub>2</sub>= Temperatura final

t<sub>1</sub>= Temperatura inicial

R<sub>1</sub>= Resistencia inicial

R<sub>2</sub>= Resistencia final

α= Coeficiente térmico de resistencia

= 0.00393 para el cobre.

- c) El criterio actualmente utilizado, aunque es el de uso general es el menos recomendable, ya que la temperatura de los- aislamientos es estimada en base a las temperaturas indica- das en los termómetros instalados en el circuito de aceite-

y en el termómetro instalado sobre el tanque del transformador; ésta última indicación no es confiable, pues el pozo de medición está en un medio de alto vacío, que actúa como aislante del calor entre éste y los aislamientos.

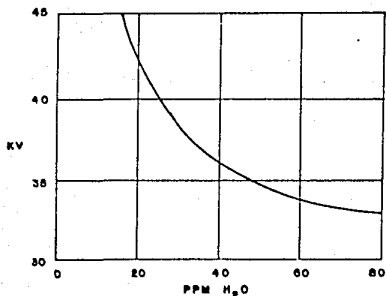


FIG 31. VARIACION DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE AISLANTE CON SU CONTENIDO DE AGUA

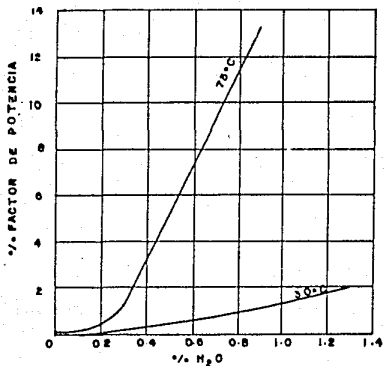


FIG 32. VARIACION DEL FACTOR DE POTENCIA DEL PAPEL KRAFT CON SU CONTENIDO DE AGUA

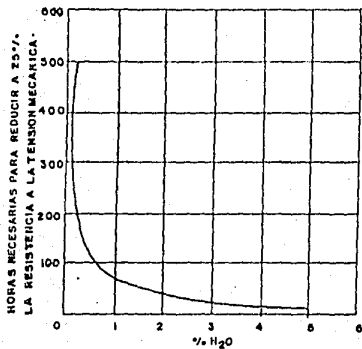


FIG. 3-3 - EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL PAPEL SOMETIDO A ENVEJECIMIENTO A UNA TEMPERATURA DE 150°C.

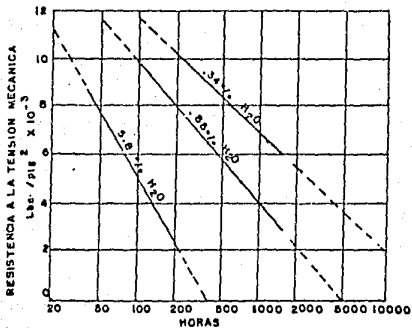
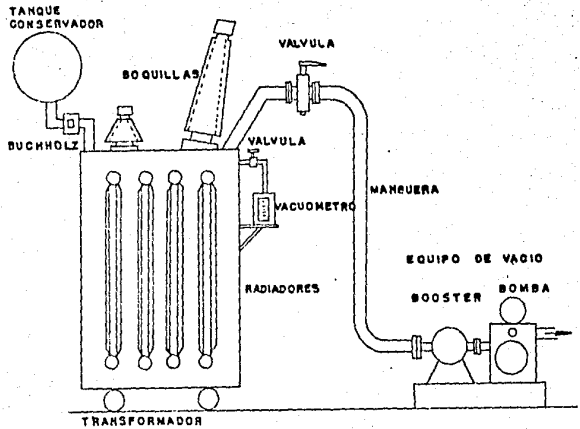


FIG. 3-4. ENVEJECIMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO EN ACEITE, A UNA TEMPERATURA DE 130°C.

FIGURA 3-5



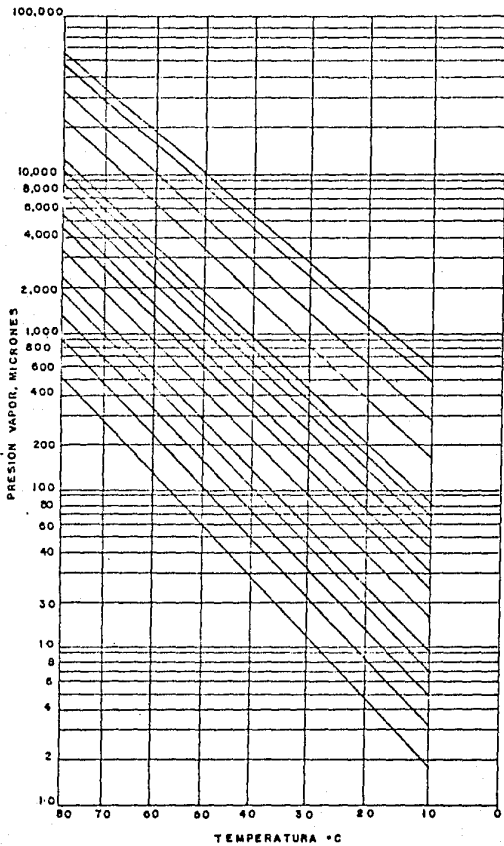


FIG. 3-6 - GRAFICA DE EQUILIBRIO DE HUMEDAD

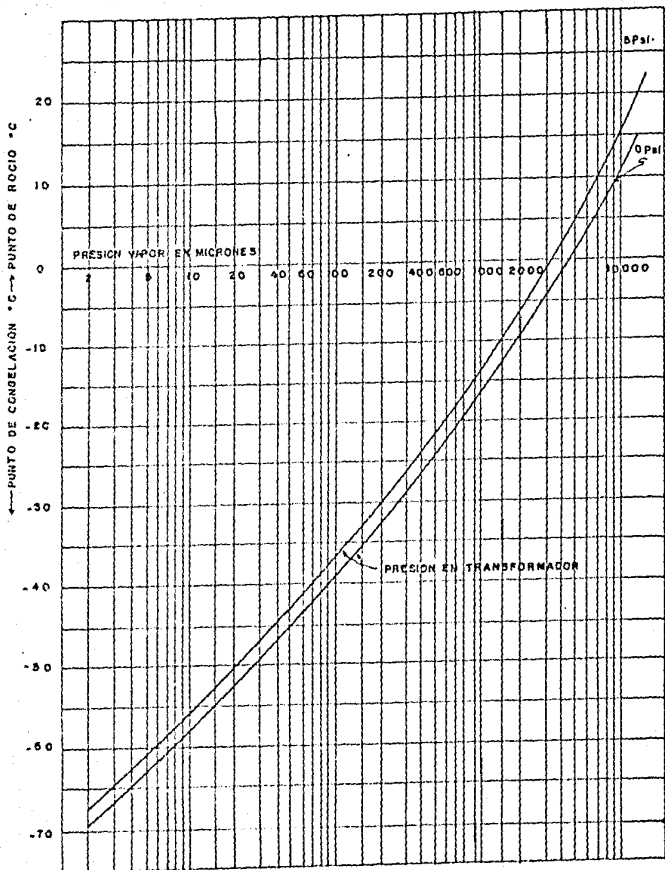


FIG-3-7- CONVERSION DE PUNTO DE ROCIO A PRESION VAPOR

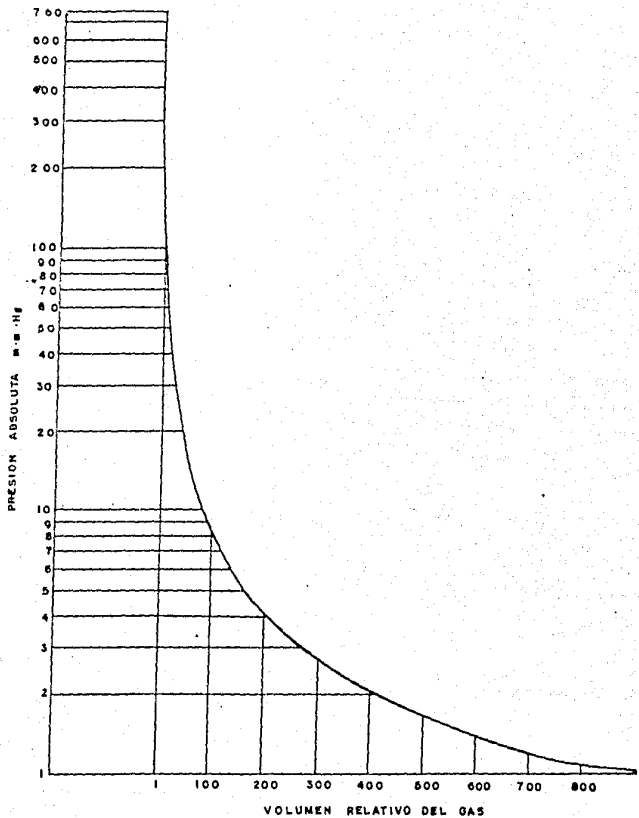
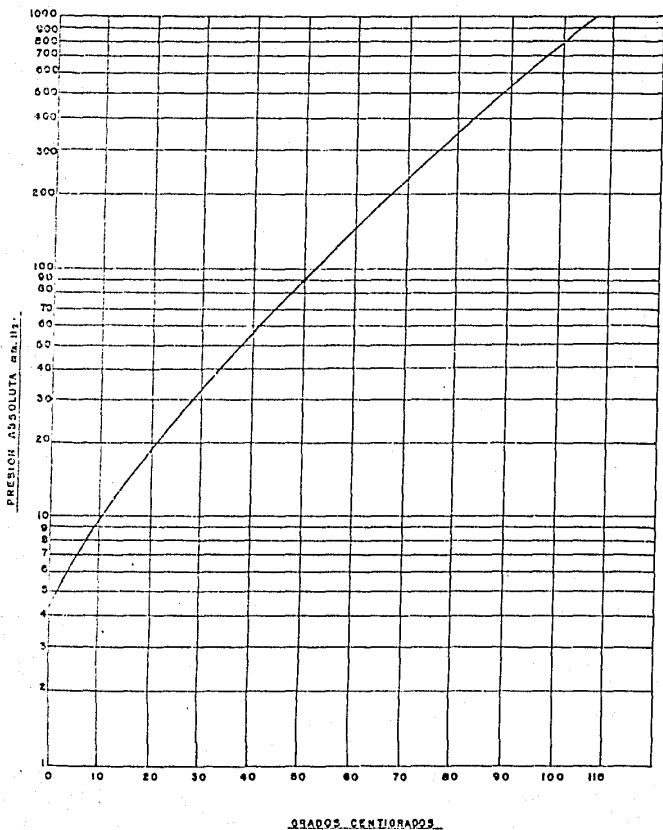


FIG-3-B-VOLUMEN RELATIVO DEL GAS EN FUNCION DE  
PRESION ABSOLUTA



FIG-3-9. PUNTO DE EBULLICION DEL AGUA  
EN FUNCION DE PRESION ABSOLUTA



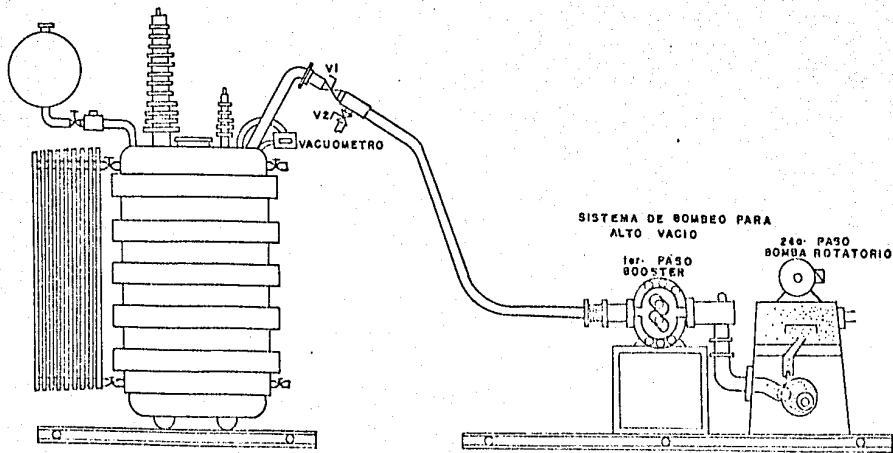


FIG. 3-10- METODO CONTINUO DE ALTO VACIO

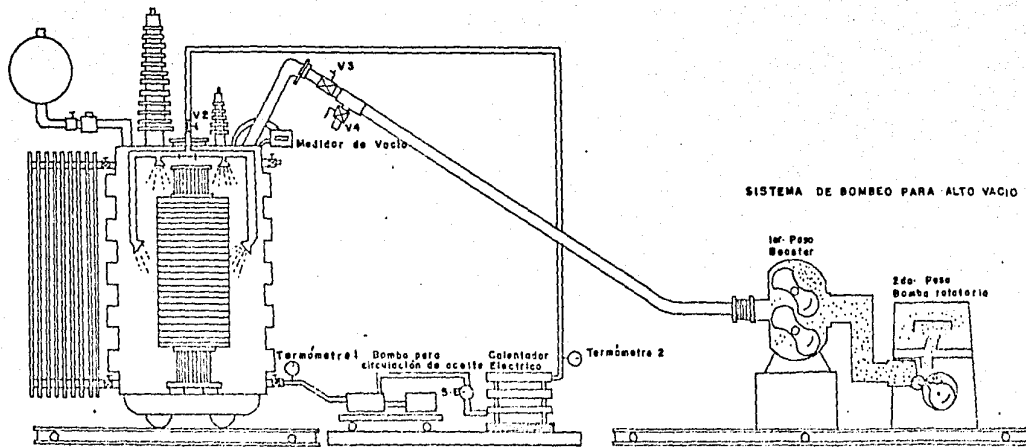
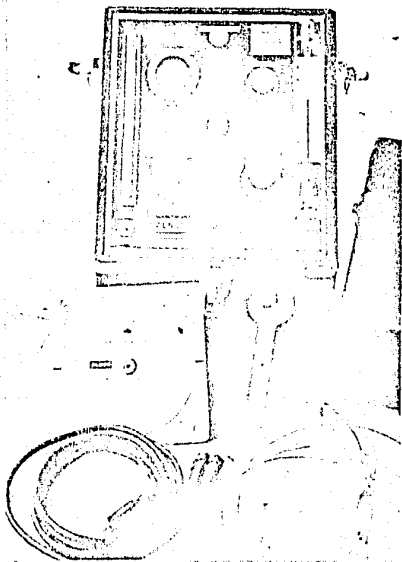
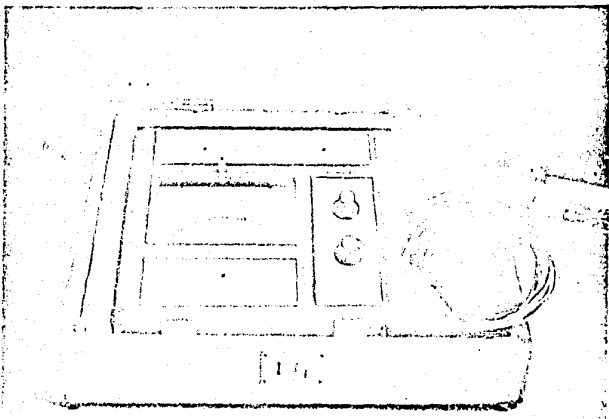


FIG. 3-II- METODO CONTINUO CON ALTO VACIO Y CALOR APLICADO



EQUIPO PROBADOR DE PUNTO DE ROCIO MARCA

A L N O R



EQUIPO PROBADOR DE PUNTO DE ROCIO MARCA  
PANAMETRICS 1000

CAPITULO IV  
ACONDICIONAMIENTO DEL ACEITE  
AISLANTE Y LLENADO

Con los procesos previos al llenado con aceite para los transformadores, se pretende que el aceite aislante se encuentre libre de aire y de agua, contaminantes que casi siempre están en cantidades superiores a los límites de operación, aún en aceites recién abtenidos en la refinería. El contenido total de agua que se encuentra presente en el aceite, está en forma libre o en solución; la solubilidad del agua en el aceite es una función de la temperatura. En condiciones normales un aceite en ausencia de agua libre contiene menos agua en solución que su valor de saturación.

El aire y otros gases son solubles en el aceite ( el término soluble se usa en función del fenómeno físico de absorción del gas por el líquido ). Básicamente la solubilidad del aire en el aceite depende principalmente de la presión absoluta, a la presión atmosférica al nivel del mar. El contenido de aire y gases es aproximadamente 11% en volúmen.

Aunque el aire y el agua en solución son invisibles, los cambios de presión y temperatura pueden ponerlos en forma libre y son factores determinantes desde el punto de vista eléctrico. Como ambos contienen oxígeno, contribuyen a la oxidación del aceite y causan un cambio de condición, formando ácidos y lodos ( proceso que se acelera en presencia de catalizadores como el cobre ), reduciendo su capacidad dieléctrica, haciendo inadecuado como aislante eléctrico.

Para una operación segura y confiable dentro del equipo eléctrico, es necesario reducir el contenido de agua en solución, hasta una concentración tal que no uparezca como agua libre cuando la temperatura del equipo en operación descienda a su más bajo nivel; así mismo se debe eliminar el aire y los —

gases hasta el punto en el cual no salga de la solución cuando la presión baje también al mínimo nivel.

Existen varios procesos para la eliminación del agua y — los gases disueltos contenidos en el aceite.

#### 4.1 ) HERVIDO

Una forma de eliminar el agua en el aceite hervirlo a temperatura ligeramente superiores al de la ebullición del agua, — manteniendo ésta temperatura para permitir que el agua sea expulsada poco a poco. A tales temperaturas el contenido del — agua soluble aumenta rápidamente y en ese estado el agua no — puede ser eliminada únicamente por la elevación de temperatura. Con éste proceso el contenido de agua al final será superior de 700 PPM . Además, si en un momento dado alcanza temperaturas de 120-130°C debido a sobrecalentamiento, el aceite empieza a oxidarse o sea, comienza a carbonizarse perjudicando — sus propiedades aislantes. Por lo tanto, éste método no es adecuado para nuestros fines.

#### 4.2 ) DESECANTES DE ABSORCION

Los desecantes de absorción para la deshidratación se han usado muy poco. Estos desecantes eliminan también algunos aditivos e inhidores del aceite. Requieren mucho tiempo de contacto, siendo ésta una de las limitaciones de su uso; ya que alarga demasiado las actividades para poner en servicio el transformador.



#### 4.3 ) FILTRO PRENSA

El filtro prensa consiste de una serie de láminas de papel secante con una porosidad adecuada para el filtrado, colocadas una después de otra, a través de las cuales se pasa el aceite a presión. El filtro prensa mientras permite un alto flujo limpio, no removerá el agua y tenderá a acelerar el aceite; los papeles filtro rápidamente se saturan con agua y poco a poco se van destruyendo con los sedimentos, causando una contrapresión y una reducción de la capacidad de filtrado. Así mismo se pueden desprender fibras del papel y ser arrastradas por el aceite; para obtener una operación satisfactoria, los papeles filtro se deben cambiar con frecuencia, aunque esto es un inconveniente, ya que el aire que lleva el papel es absorvido por el aceite, además es difícil determinar cuando un papel está realmente saturado. Los métodos 4.2 y 4.3 se emplean más para disminuir la acidez y carbón respectivamente en aceites usados.

#### 4.4 ) CENTRIFUGACION

Los separadores centrífugos, aprovechando la diferencia de pesos específicos, separan el agua libre y los sólidos en suspensión del aceite, haciéndolos girar a gran velocidad. Sin embargo, mediante la centrifugación se removerán únicamente los sólidos en suspensión y parte del agua libre, obteniéndose a la salida un aceite con mayor contenido de agua en solución que cuando entró, además de que no se retiran los gases disueltos en el aceite.

#### 4.5 ) DEGGASIFICACION Y DESHIDRATAACION

Este proceso es hasta la fecha el más eficiente. Por medio de un abatimiento de la presión absoluta y eventual calentamiento del aceite, es posible eliminar prácticamente toda el agua y los gases contenidos en el aceite.

Aunque de acuerdo a experiencias, el elevar la temperatura para deshidratar y degasificar aceite aislante puede ser negativo, ya que provoca que se oxide prematuramente disminuyendo la vida útil del aceite, aún cuando las condiciones iniciales del mismo se encuentren dentro de especificación; por lo tanto es altamente recomendable tratarlo a la temperatura ambiente.

La presión absoluta necesaria para el tratamiento del aceite aislante, depende de las características deseadas como valores límites a partir de la cantidad de agua y aire iniciales en el aceite; el equipo de tratamiento debe garantizar el obtener una presión absoluta abajo del punto de ebullición del agua.

Existen otros factores que impiden la eliminación completa del agua que son : presión hidrostática y tensión superficial. Por medio de agitación se puede vencer la presión hidrostática, llevando el agua desde el seno del aceite en donde se encuentra, hasta la superficie del mismo y la tensión superficial se rompe bajando la presión absoluta hasta que el vapor de agua tenga un volumen necesario para que la diferencia de densidades sea tal, que el agua se libere en forma de vapor.

El procedimiento seguido es el de reducir la relación de volúmenes en un momento dado, mediante la formación de pelicu-

las o gotas pequeñísimas, con objeto de proporcionar una mayor superficie de contacto con el vacío de la cámara. La formación de éstas gotitas se efectúa mediante la inyección a presión — del aceite a través de un filtro de fibra de vidrio o espumas, que tiene la propiedad de cortar en aceite en pequeñas partes. El filtro se coloca en la cámara de vacío y a la salida se producirá la deshidratación y desgasificación adecuada. El proceso se efectúa en forma continua hasta que los valores de pruebas del aceite sean aceptables.

En la figura 4.1 se muestra un recipiente hermético que — contiene una emulsión de agua de aceite, se muestran dos gotas de agua ( a ) y ( b ) ; se nota que sobre la gota ( a ) existe una presión que depende de la altura ( h ) de la columna de — aceite directamente sobre ella y que ocurre debido a la dife—rencia de gravedades específicas; como antes se dijo, por agi—tación u otro procedimiento, la presión hidrostática desaparece, entonces el agua ( a ) estará en la superficie al igual — que ( b ), ahora será necesario romper la tensión superficial, para ésto se abate la presión absoluta.

En la figura 4.2 se muestra una típica curva de un aceite aislante, en la que se muestra la cantidad de agua contenida — en el aceite en el punto de saturación en función de la tempe—ratura.

En la figura 4.3 se muestra la curva resultante del punto de ebullición del agua en función del vacío.

En la figura 4.4 se muestra la curva resultante de la cantidad de aire y gases contenidos en el aceite en función del — vacío.

El uso de éstas gráficas puede dar el procedimiento a se—guir en cuanto a las condiciones que se deben obtener en el —

equipo.

La figura 4.2 muestra la posibilidad de pasar agua en solución a agua libre mediante un abatimiento de la temperatura; una vez que esté libre es fácilmente removible mediante un abatimiento de presión ( figura 4.1 ) .

La figura 4.4 muestra que es posible la extracción del -- aire con una aplicación devacío necesario hasta obtener la -- cantidad de aire y gases aceptables contenidos en el aceite, -- o sea, en principio hasta conjugar los parámetros de presión y temperatura adecuados para obtener resultados satisfactorios.

La presión y temperatura adecuada para la obtención del -- aceite deseado dependen del aceite a tratar; si por ejemplo se requiere un contenido de agua de 30 PPM y 1% de aire y gases, -- de la figura 4.2 se obtiene aproximadamente una temperatura de saturación de 14°C y a ésta temperatura el agua entra en ebullición a una presión absoluta de 30 mmHg ( figura 4.3 , la -- cual indica 96% de vacío ) .

De la figura 4.4 se obtiene que para el 1% requerido de -- aire y gases es necesario un vacío de 92% ( 60 mmHg absolu- -- tos ) .

Se nota que con la presión absoluta necesaria para eliminar agua, se obtiene un valor inferior al 1% de aire y gases-- contenido en el aceite. Sin embargo, siempre es conveniente ga rantizar la extracción del agua y el aire y gases, abatiendo -- la presión a menos del valor obtenido para la ebullición del -- agua.

## EQUIPO ( figura 4.5 )

Un equipo de desgasificación y deshidratación consta de:

- Cámara desgasificadora hermética
- Sistema de bombeo de alto vacío
  - a.- Soplador
  - b.- Bomba de alto vacío
- Sistema de enfriamiento de la bomba de vacío
- Tablero de control
- Calentadores eléctricos
- Bomba de alimentación de aceite sin tratar
- Bomba de descarga de aceite tratado
- Válvulas manuales y automáticas
- Medidor totalizador de flujo
- Manómetros de presión y vacío

De preferencia el equipo estará montado sobre una base común.

La cámara desgasificadora deberá estar constituida de acero al carbón y diseñada especialmente para trabajar al alto vacío; constará con indicador de presión absoluta, válvula de seguridad, válvula de control y válvula de rompimiento de vacío.

El aceite al recibirse en el lugar de su uso llega en tambores de 200 litros. A cada uno de ellos es conveniente tomarle una pequeña muestra con objeto de determinarle rigidez dieléctrica y aspecto visual; si pasa el valor límite se descarga hacia una bolsa de hule hermética y de gran capacidad " A "; - almacenándose el aceite hasta antes de su tratamiento; también puede llegar en pipas o carros tanque.

El tratamiento también consiste en succionar el aceite de

la bolsa por medio de una bomba de succión " B " , a la desc--  
carga se encuentra la línea de muestreo de aceite sin tratar,  
en seguida pasa a través de los calentadores eléctricos "C" ,  
en donde se eleva la temperatura del aceite a la necesaria, -  
aunque de preferencia no se deben usar éstos calentadores por  
las razones dichas anteriormente, de ahí se pasa a los difuso-  
res " D " en donde se atomiza el aceite dentro de la cámara -  
de vacío " E " en donde por medio del sistema de vacío " F " ,  
se mantiene la presión absoluta necesaria de la cámara de va-  
cío en donde se mantiene el nivel adecuado; se saca el aceite  
por medio de la bomba de descarga " G " , hacia el medidor de  
flujo; en la descarga de la bomba se tiene la línea de mues-  
treo de aceite tratado; el aceite se pasa de nuevo a la bolsa  
hermética de aceite tratado.

Normalmente con un buen equipo, con sólo un paso de acei-  
te, se obtienen las características deseadas, pero mediante -  
análisis ( contenido de agua y de gases ) , se determina si -  
es necesario continuar el tratamiento.

El buen muestreo del aceite es básico para la obtención-  
de resultados correctos; la influencia de la temperatura y hu-  
medad son decisivas; el muestreo deberá efectuarse sólo quan-  
do la temperatura del aceite sea igual o mayor que la del am-  
biente; con ésto se evita la condensación de humedad en el --  
aceite; así como cuando llueva o la humedad relativa sea supe-  
rior al 75% es conveniente no muestrear.

Los recipientes para el muestreo del aceite deben estar-  
completamente limpios, aún así deben enjuagarse con el aceite  
que se va a analizar.

Previamente se purga la línea de muestreo, limpiando el-

extremo con estopa cuidando de no dejar residuos de la misma;- a continuación se drena aceite lo suficiente para que al tomar la muestra ésta sea representativa.

Se pone el recipiente lo más cerca posible del muestreo,- cuidando de no permitir formación de burbujas, esto se obtiene dejando resbalar el aceite por las paredes del recipiente; también se puede usar un tubo de neopreno o similar lo suficientemente largo para permitir que llegue al fondo del recipiente y desplazar el aceite.

A continuación se indica un proceso típico de desgasificación y deshidratación de aceite aislante.

- 1.- Llegada de tambores o de la pipa. Análisis del aceite con pruebas de rigidez dieléctrica y factor de potencia.
- 2.- Succión del aceite de los tambores y transferir a la bolsa de almacenamiento.
- 3.- En caso de ser pipa, directamente a la bolsa de almacenamiento.
- 4.- Usando el equipo, efectuar vacío en el transformador hasta llegar al mínimo de presión absoluta  $\frac{1}{4}$  100 micrómetros. Esto después del secado del transformador.
- 5.- Recircular el aceite de la bolsa de almacenamiento al equipo tantas veces como sea necesaria, hasta obtener valores buscados de rigidez dieléctrica y factor de potencia.

De acuerdo a experiencias con sólo 3 vueltas completas al aceite contenido en un transformador, es suficiente para la obtención de resultados satisfactorios; con más de 5 -- vueltas al aceite, cambiando de color ( translúcido ó amarillo ); después aumentando los valores de estabilidad a la oxidación, disminuyendo la vida útil del aceite en for-

ma considerable.

- 6.- Llenado del transformador rompiendo el vacío en éste con el mismo aceite hasta alcanzar cubrir el núcleo y devanados.

Al inicio de la operación de tratamiento de aceites, el vacío inicial es alto ya que los gases y el aire así como el agua al extraerse aumentan la presión absoluta, cuando todo el aceite ha sido tratado y se empieza a recircular, la presión absoluta llegará a su mínimo nivel, al ocurrir esto, el aceite estará desgasificado y deshidratado.

Después de alcanzar a cubrir el núcleo y devanados del transformador con aceite aislante, se procederá a montar los radiadores, relevador Behholz y válvula de sobrepresión, para después continuar con el llenado total del transformador.

Antes de abrir las válvulas de los radiadores, es necesario llenarlos por separado de abajo hacia arriba para evitar la creación de burbujas.

Para determinar el nivel de aceite dentro del transformador conforme se va llenando, se puede instalar de cualquier válvula inferior una manguera transparente vertical, la cual nos indica el nivel por columna de aceite.

Se procederá también con el montaje de los ventiladores y del equipo de sello de nitrógeno ( Inertaire ) el cual proporciona el colchón de nitrógeno en el tanque conservador para evitar el contacto del aceite aislante con el aire durante los cambios de volumen por variaciones de temperatura ( figura 5.22 ) .



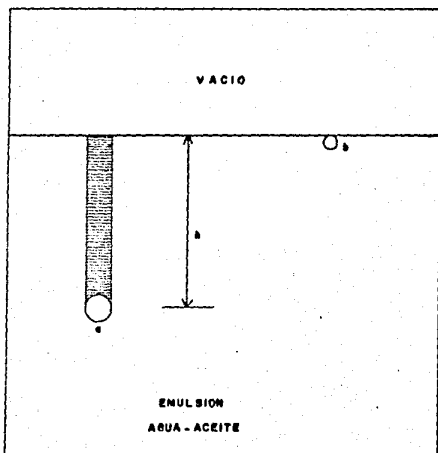


FIG. 4-1

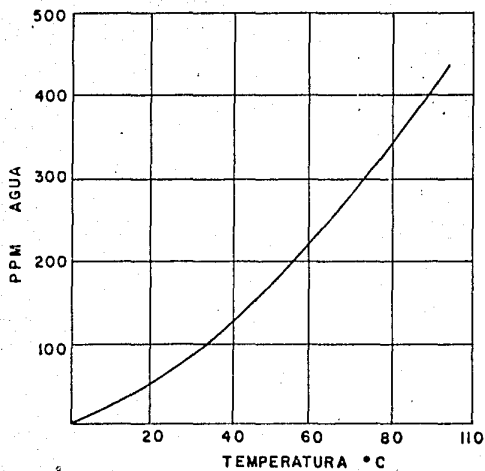


FIG. 4-2

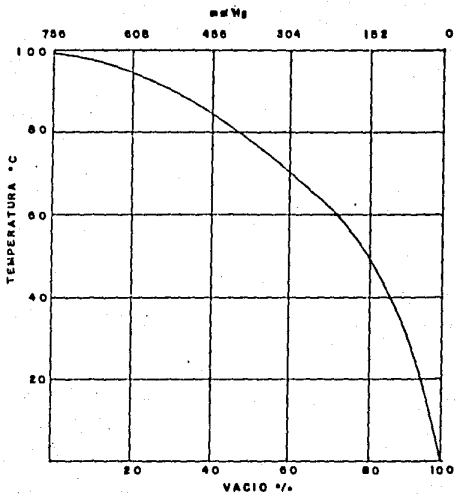


FIG. 4-3

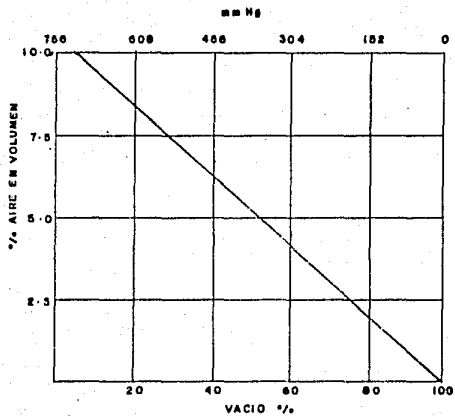
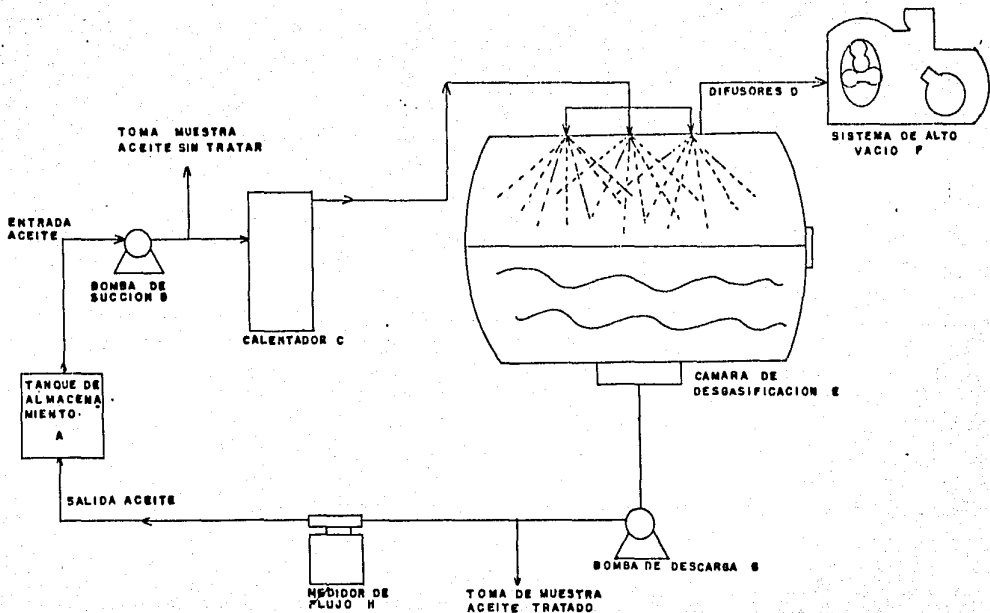


FIG. 4-4

FIG. 4-5 SISTEMA TÍPICO DE SOGASIFICACION Y DESHIDRATACION DE ACEITE



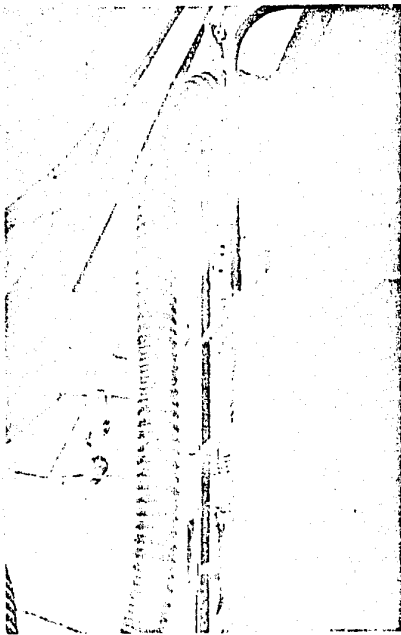


FIGURA 4. 5

MANGUERA DE ALTO VACIO PARA CONECTAR ENTRE  
LA BOMBA DE VACIO Y EL TANQUE DEL TRANSFOR  
MADOR.

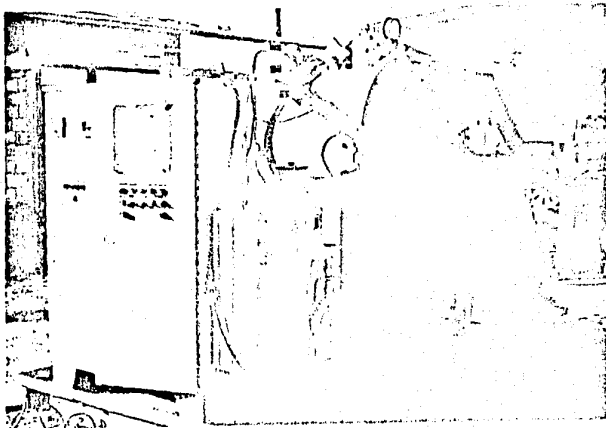


FIGURA 4.5

EQUIPO DE VACIO ( BOMBA Y REFORZADOR ) QUE INCLUYE CAMARA  
DESGASIFICADORA DE ACEITE, BOMBAS PARA TRASEGADO Y CALEN-  
TADORES DE LA MARCA STOKES - PENNWALT .

**CAPITULO V**  
**PRUEBAS ELECTRICAS**



En un sistema de distribución de corriente alterna se usan varios equipos para llevar la energía eléctrica desde la planta generadora hasta el consumidor pasando por las subestaciones y líneas de transmisión; entre los equipos más importantes de este sistema se encuentran los transformadores, los cuales deben ser capaces de dar un servicio continuo y, al mismo tiempo, -- operar económicamente. Si el aislamiento es débil o la temperatura de trabajo es alta, tienen el peligro de perder tanto su vida útil como sus propiedades y una falla prematura causará -- pérdidas enormes.

La medición de la resistencia de aislamiento ha sido utilizada como la prueba más común para determinar las condiciones -- de los aislamientos de un transformador y de su aceite.

También es importante controlar la relación de transformación de un transformador ya que ésta nos indicará la existencia de espiras cortocircuitadas o abiertas.

El transformador, completamente ensamblado y lleno con su aceite aislante, estará listo para realizarle una serie de pruebas y verificaciones finales antes de energizarlo y ponerlo en servicio. Estas son :

- 5.1) Pruebas de resistencia de aislamiento a sus devanados .
- 5.2) Pruebas de factor de potencia a los devanados .
- 5.3) Pruebas de factor de potencia a las boquillas .
- 5.4) Pruebas de relación de transformación en todos sus taps,
- 5.5) Pruebas de rigidez dieléctrica, factor de potencia y resistencia al aceite aislante .
- 5.6) Verificación de operación de dispositivos indicadores de -- temperatura, presión de nitrógeno y buchholz .

## 5.1 ) PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A SUS DEVANADOS

La Resistencia de Aislamiento se define como la resistencia ( en megohms ) que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo, como referencia se utilizan los valores de 1 a 10 minutos.

A la corriente resultante de la aplicación del voltaje de corriente directa a un aislamiento, se le denomina corriente de aislamiento y consiste de dos componentes principales:

a) La corriente que fluye dentro del volumen de aislamiento y está compuesta de:

a.1 .- Corriente Capacitiva.- Es una corriente de magnitud -- comparativamente alta y de corta duración, decrece rápidamente a un valor despreciable ( generalmente en un tiempo máximo de 15 segundos ) conforme se carga el aislamiento y es la responsable del bajo valor inicial de la resistencia de aislamiento.

a.2 .- Corriente de Absorción Dieléctrica .- Esta corriente - decrece gradualmente con el tiempo, desde un valor relativamente alto a un valor cercano a cero siguiendo una función exponencial. Generalmente en los primeros minutos de prueba, queda en gran parte determinados por la corriente de absorción. Dependiendo del tipo y volumen del aislamiento, ésta corriente tarda desde unos cuantos minutos a varias horas en alcanzar un valor despreciable; sin embar

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

go, para efectos de pruebas de Megger puede despreciarse - el cambio que ocurra después de 10 minutos.

a.3 .- Corriente de Conducción Irreversible .- Esta corriente fluye através del aislamiento y es prácticamente constante y predomina después de que la corriente de absorción se ha ce insignificante.

b) La corriente que fluye sobre la superficie del aislamiento y que se conoce como corriente de fuga. Esta corriente, al igual que la de conducción, permanece constante y ambas -- constituyen el factor primario para juzgar las condiciones de un aislamiento.

La resistencia del aislamiento varía directamente con el espesor del aislamiento e inversamente al área del mismo; --- cuando repentinamente se aplica un voltaje de C.D. a un aislamiento, la resistencia se inicia con un valor bajo y gradualmente va aumentando con el tiempo hasta estabilizarse.

A la curva obtenida cuando se grafican valores de resistencia de aislamiento contra tiempo, se le denomina curva de absorción dieléctrica y su pendiente indica el grado relativo de secado o humedad del aislamiento. Si el aislamiento está -- húmedo o sucio se alcanzará un valor estable en uno o dos minutos después de haber iniciado la prueba y se obtendrá una curva con baja pendiente.

La pendiente de la curva de absorción dieléctrica puede expresarse mediante la relación de dos lecturas de resistencia de aislamiento tomadas a diferentes intervalos durante la misma prueba. A la relación de 60 segundos entre 30 segundos se -

le conoce como INDICE DE ABSORCION y a la relación de 10 minutos entre 1 minuto como INDICE DE POLARIZACION.

Se recomienda antes de iniciar la prueba descargar los aislamientos mediante una conexión a tierra.

El aparato más utilizado para medir la resistencia de aislamiento es el óhmetro de indicación directa ( Megger ) accionado por motor; el cual se muestra en la figura 5.1 .

Este equipo consta de tres terminales : línea, tierra y - guarda. La primera y la segunda se conectan entre las terminales del aislamiento a medir y la tercera se conecta a la terminal que queremos no intervenga en la medición.

Las instrucciones generales para el uso del Megger son:

- a) Colocar el instrumento en una base y nivelarlo centrando -- la burbuja en el nivel que para éste fin tiene el aparato.
- b) Si el aparato es de voltaje múltiple, gire el selector de - voltaje hasta el valor que se requiera para efectuar la --- prueba.
- c) Verificar el infinito del aparato operándolo con las terminales desconectadas y gire el ajustador de la aguja hasta - que ésta indique infinito.
- d) Verificar que los cables del aparato no están abiertos co-- nectando línea y tierra entre sí. La lectura debe ser cero.
- e) Efectúe las conexiones indicadas en la figura 5.2 para --- transformadores de dos devanados y 5.3 para transformadores de tres devanados.
- f) Opere el aparato y tome las lecturas de los tiempos requeri-- dos anotando los resultados de acuerdo a las hojas de prueba de las figuras 5.4 y 5.5 para transformadores de 2 y 3 - devanados respectivamente. En ellas se indican las conexio-- nes a efectuar, los tiempos de lectura, los índices de ab--

socción y polarización, las correcciones por temperatura, -- así como los valores mínimos aceptables de resistencia de -- aislamiento de acuerdo al voltaje nominal del equipo.

## 5.2 ) PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA A LOS DEVANADOS

El factor de potencia es en el momento actual, la principal herramienta para juzgar con un mayor criterio las condiciones de los aislamientos de los diferentes equipos eléctricos, siendo particularmente recomendada para la detección de degradación, envejecimiento y contaminación de los mismos, -- pudiéndose afirmar que por éstas características es más relevante que la prueba de resistencia de aislamiento.

El propósito de ésta prueba es detectar fallas peligrosas en aislamientos por el método no destructivo, antes de que la falla ocurra, lo cual de ésta manera previene pérdidas de servicio y permite el reacondicionamiento oportuno de dicho aislamiento.

El factor de potencia de un aislamiento es el coseno del ángulo entre el vector de la corriente de carga y el vector -- del voltaje aplicado, obteniendo los valores directos de éstos factores a través de la medición de los volts-amperes de carga y las pérdidas en watts del dieléctrico bajo prueba, a un voltaje dado, medidos con un equipo especial.

El factor de potencia siempre será la relación de los --- watts de pérdida entre la carga en volts-amperes y el valor -- obtenido de ésta relación será independiente del área o espesor del aislamiento y dependerá únicamente de la humedad, la ionización y la temperatura, ya que un aislamiento, al estar -

en óptimas condiciones, su característica capacitiva será mejor y su ángulo entre el vector de corriente y el vector de voltaje tenderá a  $90^{\circ}$  ; o sea , su factor de potencia tiende a 0.

El principio básico de ésta prueba no destructiva, es la detección de algunos cambios medibles en las características de un aislamiento, que pueden asociarse con los efectos de agentes destructivos como el agua, el calor y el efecto corona y en general; un incremento apreciable de las pérdidas dieléctricas en C.A. de volts- amperes o factor de potencia de un aislamiento, es una indicación clara de deterioro. Para efectuar ésta prueba se utiliza el equipo probador de factor de potencia de la marca Doble Engineering tipo MEU de 2.5 KV, el de la figura 5.6.

Este probador es un instrumento de corriente alterna, diseñado para pruebas de aislamiento. Mide los volts-amperes y las pérdidas en watts del aislamiento, a un potencial de prueba hasta de 2500 volts, cuando el probador se conecta a una fuente de 60Hz . De éstas mediciones se puede calcular el factor de potencia.

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

$$\% \text{ Factor de Potencia} = \frac{\text{MW}}{\text{MVA}} \times 100$$

El equipo completo consiste de probador, caja de accesorios, cables de prueba para alto voltaje y celda de prueba para alto voltaje y celda de prueba líquidos aislantes.

El probador está montado en una caja que contiene los aparatos para controlar y suministrar el alto voltaje de acuerdo - al dato de placa del equipo bajo prueba, también contiene el - circuito de medición, el amplificador y los medidores, así como otros componentes tales como el switch reversible y switch selector de escalas.

La caja de accesorios contiene la extensión de 110 volts - c.a ., la extensión con interruptor de seguridad, cables de tierra, cables con pinzas, collares conductores y fusibles.

Es sumamente recomendable al ir a efectuar pruebas a los - equipos en donde se tenga porcelanas, que éstas deberán limpiarse perfectamente antes de efectuar la medición; la limpieza de berá hacerse utilizando perfectamente un solvente eléctrico, pu diendo ser éste clorothene; el objeto de ésta limpieza es el re tirar de la superficie de dicha porcelana, cualquier residuo de depósitos químicos contaminantes, sales, cementos, grasas, sili cones, etc.

También es recomendable abstenerse de efectuar la prueba - cuando las condiciones de humedad relativa en el ambiente, sean mayores del 70% , ya que la presencia de la humedad influenciará grandemente los valores obtenidos.

Para ésto es conveniente antes de efectuar la prueba, ha- cer una medición previa de humedad relativa, valiéndose para - ello de un higrómetro o psicómetro y cuyo valor obtenido se registraré en la hoja de prueba correspondiente.

Como es del dominio general, los valores de la resistencia de aislamiento se ven perfectamente aceptados por la temperatura, variando ésta de una manera directa en cuanto a la prueba - del factor de potencia, de ahí la necesidad de ajustar los valo

res obtenidos a una temperatura base, la cual por norma se ha establecido que sea 20°C.

Esto es con el objeto de poder hacer comparaciones y relacionar los valores obtenidos al mismo equipo en fechas anteriores.

Para éstos ajustes o correcciones, el fabricante del equipo de prueba ( DOBLE ) , da a conocer una tabla donde relaciona los factores de conversión de diferentes equipos a la temperatura base de 20°C, la cual se da a conocer en las figuras 5.7 y - 5.8 .

Los aislamientos que constituyen transformadores de dos devanados se muestran esquemáticamente en la figura 5.9 ; representa tanto a un transformador monofásico como trifásico y las consideraciones para ambos son las mismas.

Los aislamientos representados como ch, cl y ch' , son respectivamente los aislamientos entre el devanado de alta tensión y tierra, entre el devanado de baja tensión y tierra y el aislamiento entre los devanados de alta y baja tensión. Estos aislamientos aunque actúan distribuidos a lo largo de los devanados, se muestran como un solo capacitor para mayor simplicidad. Estos aislamientos no están compuestos de un solo dieléctrico: por ejemplo, ch incluye boquillas, cl aislamiento entre el devanado de alta y tierra y el aceite entre devanado y tierra. Los valores de ch y cl se leen directamente. Cuando el devanado de alta es energizado y el devanado de baja es energizado y el devanado de alta es conectado a guarda, se mide cl. Con un simple cálculo se puede determinar chl, de acuerdo como se indica en la hoja de prueba.



Fases a seguir para efectuar la prueba:

- Desenergice y desconecte de sus terminales externos desde -- las boquillas del transformador.
- Desconecte los neutros de los devanados que se encuentren - aterrizados.
- Ponga en corto circuito cada devanado en las terminales de- sus boquillas.
- Verificar que el tanque esté bien aterrizado .
- Proceda a efectuar sus conexiones de prueba de acuerdo con- la figura 5.10 y los circuitos de prueba en la misma figu-- ra.

Los valores obtenidos de acuerdo con las conexiones indi- cadas deberán registrarse en la hoja de prueba correspondien- te ( figura 5.11 ) y calcular el valor de chl con la diferen- cia de los MVA y MW de las pruebas 1 menos la prueba 2.

Como comprobación de que las pruebas se realizaron co--- rrectamente, deberá efectuarse la diferencia de MVA y MW de - la prueba 3 menos 4 y comparar éstos valores con los obteni--- dos para el cálculo de chl. Estas dos diferencias deberán ser aproximadamente iguales.

En caso de que éstos valores obtenidos de las diferen--- cias sean muy diferentes, se procederá a efectuar una prueba- en UST ya sea en el lado de alta o de baja, de acuerdo a la - siguiente conexión:

Energice el devanado de alta o baja tensión y el devana- do que no haya sido energizado lo conectará en el cable de ba- ja tensión ( LV ) con el selector de prueba en UST. Los valo- res de MVA y MW obtenidos en ésta prueba, deberán compararse-

con los resultados que se obtuvieron de las diferencias de las pruebas 1 menos 2 y 3 menos 4 . Los valores que no se aproximen a los obtenidos en ésta última prueba, deberán repetirse y de persistir los mismos valores obtenidos originalmente, deberán investigarse el devanado que los está originando.

Los criterios a utilizar para considerar un valor de factor de potencia en % a 20°C aceptable para entrar en servicio un transformador a operación por primera vez, es decir nuevo, deberá tomarse como base un valor no mayor de 0.5% .

### 5.3.) PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA A LAS BOQUILLAS

Todas las variedades de marcas y tipos de boquillas difieren entre sí en detalles de construcción, pero básicamente --- cualquier boquilla consiste de un conductor central envuelto por una estructura de porcelana, con aceite o compound.

Es una realidad que una falla característica de una boquilla llena de aceite proviene de una fuga en la parte superior de la boquilla la cual permite que la humedad penetre a su interior. Como resultado se establece una trayectoria de corriente de fuga la que, con el tiempo, puede causar que la boquilla falle.

Puede ser fácilmente aplicada una prueba a éste tipo de boquilla que hace posible, incrementando el esfuerzo eléctrico en la parte superior de la boquilla, localizar humedad o deterioro en su etapa inicial antes de que haya progresado suficientemente.

El método más común de prueba para la detección de las condiciones de aislamiento de boquillas; es el de collar caliente, el cual consiste en aplicar uno o más collares ( ban-

das metálicas o de hule semiconductor ) , alrededor de la boquilla por abajo de los faldones de ésta, aterrizando el conductor central de la boquilla, aplicando el voltaje de prueba entre el collar o collares y tierra y midiendo los MVA y MW.

Las pruebas con un solo collar dan información correspondiente a la condición del aislamiento en la región que cubre desde la banda hasta la parte superior de la boquilla y las pérdidas de fuga de la banda a la brida inferior de la boquilla se consideran despreciables.

Existe una variable de éste método al utilizar uno o más collares en diferentes faldones de la boquilla a lo largo de la misma, obteniendo con ésto la misma condición para detección de aislamiento que con la prueba con un solo collar, únicamente que con los collares múltiples se cubre una zona mayor de dicha boquilla.

Una simple prueba de collar caliente se deberá hacer colocando el collar arriba del último faldón, cercano a la tapa de la boquilla. En boquillas llenas con aceite y equipadas con terminal blindada, el collar deberá colocarse abajo del tercer faldón. Si las pérdidas o la corriente son apreciablemente más grande de lo normal, entonces se debe hacer una segunda prueba retirando el collar y colocándolo un faldón más abajo.

Este procedimiento se repetirá tan abajo de la boquilla como sea necesario para determinar cuánto ha progresado la falla hacia abajo.

Una boquilla se considera en buen estado cuando presente una pérdida menor de 0.15 watts en la prueba de collar caliente ésto, desde luego, siempre y cuando no presente un alto --

factor de potencia.

Cuando las pérdidas estén entre 0.15 y 0.30 watts, la boquilla deberá ser inspeccionada en su tapa y empaques para determinar la presencia de humedad.

Cuando las pérdidas están entre 0.30 y 0.50 watts, la boquilla deberá ser desmontada para aplicarle un proceso de secado con reflectores, siempre y cuando no existan agrietamientos en la porcelana o en sus uniones. La figura 5.12 muestra los diagramas de conexiones para las pruebas de collar caliente.

#### 5.4 ) PRUEBAS DE RELACION DE TRANSFORMACION EN TODOS SUS TAPS

Este tipo de prueba se efectúa con un equipo llamado TTR ( Transformer Turn Ratio ).

El TTR es un instrumento práctico y preciso para analizar las condiciones de transformadores en los siguientes -- casos:

- Medición de relación de transformación en transformadores -- nuevos, reparados o reembobinados.
- Identificación y verificación de terminales, derivaciones -- ( Taps ) y sus conexiones internas.
- Determinación y comprobación de polaridad y continuidad.
- Pruebas de rutina y detección de fallas insipientes.
- Identificación de espiras en corto circuito ó abiertas.

El TTR se basa en el principio de que cuando dos transformadores que nominalmente tienen la misma relación de transformación y se conectan y se quitan en paralelo, con la más -- pequeña diferencia en la relación de algunos de ellos, se pro

duce una corriente circulante entre ambos relativamente grande.

Este equipo está formado básicamente por un transformador de referencia con relación ajustable de 0 al 30, una fuente de excitación de corriente alterna, un galvanómetro detector de cero corriente, un juego de terminales de conexión y un generador manual de corriente alterna para realizar la prueba.

Las figuras 5.13, 5.14, 5.15 y 5.16 muestran las conexiones del TTR para pruebas a transformadores de dos devanados, de tres devanados, autotransformadores trifásicos y autotransformadores monofásicos.

Para hacer la prueba de TTR se deberá proceder como sigue:

- 1.- Conectar las terminales de acuerdo a las figuras 5.13 a 5.16 .
- 2.- Coloque los selectores de TTR en ceros y gire la manivela del generador 1/4 de vuelta. Si el galvanómetro se deflexiona a la izquierda, la conexión del transformador es subtractiva y se continuará con la prueba. Si el galvanómetro se deflexiona hacia la derecha, la conexión del transformador es aditiva y será necesario intercambiar las terminales H1 y H2 para conectar correctamente el TTR.
- 3.- Una vez que el TTR ha quedado conectado al transformador, gire la manivela del generador hasta incrementar el voltaje de generación a 8 volts.
- 4.- Gire el primero, segundo, tercero y cuarto selector en el sentido de las manecillas del reloj hasta que la lectura del galvanómetro no muestre deflexión fuera de la marca central de balance.
- 5.- Una vez concluido el ajuste del punto anterior, la relación de transformación se puede leer directamente de las

carátulas de los selectores.

- 6.- Obtener la relación de transformación teórica de acuerdo a los datos de placa del transformador a probar.
- 7.- Obtener el porcentaje de diferencia con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Dif.} = \frac{\text{Rel. Teórica} - \text{Rel. Medida}}{\text{Rel. Teórica}} \times 100$$

Como regla general se dice que el % de diferencia no debe ser mayor de 0.5 .

#### 5.5 ) PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA, FACTOR DE POTENCIA Y RESISTIVIDAD AL ACEITE AISLANTE.

##### Rigidez Dieléctrica

Esta prueba es la más frecuentemente usada; de acuerdo a experiencias, a cada copa de prueba con aceite se le efectúan - cinco lecturas promediándose el resultado; si cualquier lectura varía del promedio más de 5 KV, se deben hacer cinco lecturas más, promediándose las diez. La prueba es capaz de revelar dos cosas: la resistencia momentánea de una muestra de aceite - al paso de la corriente y la relativa cantidad de agua libre, - polvo, lodos o cualquier partícula conductora presente en la - muestra. El aislamiento del transformador depende de qué tan - grande es el poder de aislamiento del aceite. Si el aceite - - pierde su poder aislante, la tensión completa cae en el aislamiento primario. Suponiendo que el aceite ha perdido alguna de sus habilidades para aislar, es razonable esperar que el algodón y el papel aislante sumergidos en el aceite sean similar-

mente afectados.

Si las lecturas arrojan un promedio de 18 KV, o menos, es universalmente reconocido como un aceite malo y 28 KV o más, - como aceite bueno. Aceite nuevo limpio o seco se debe encontrar entre 32 y 35 KV mínimo.

El aparato de prueba consiste en un transformador que proporciona el voltaje, con un regulador de voltaje apropiado, un voltmetro y una copa de prueba; ésta última tiene dos terminales planas con una separación de 25 mm. La prueba se efectúa llenando la copa con aceite hasta quedar sumergidos los electrodos, se aplica voltaje a una velocidad sostenida de 3 KV -- por segundo, hasta que el aceite entre los discos es perforado por el arco producido.

Se toma la lectura a la cual ocurrió la ruptura, la copa se vacía, enjugando con aceite nuevo o con el aceite que se va a analizar, repitiéndose las operaciones.

Con objeto de permitir que escape el aire, deberá de mantenerse el aceite en reposo durante no menos de dos y no más de tres minutos antes de aplicar voltaje.

La figura 5.17 muestra el esquema del equipo probador de rigidez dieléctrica.

#### Factor de Potencia

El factor de potencia de un aceite es la relación de la potencia disipada en watts en el aceite al producto del voltaje efectivo y la corriente expresado en voltamperes. Esto es numéricamente equivalente al coseno del ángulo de fase o al seno del ángulo de pérdidas.

El factor de potencia es una indicación de los cambios en el aceite resultantes de la influencia del deterioro y contami

nación.

Los aparatos de uso más general utilizados hasta el momento son los de la Cía. " DOBLE " en sus diferentes tipos y modelos, los cuales traen como accesorios una celda especial que es esencialmente un capacitor en el cual el aceite es dieléctrico.

Primeramente para efectuar ésta prueba, deberá de tenerse listo y en condiciones de prueba del equipo probador de factor de potencia, conectándose a él todas las puntas de prueba o terminales. Por otro lado, se deberá llenar la celda con el aceite a probar, para lo cual se levantará su cubierta y se llenará la celda con el aceite a una altura aproximada de  $3/4$ " del tope final. Hecho ésto se cubrirá de nuevo con su tapa y se asegurará de que ésta quede ajustada apropiadamente.

En seguida se colocará la celda en una base firme y nivelada evitando así que la superficie del líquido quede a desnivel. Posteriormente se harán las conexiones del equipo a la celda, para lo cual el gancho del cable de alta tensión se conecta a la manija de la celda, la terminal de baja tensión se conecta al cilindro metálico de la celda y el anillo de " Guard " del cable de alta tensión al tornillo de " Guard " de la celda.

Estas conexiones se muestran en la figura 5.18 anexa.

Hechas las conexiones, se procede a realizar los mismos pasos efectuados para la prueba de factor de potencia de transformadores.

Inmediatamente después de efectuar la prueba debe tomarse la temperatura del aceite alojado en la celda de prueba, ésto es con el objeto de poder relacionar el valor de factor de potencia obtenido a la temperatura base de 20°C haciendo para --



ello la corrección de acuerdo con la tabla donde se dan a conocer los multiplicadores correspondientes, dicha tabla se anexa en la figura 5.19 .

Normalmente un aceite nuevo, seco y desgasificado alcanza valores de factor de potencia de 0.05% relacionado a 20°C . Un alto factor de potencia indica deterioro o contaminación con - humedad, carbón o materiales conductores, barniz, glyptal, jabón sólido, compuestos asfálticos o deterioro de productos aislantes.

Un aceite con un valor de factor de potencia de 0.5% a 20°C es usualmente considerado para operación.

Un aceite con un valor de factor de potencia entre 0.5 y 2% debe ser considerado como riesgoso y ser investigado y en todo caso regenerado o reemplazo.

#### Resistividad al Aceite Aislante

La resistividad de un aceite es una medida de sus propiedades aislantes eléctricas. Una alta resistividad refleja el - bajo contenido de iones libres y partículas formadas de iones.

Hasta el momento está generalizado el uso de una celda de prueba para resistividad marca " BIDDLE " en combinación con un " Megger " motorizado de la misma marca y con rango hasta - 50,000 megohms y aplicándole a la celda 2,500 volts.

Esta celda está calibrada en fábrica con un multiplicador de 1,000.

Después de ajustar el " megger " en la forma convencional, se procede a conectar la celda, la cual previamente estará sumergida en el recipiente que contiene la muestra de aceite.

La manera de conectar ésta celda es como sigue ( ver - - fig. 5.20 ) :

- a.- La terminal del megger denominada " LINEA " se conecta a la terminal vertical superior de la celda.
- b.- La terminal del megger denominada " GUARDA " conecta a la terminal horizontal intermedia que está formada por un arco metálico.
- c.- La terminal del megger denominada " TIERRA " debe conectarse a la terminal horizontal inferior de la celda y sobresale de una parte aislante.

Después de esto se procede a energizar la celda con --- 2500 V y la lectura será tomada un minuto después de que se ha sostenido el potencial antes mencionado.

Un valor de  $5 \times 10^6$  ohms - cm como mínimo se considera - como satisfactorio para operación.

Valores menores se consideran como inadecuados por la cantidad de sustancias iónicas en el aceite.

#### 5.6 ) VERIFICACION DE DISPOSITIVOS INDICADORES DE TEMPERATURA, PRESION DE NITROGENO Y BUCHHOLZ.

La indicación de temperatura se efectúa através de un relé de imagen térmica ( T.R.O. por sus siglas en inglés ). Dicho relé consiste en un elemento bimetalico en espiral encapsulado unido a un eje el cual está acoplado a una aguja que se mueve sobre una escala graduada ( Fig. 5.21 ). El eje acciona un juego de microswitches ajustables a diferentes valores de temperatura; éstos se accionan en diferentes etapas para enviar alarma de alta temperatura y disparo de interruptores de potencia por alta temperatura. La cápsula del elemento-bimetalico se introduce en un tubo ciego del transformador; éste se encuentra cubierto por una bobina de calefacción que es-

tá conectada a un Transformador de Corriente que refleja la corriente que circula por una fase del transformador de tal manera que esa corriente pasa por la bobina calefactora, calentando al elemento bimetalico y produciendo un giro en éste debido a la dilatación térmica de los metales. El giro es proporcional al calentamiento y éste último es proporcional a la corriente que circula por la bobina calefactora.

La presión de nitrógeno necesario para establecer un colchón de nitrógeno en el tanque conservador que absorva las variaciones de nivel por variaciones térmicas, es proporcionada a través de un equipo regulador de gas inerte que se alimenta de un cilindro de almacenamiento de nitrógeno. La figura 5.22 muestra el arreglo de éste equipo, que consta de un cilindro de almacenamiento de nitrógeno a alta presión ( 2,000 PSI ), una unidad reductora de 3 etapas que reduce la presión del cilindro a la presión del colchón de nitrógeno ( 0.5 PSI ), un indicador de presión del cilindro, un indicador de presión en el transformador, una válvula de retención, una válvula de prueba y una válvula de muestreo. Los ajustes se logran accionando directamente a la válvula de tres pasos y a la válvula auxiliar compensadora de presión. El primer paso está compensado para proporcionar una presión constante y proteger al segundo paso de una sobrepresión en el cilindro. Al pasar através del primer paso, la presión se reduce de 2000 a 1000 PSI . El segundo paso reducirá la presión a aproximadamente 5 o 10 PSI antes de que el gas pase al tercer y final paso reductor donde la presión se reduce a 0.5 PSI. El nitrógeno será alimentado al colchón del gas del transformador con ésta presión final cuando la presión en el colchón caiga a monos de 0.5 Lb.

El relevador Buchholz ( Fig. 5.23 ) no es más que una cam

para donde se colectan los gases producidos por fallas incipientes. Esto ocasiona que baje en forma gradual el nivel de aceite en la campana donde se encuentran alojados a diferentes niveles dos flotadores que tienen integrados un microswitch de mercurio cada uno. El flotador de la parte superior mandará señal de alarma y el flotador inferior mandará señal de disparo. El relé también consta de una válvula de purga para desalojo de los gases acumulados y una válvula de prueba. Después de su montaje y del llenado de aceite, es necesario probar éste relé inyectando muy lentamente nitrógeno por la válvula de prueba hasta que en forma gradual se vayan accionando los flotadores. El cierre de los microswitches se verificará midiendo continuidad con un óhmetro en el block de terminales.

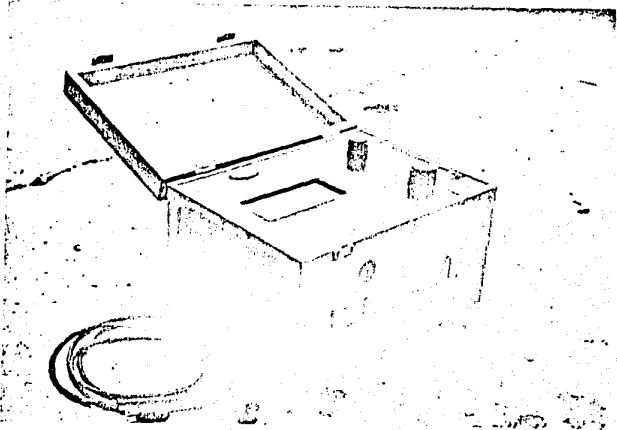
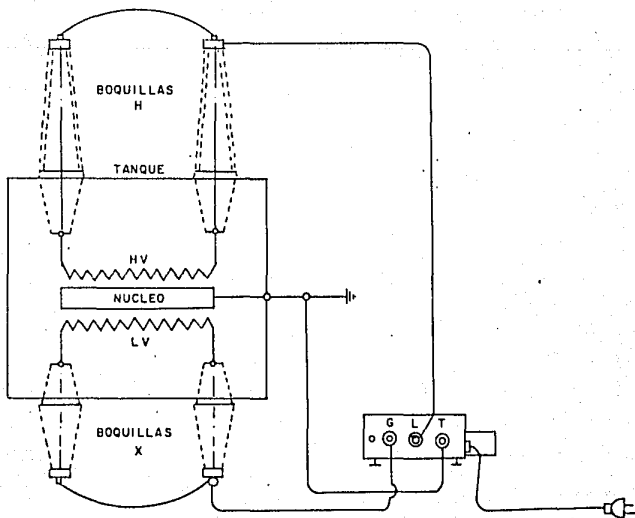


FIGURA 5.1.

EQUIPO PROBADOR DE RESISTENCIA DE -  
AISLAMIENTO ( MEGGER ) MARCA BIDDLE



PRUEBA	CONEXIONES			MIDE
	L	T	G	
1	H	$\frac{1}{\perp}$	X	RH
2	H	X	$\frac{1}{\perp}$	RHX
3	X	$\frac{1}{\perp}$	H	RX
4	H	X $\frac{1}{\perp}$	—	RH - RHX
5	X	H $\frac{1}{\perp}$	—	RX - RHX
6	HX	$\frac{1}{\perp}$	—	RH - RX

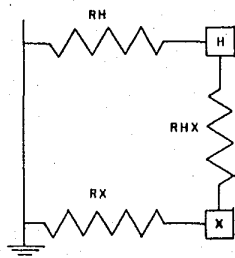
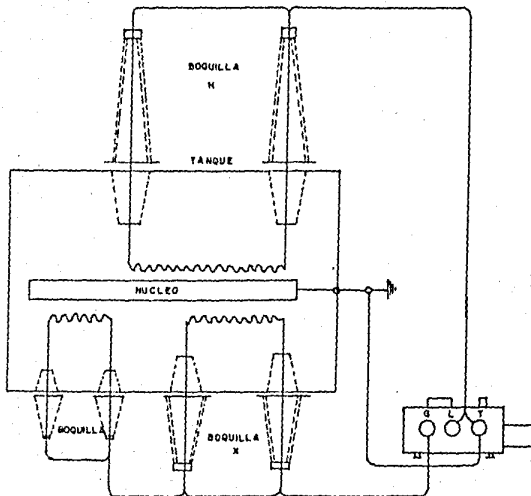


FIG. 5.2 PRUEBAS DE MEGGER PARA TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
1	H	$\overline{\text{H}}$	X Y	R <sub>H</sub>
2	H	X	$\overline{\text{Y}}$	R <sub>HK</sub>
3	H	Y	$\overline{\text{X}}$	R <sub>NY</sub>
4	X	$\overline{\text{H}}$	N Y	R <sub>XX</sub>
5	X	Y	$\overline{\text{H}}$	R <sub>XY</sub>
6	Y	$\overline{\text{H}}$	N X	R <sub>Y</sub>
7	H	X Y	$\overline{\text{H}}$	R <sub>H</sub> -R <sub>NY</sub> -R <sub>HX</sub>
8	X	H Y	$\overline{\text{H}}$	R <sub>X</sub> -R <sub>NY</sub> -R <sub>HX</sub>
9	Y	H X	$\overline{\text{H}}$	R <sub>Y</sub> -R <sub>NY</sub> -R <sub>XY</sub>
10	H X Y	$\overline{\text{H}}$		R <sub>H</sub> -R <sub>X</sub> -R <sub>Y</sub>

NOTA — INDICA PARALELO

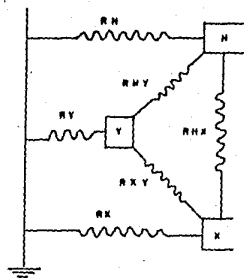


FIG. 5.3 PRUEBAS DE MEGGER PARA TRANSFORMADOR DE TRES DEVANADOS.





FIG. 5.5

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRANSFORMADOR DE TRES DEVANADOS

DATOS DEL TRANSFORMADOR

CLAVE DE LA INSTALACION \_\_\_\_\_  
 NOMBRE DE LA INSTALACION \_\_\_\_\_  
 CLAVE DEL EQUIPO \_\_\_\_\_  
 TRANSFORMADOR \_\_\_\_\_  
 MARCA \_\_\_\_\_ No DE FASES \_\_\_\_\_  
 No DE SERIE \_\_\_\_\_  
 DEVANADO \_\_\_\_\_ AT \_\_\_\_\_ BT \_\_\_\_\_ TERCIARIO \_\_\_\_\_  
 TENSION \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_  
 CONEXION \_\_\_\_\_  
 CAPACIDAD \_\_\_\_\_ MVA \_\_\_\_\_ MVA \_\_\_\_\_ MVA \_\_\_\_\_

DATOS DE LA PRUEBA

FECHA DE LA PRUEBA \_\_\_\_\_  
 TEMPERATURA TRANSFORMADOR ACEITE \_\_\_\_\_ °C.  
 TEMPERATURA AMBIENTE \_\_\_\_\_ °C. HUMEDAD \_\_\_\_\_ %  
 EQUIPO APLICADO EN LA PRUEBA (VER NOTAS) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 MESURER MOTORIZADO No. \_\_\_\_\_  
 MARCA \_\_\_\_\_  
 RANGO \_\_\_\_\_

PRUEBA No.	TIEMPO DE PRUEBA						
LÍNEAS A GUARDA	AT	BT	TERCIARIO	AT	AT	BT	
	B.T. Y TERCIARIO	A.T. Y TERCIARIO	A.T. Y B.T.	B.T.	TERCIARIO	A.T.	
TIEMPO MINUTOS	TANQUE	TANQUE	TANQUE	TANQUE + TANQUE	BT	TANQUE + TANQUE + TANQUE	
	LECTURA X	LECTURA X	LECTURA X	LECTURA X	LECTURA X	LECTURA X	LECTURA X
1/4							
1/2							
3/4							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
RELACION 3/1							
RELACION 3/2							

INSTRUCCIONES GENERALES

1. PUENTEAR ENTRE SI TODAS LAS TERMINALES DEL MISMO DEVANADO.
2. LOS DEVANADOS DEBEN DESCONECTARSE A TIERRA DURANTE TODO EL TIEMPO ANTES DE CADA PRUEBA.
3. LA TERMINAL COMUNICACION DEL MEDIDOR, SE CONECTARA A TIERRA EFECTIVAMENTE.
4. LOS CABLES DE PRUEBA NO DEBERAN TOCARSE ENTRE SI NI TOCAR NINGUN OTRO ELEMENTO DE LA INSTALACION.
5. CUANDO UNA LECTURA SE REPITA MAS DE TRES VECES CONSECUTIVAS, PUEDE CENSARSE POR TERMINADA LA PRUEBA.
6. EN CASO DE USAR CABLES DE PRUEBA BUNDADE, CORAZA DEL MISMO A LA TERMINAL DE GUARDA.
7. EL TRANSFORMADOR SE PROBARA DECONECTANDO TODAS SUS TERMINALES EN TODOS LOS CASOS ESPECIALES EN QUE NO SEA POSIBLE, SE PROBARA SEPARADO EN LAS MISMAS CONDICIONES, REPORTANDO EL TIEMPO QUE PASE EN LA PRUEBA.
8. VOLTAJE DE PRUEBA AL MENUDO.

OBSERVACIONES

CONDICION DEL AISLAMIENTO \_\_\_\_\_  
 SERVO \_\_\_\_\_  
 PRUEBA EFECTUADA POR \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

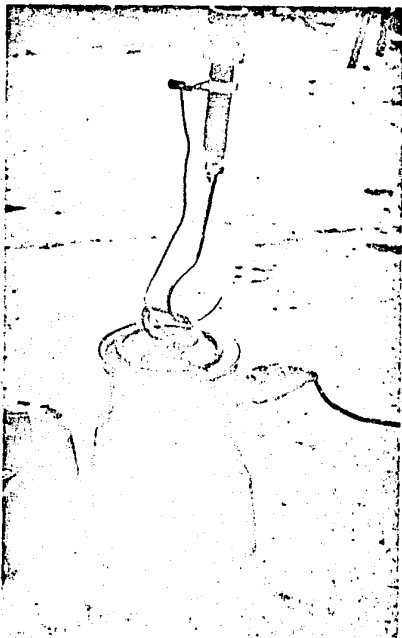


FIGURA 5.6

COPA PROBADORA DE FACTOR DE POTENCIA PARA ACEITES  
CONECTADA AL EQUIPO PROBADOR DE FACTOR DE POTEN—  
CIA MARCA DOBLE ENGINEERING.

FIGURA 5.7.

TABLA DE MULTIPLICADORES PARA CONVERTIR EL FACTOR DE POTENCIA A LA TEMPERATURA DE PRUEBA EN FACTOR DE POTENCIA A 20°C .

GENERAL ELECTRIC										Boquillas				WESTINGHOUSE			
TIPO B	TIPO F	TIPOS L-LG LI-LM	TIPOS OF-OFI OFM	EMP DE PDA °C	TIPOS 5-5I-5M TIPO U	TIPO D	CONDENSADOR EXCEPTO TIPO O	TIPO O	TIPO D	TIPOS R-PA-PB							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00							
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.01							
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1.02							
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1.03							
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1.04							
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1.05							
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1.06							
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	1.07							
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1.08							
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1.09							
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	1.10							
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	1.11							
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	1.12							
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	1.13							
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1.14							
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	1.15							
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	1.16							
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	1.17							
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	1.18							
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1.19							
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	1.20							
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	1.21							
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	1.22							
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	1.23							
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	1.24							
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	1.25							
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	1.26							
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	1.27							
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	1.28							
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1.29							
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	1.30							
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	1.31							
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	1.32							
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	1.33							
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	1.34							
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	1.35							
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	1.36							
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	1.37							
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	1.38							
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	1.39							
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	1.40							
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	1.41							
43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	1.42							
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	1.43							
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	1.44							
46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	1.45							
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	1.46							
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	1.47							
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	1.48							
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	1.49							
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	1.50							
52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	1.51							
53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	1.52							
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	1.53							
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	1.54							
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	1.55							
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	1.56							
58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	1.57							
59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	1.58							
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	1.59							
61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	1.60							
62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	1.61							
63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	1.62							
64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	1.63							
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	1.64							
66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	1.65							
67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	1.66							
68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	1.67							
69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	1.68							
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1.69							
71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	1.70							
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	1.71							
73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	1.72							
74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	1.73							
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	1.74							
76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	1.75							
77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	1.76							
78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	1.77							
79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	1.78							
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	1.79							
81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	1.80							
82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	1.81							
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	1.82							
84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	1.83							
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	1.84							
86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	1.85							
87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	1.86							
88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	1.87							
89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	1.88							
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	1.89							
91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	1.90							
92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	1.91							
93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	1.92							
94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	1.93							
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	1.94							
96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	1.95							
97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	1.96							
98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	1.97							
99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	1.98							
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.99							

FIGURA 5.8

( CONTINUACION FIGURA 5.7 )

DOQUILLAS						AISLAMIENOTOS DE LIQUIDOS Y TRANSF.					
L.A.P.		OHIO BRASS				TEMP. DE PRUEBA °C	ACEITE Y TRANSF. LLENOS DE ACEITE DE ALTA		TRANSF. LLENOS DE ACEITE DE ALTA		TRANSF. DE TIPO CONTE (SULU)
CLASE 15A 95 KV	PRC P O C	CLASE 48 A 138 KV	CLASE 7.5 A 34.5 KV	CLASE 15 A 300 KV	CLASE 15A 88 KV		AS KAREL	Y TRANSF. LLENOS DE ACEITE DE ALTA	DE RESPIRACION LIBRE	DE COLMADO	
1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0	56	56	56	56	
	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1	54	54	54	54	
	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	2	52	52	52	52	
	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	3	50	50	50	50	
	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	4	49	49	49	49	
	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	5	46	46	46	46	
	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	6	42.1	42	42	42	
	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	7	35.6	35	35	35	
	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	8	45.4	45	45	45	
	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	9	41.2	41	41	41	
	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	10	32.3	32	32	32	
	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	11	31.8	31	31	31	
	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	12	33.6	33	33	33	
	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	13	35.4	35	35	35	
	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	14	37.2	37	37	37	
	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	15	39.0	39	39	39	
	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	16	40.8	40	40	40	
	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	17	42.6	42	42	42	
	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	18	44.4	44	44	44	
	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	19	46.2	46	46	46	
	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	20	48.0	48	48	48	
	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	21	49.8	49	49	49	
	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	22	51.6	51	51	51	
	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	23	53.4	53	53	53	
	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	24	55.2	55	55	55	
	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	25	57.0	57	57	57	
	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	26	58.8	58	58	58	
	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	27	60.6	60	60	60	
	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	28	62.4	62	62	62	
	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	29	64.2	64	64	64	
	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	30	66.0	66	66	66	
	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	31	67.8	67	67	67	
	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	32	69.6	69	69	69	
	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	33	71.4	71	71	71	
	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	34	73.2	73	73	73	
	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	35	75.0	75	75	75	
	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	36	76.8	76	76	76	
	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	37	78.6	78	78	78	
	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	38	80.4	80	80	80	
	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	39	82.2	82	82	82	
	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	40	84.0	84	84	84	
	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	41	85.8	85	85	85	
	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	42	87.6	87	87	87	
	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	43	89.4	89	89	89	
	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	44	91.2	91	91	91	
	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	45	93.0	93	93	93	
	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	46	94.8	94	94	94	
	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	47	96.6	96	96	96	
	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	48	98.4	98	98	98	
	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	49	100.2	100	100	100	
	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	50	102.0	102	102	102	
	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	51	103.8	103	103	103	
	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	52	105.6	105	105	105	
	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53	53	107.4	107	107	107	
	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	54	109.2	109	109	109	
	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	55	111.0	111	111	111	
	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	56	112.8	112	112	112	
	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	57	114.6	114	114	114	
	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	58	116.4	116	116	116	
	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	59	118.2	118	118	118	
	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	60	120.0	120	120	120	
	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	61	121.8	121	121	121	
	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	62	123.6	123	123	123	
	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	63	125.4	125	125	125	
	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	64	127.2	127	127	127	
	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	65	129.0	129	129	129	
	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	66	130.8	130	130	130	
	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	67	132.6	132	132	132	
	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	68	134.4	134	134	134	
	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	69	136.2	136	136	136	
	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	70	138.0	138	138	138	
	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	71	139.8	139	139	139	
	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	72	141.6	141	141	141	
	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	73	143.4	143	143	143	
	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	74	145.2	145	145	145	
	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	75	147.0	147	147	147	
	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	76	148.8	148	148	148	
	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	77	150.6	150	150	150	
	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	78	152.4	152	152	152	
	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	79	154.2	154	154	154	
	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	80	156.0	156	156	156	

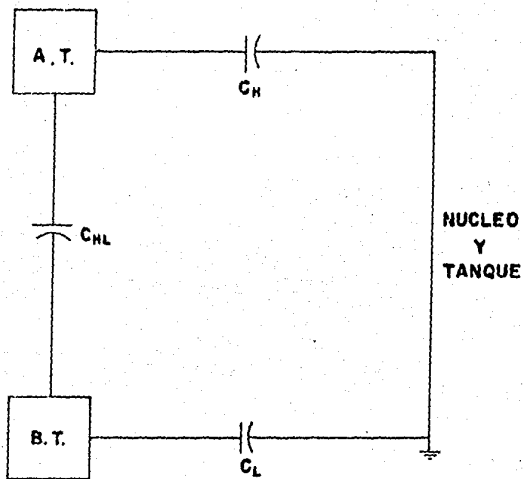
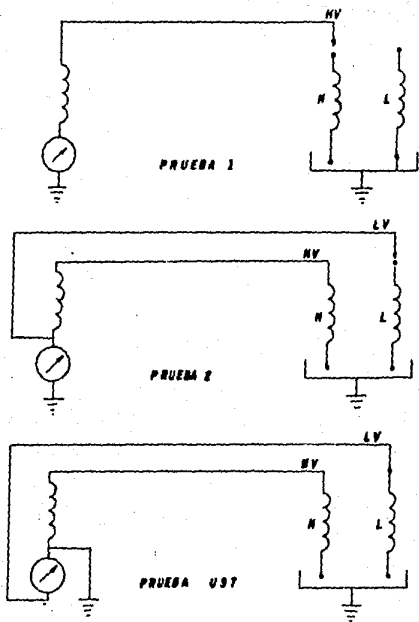


FIG. 5.9 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE —  
LOS DEVANADOS DE UN TRANSFORMADOR



PRUEBA	ENERGIZAR DEVANADO	DEVANADO A TIERRA	DEVANADO A GUARDA	AISLAMIENTO MEDIDO
1	H	L	—	—
2	H	—	L	$C_H$
3	L	H	—	—
4	L	—	H	$C_L$

FIG 5-10 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA A TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

FIGURA 5.11

HOJA DE PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA A TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS.

COMPANIA:				FECHA:										
SUGESTACION				TEMP.:		TEMP. ACEITE:								
TRANSF. N°				CLIMA:		% HUNEDAD:								
MARCA		SERIE:		TIPO:		CAPACIDAD:								
AT KV				EQ. DE PRUEBA										
BT KV				USADO:										
FECHA DE LA ULTIMA PRUEBA:														
PRUEBAS GENERALES														
P R U E B A	CONEXIONES		KV PRUE BA	LECTURAS EQUIVALENTES						% F. P.		ESTAD DO AISL.		
	ENERGIA GUAR DADA	ARRIZADA		MILI AMP.			WATTS			MED. DO	CORR. GLO.			
				LECT.	MULT.	MILI AMP.	LECT.	MULT.	WATT					
1	ALTA	BAJA												
2	ALTA	BAJA										CH		
3	BAJA	ALTA										CL		
4	BAJA	ALTA												
CALCULO DE RESULTADOS												CW (PDA1-PDA2) (PDA3)-PDA 4)		
PRUEBAS DE BOQUILLAS														
L I N I A N O	B O Q U I L L A N O	F A S E	BOQUILLA SERIE N°	KV PRUE BA	LECTURAS EQUIVALENTES						% F. P.		PRUEBAS DE COLLAR CAL. (W / J / I)	ESTAD DO AISL.
					MICRO AMPERES			WATTS			MED. DO	CORR. DO		
					LECT.	MULT.	MICRO AMP.	LECT.	MULT.	WATTS				
A 1														
L 2														
T 3														
A 4														
V 5														
A 6														
J 7														
A 8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16 ACEITE											TEMP. ACEITE			
DIAGRAMA								OBSERVACIONES						
								_____ _____ _____						

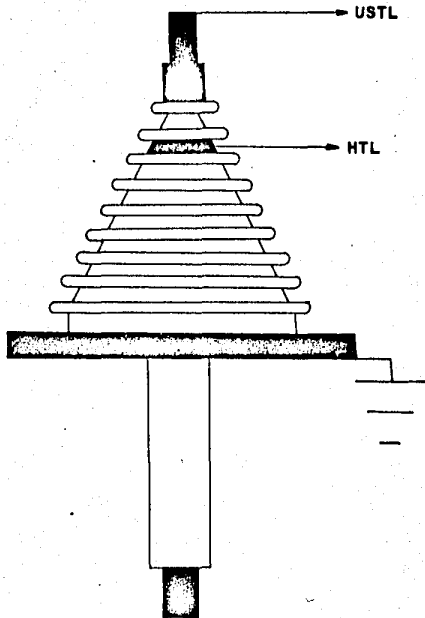


FIG. 5.12 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE.



FIG. 5.13 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS

Conexion Estrella - Delta

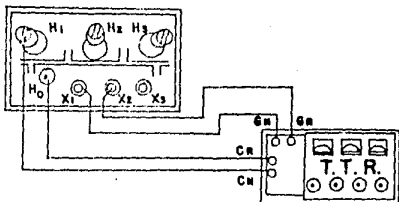
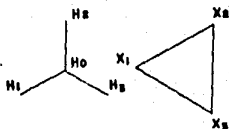


DIAGRAMA VECTORIAL



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	GR	GN	GR	
1	H1	H0	X1	X2	$\beta 1$
2	H2	H0	X2	X3	$\beta 2$
3	H3	H0	X3	X1	$\beta 3$

Conexion Delta - Estrella

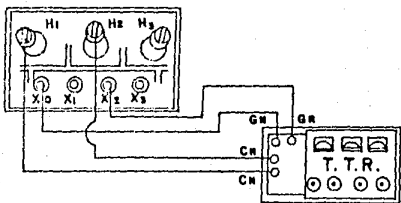
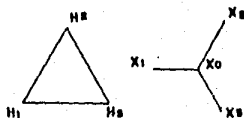
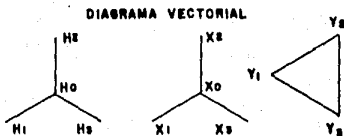
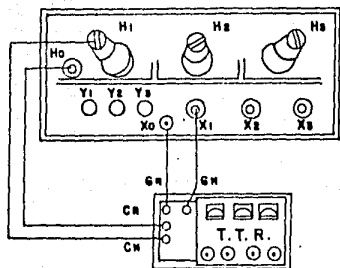


DIAGRAMA VECTORIAL



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	GR	GN	GR	
1	H1	H2	X0	X2	$\beta 2$
2	H2	H3	X0	X3	$\beta 3$
3	H3	H1	X0	X1	$\beta 1$

FIG. 5.14 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CN	CR	GN	GR	
1	H1	HO	X1	XO	H - X $\phi$ 1
2	H2	HO	X2	XO	H - X $\phi$ 2
3	H3	HO	X3	XO	H - X $\phi$ 3
4	H1	HO	Y1	Y2	H - Y $\phi$ 1
5	H2	HO	Y2	Y3	H - Y $\phi$ 2
6	H3	HO	Y3	Y1	H - Y $\phi$ 3
7	X1	XO	Y1	Y2	X - Y $\phi$ 1
8	X2	XO	Y2	Y3	X - Y $\phi$ 2
9	X3	XO	Y3	Y1	X - Y $\phi$ 3

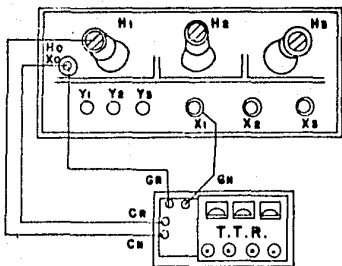
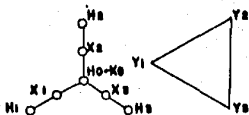
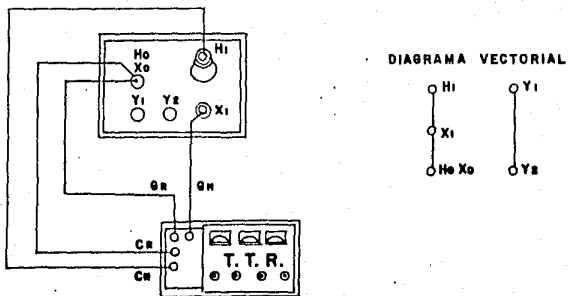


DIAGRAMA VECTORIAL



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				WIDE
	CH	CR	CM	GR	
1	H1	HO - XO	X1	HO - XO	H - X $\beta$ 1
2	H2	HO - XO	X2	HO - XO	H - X $\beta$ 2
3	H3	HO - XO	X3	HO - XO	H - X $\beta$ 3
4	H1	HO - XO	Y1	Y2	H - Y $\beta$ 1
5	H2	HO - XO	Y2	Y3	H - Y $\beta$ 2
6	H3	HO - XO	Y3	Y1	H - Y $\beta$ 3
7	X1	HO - XO	Y1	Y2	X - Y $\beta$ 1
8	X2	HO - XO	Y2	Y3	X - Y $\beta$ 2
9	X3	HO - XO	Y3	Y1	X - Y $\beta$ 3

FIG. 5.15 AUTOTRANSFORMADORES TRIFASICOS



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	C <sub>n</sub>	C <sub>r</sub>	G <sub>m</sub>	G <sub>r</sub>	
1	H <sub>i</sub>	H <sub>o</sub> - X <sub>o</sub>	X <sub>i</sub>	H <sub>o</sub> - X <sub>o</sub>	H - X
2	H <sub>i</sub>	H <sub>o</sub> - X <sub>o</sub>	Y <sub>i</sub>	Y <sub>z</sub>	H - Y
3	X <sub>i</sub>	H <sub>o</sub> - X <sub>o</sub>	Y <sub>i</sub>	Y <sub>z</sub>	X - Y

FIG. No. 5.16 AUTOTRANSFORMADORES MONOFASICOS

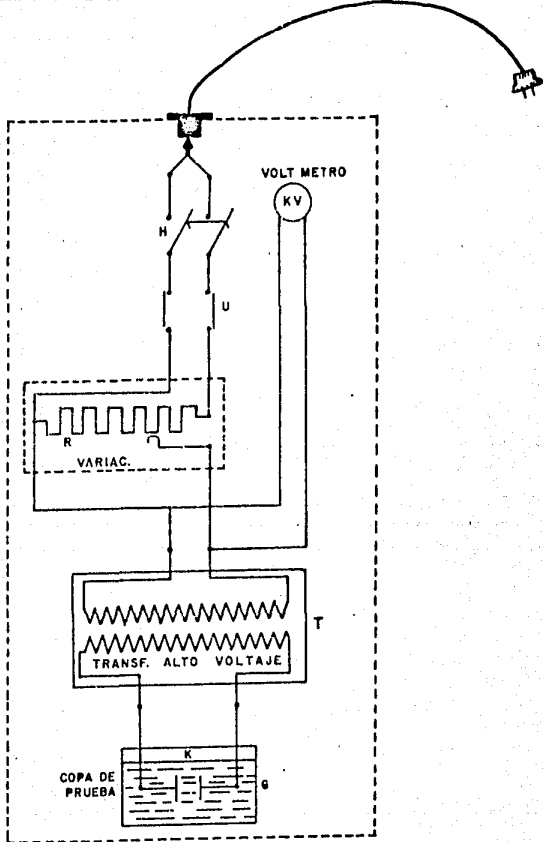


FIG. No. 5.17

ESQUEMA DEL EQUIPO PROBADOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA

CONEXIONES DE PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA  
EN ACEITES AISLANTES UTILIZANDO LA  
COPA DOBLE

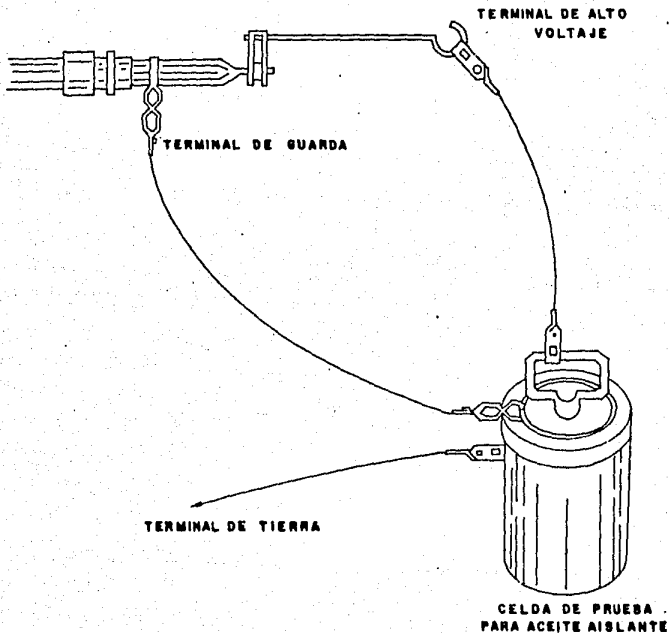


FIG. 5.19.

## TABLA DE CORRECCIONES POR TEMP. A 20°C

## DEL FACTOR DE POTENCIA ACEITES

TEMP. EN °C	FACTOR DE CORRECCION
10	1.38
14	1.24
16	1.16
18	1.08
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	0.63
31	0.60
32	0.58
33	0.56
34	0.53
35	0.51
37	0.47
38	0.45
39	0.44
40	0.42
42	0.38
44	0.36
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

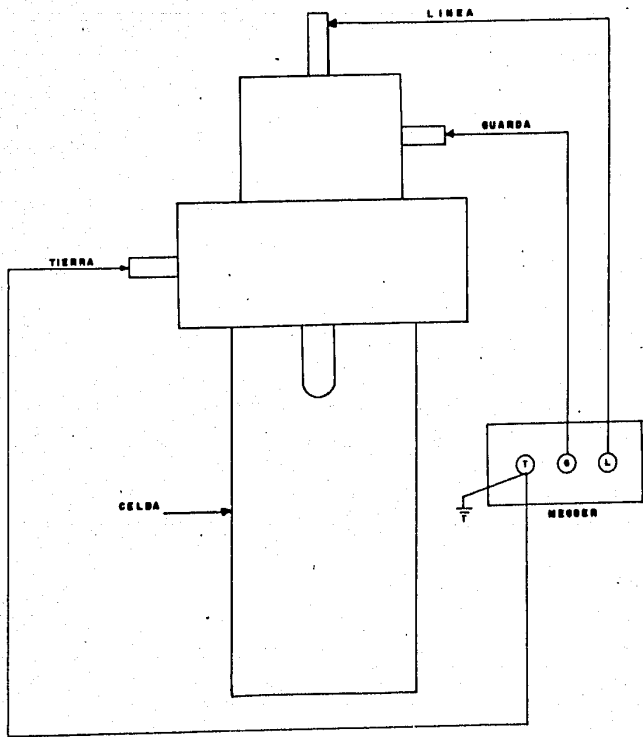


FIG. 5.20  
 CONEXIONES DE PRUEBA DE RESISTIVIDAD DE ACEITE AISLANTE  
 UTILIZANDO MEGGER Y COPA BIDDLE



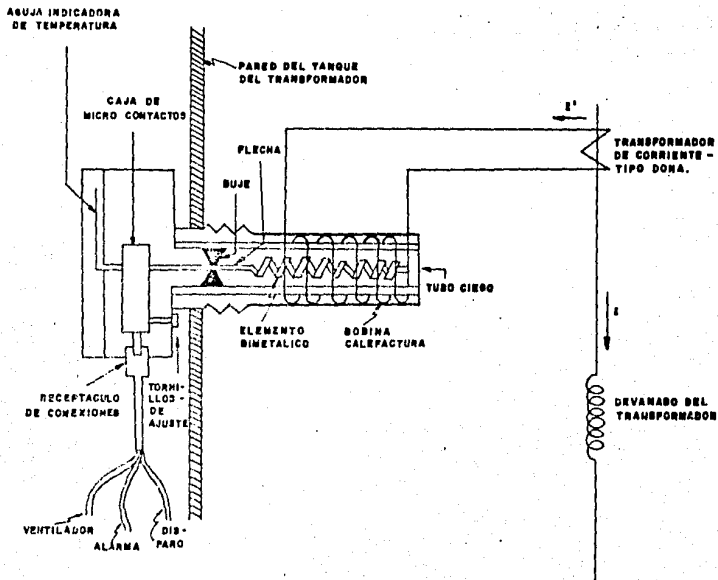


FIG. 5.21 ESQUEMA DE UNA IMAGEN TERMICA

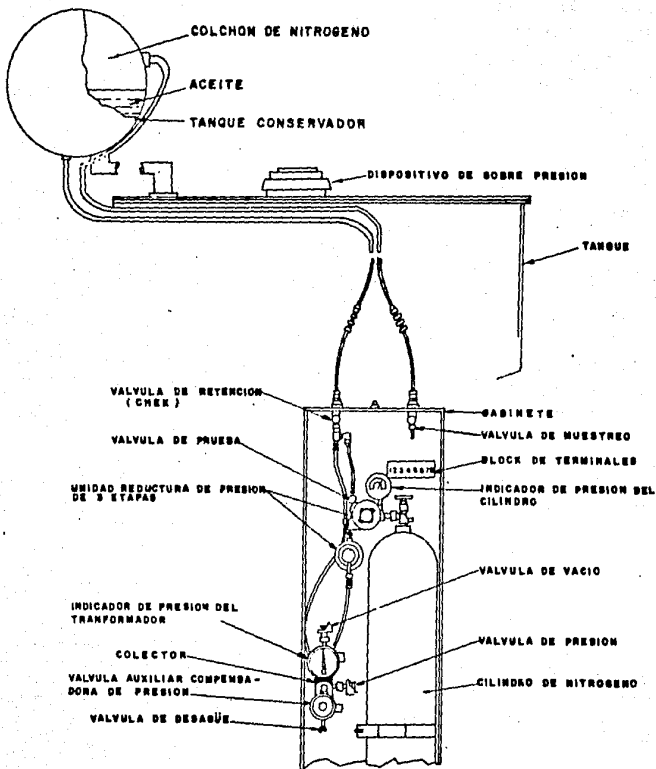


FIG. 5-22 ARREGLO DE EQUIPO DE GAS INERTE

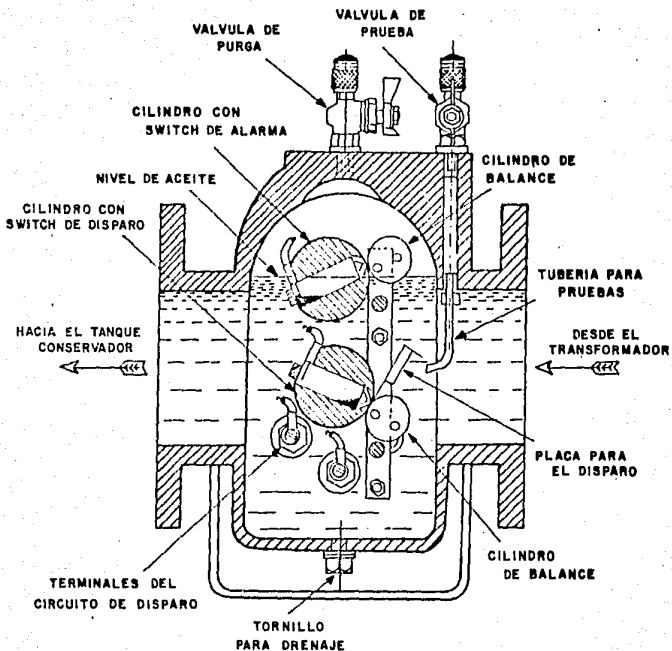
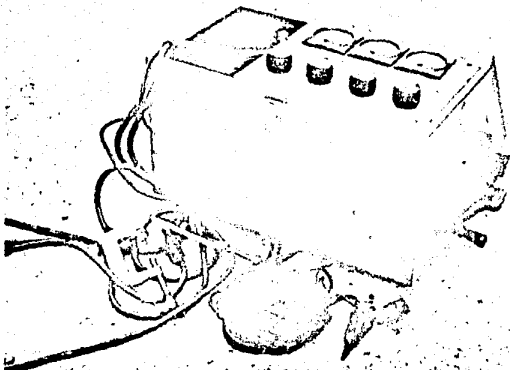


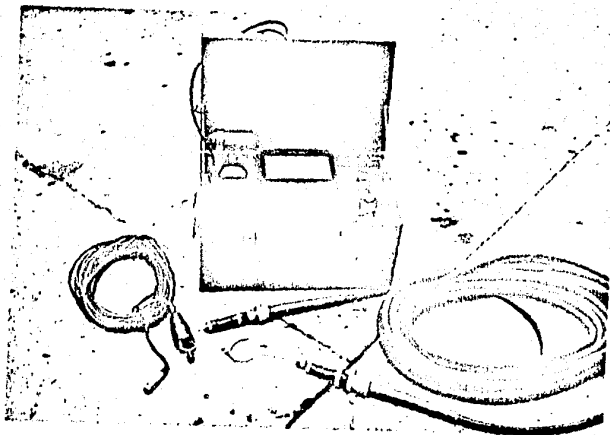
FIG. 5.23 RELEVADOR BUCHHOLZ



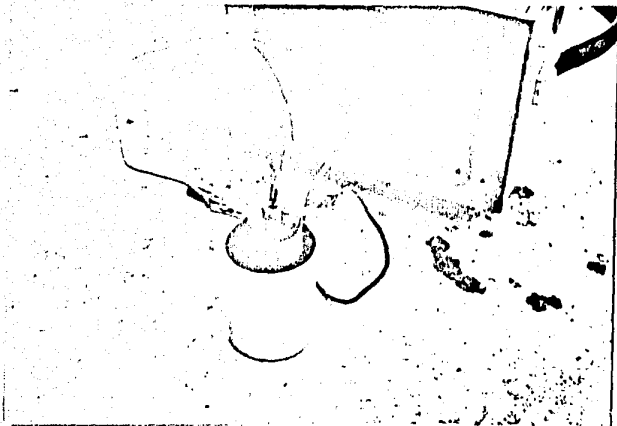
EQUIPO PROBADOR DE RELACION DE TRANSFORMACION  
( T T R ) ( TRANSFORMER TURN RATIO ) MARCA-  
B I D D L E .



EQUIPO PROBADOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA  
EN ACEITES MARCA HIPOTRONICS.



EQUIPO PROBADOR DE FACTOR DE POTENCIA  
MARCA DOBLE ENGINEERING COMPANY.



**COPA PROBADORA DE RESISTIVIDAD PARA ACEITES  
CONECTADA AL MEGGER MARCA BIDDLE.**

**CAPITULO VI**  
**COSTOS Y RUTA CRITICA**  
**DE ACTIVIDADES**



Las actividades serán iniciadas desde el momento en que se reciba el transformador con sus accesorios, diagramas eléctricos y de montaje, dimensiones, pesos y datos de placas .Las siguientes son las listas de actividades a realizar:

ACTIVIDAD No.	DESCRIPCION	DURACION ( DIAS )	ANTES	DESPUES	GRUPO DE TRABAJO
1	Recepción del transformador; - verificación de accesorios, información y condiciones físicas.	2	0	2	1
2	Elaboración de cimentación y bases de soporte del transformador	15	1	3	Contratista.
3	Colocación del transformador sobre su base.	1	2	4	1,2
4	Armado del transformador; montaje de boquillas, soportes de apartarayos, tanque con servador.	5	3	6	1,2

ACTIVIDAD No.	DESCRIPCION	DURACION ( DIAS )	ANTES	DESPUES	GRUPO DE TRABAJO
5	Cableado de señales eléctricas -- del transformador al tablero duplex.	7	3	15	1,3
6	Pruebas de sellado, verificación de fugas en bridas y conexiones y medición de resistencia óhmica de devanados.	1	4	7	1,4
7	Instalación de -- bomba de vacío y de vacuómetro .	2	6	8	1,4
8	Proceso de secado con mediciones de humedad residual por el método de abatimiento de rocío.	5	7	10	1,5
9	Trasegado del -- aceite de los tampos a una bolsa de neopreno.	1	0	11	1,4

ACTIVIDAD No.	DESCRIPCION	DURACION ( DIAS )	ANTES	DESPUES	GRUPO DE TRABAJO
10	Rompimiento del- vacío en el trans- formador y medi- ción de la hume- dad residual por- el método de pun- to de rocío.	1	8	11	1,4
11	Tratamiento del - aceite con la cá- mara desgasifica- dora del equipo - de vacío.	2	9,10	12	1,4
12	Llenado del trans- formador hasta cu- brir núcleos.	1	11	13	1,4
13	Montaje de radia- dores, buchholz,- dispositivo de so- brepresión y equi- po de gas inerte.	2	12	14	1,4

ACTIVIDAD No.	DESCRIPCION	DURACION ( DIAS )	ANTES	DESPUES	GRUPO DE TRABAJO
14	Terminación del llenado del transformador y reposo durante 48 horas.	3	13	15	1,4
15	Pruebas eléctricas y operación de dispositivos de protección.	1	5,14	16	1,4
16	Aplicación de pintura anticorrosiva.	5	15	17	Contra- to.
17	Energización del transformador y verificación de temperaturas y ruidos.	1	16	Fin	1,4

GRUPOS DE TRABAJO

<u>GRUPO</u>	<u>PERSONAL</u>	<u>COSTO DIARIO ( Enero 1988 )</u>
1	1 Ing. de subestaciones	\$ 27, 300.00 ( por toda la obra ).
2	1 Electricista de 1ra.	\$ 25, 508.00
	1 Electricista de 2da.	\$ 22, 161.00
	1 Chofer maniobrista	\$ 17, 488.00
	2 Ayudantes generales- mantenimiento.	\$ 38, 758.00
	1 Ayudante Electricista soldador	<u>\$ 21, 878.00</u>
		\$125, 793.00
3	1 Técnico de protecciones " B "	\$ 21, 551.00
	2 Ayudantes generales- mantenimiento.	<u>\$ 38, 758.00</u>
		\$ 60, 309.00
4	1 Electricista de 1ra.	\$ 25, 508.00
	1 Electricista de 2da.	\$ 22, 161.00
	1 Ayudante Electricista soldador	\$ 21, 878.00
	1 Ayudante Electricista Chofer.	\$ 21, 617.00
	1 Ayudante general de - mantenimiento.	<u>\$ 19, 379.00</u>
		\$110, 543.00

GRUPOPERSONALCOSTO DIARIO ( Enero 1988. )

5      3 Electricistas de 2da.  
( mas 15% servicio noc-  
turno ) .

\$ 66, 483.00

NOTA:

- Todos los trabajos se efectuarán en jornada normal de trabajo, por lo que no existe necesidad de pago de tiempo extra.
- Para efectuar el secado en tres turnos de 7 a 15 Hrs., 15 a -- 22 Hrs. y 23 a 7Hrs., la persona que labore de 23 a 7 Hrs. recibirá una compensación diaria del 15% por jornada nocturna.

MATERIALES

( Para un transformador de 30 KVA'S )

<u>CANTIDAD</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>COSTO UNITARIO</u>	<u>COSTO TOTAL</u>
20,000	Lt.	Aceite aislante	\$ 2,300.00	\$46'000,000.00
80	Lt.	Primario antio- rrrosivo.	\$ 19,560.00	\$ 1'564,800.00
60	Lt.	Acabado antio- rrrosivo.	\$ 15,300.00	\$ 9'180,000.00
3	Lotes	Herramienta.	\$ 750,000.00	\$ 2'250,000.00
100	Lt.	Aceite Heavy Me- dium.	\$ 860.00	\$ 86,000.00
50	Kg.	Estopa blanca - de lra.	\$ 1,200.00	\$ 60,000.00
200	Lt.	Gasolina	\$ 497.00	\$ 99,400.00
30	Pza.	Lija de agua - fina.	\$ 2,300.00	\$ 69,000.00
30	Pza.	Lija de agua - gruesa.	\$ 2,300.00	\$ 69,000.00
50	Lt.	Thiner de lra.	\$ 3,200.00	\$ 160,000.00
10	Pza.	Rollo de cinta- de teflón.	\$ 4,500.00	\$ 45,000.00
1	Kg.	Grasa conducto- ra.	\$ 75,000.00	\$ 75,000.00
1	Kg.	Vaselina simple	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
5	Mt <sup>2</sup>	Hule Neopreno - de 1/8".	\$ 85,000.00	\$ 425,000.00
3	Mt <sup>2</sup>	Corcho Neopreno de 1/4".	\$ 120,000.00	\$ <u>360,000.00</u>
Total				\$60'455,200.00

ADQUISICION DE SERVICIOS

Por elaboración de la cimentación del transformador.	\$ 9'000,000.00
( Incluye diseño, excavaciones, - surtimiento de materiales y - construcción ).	
 Pintura del transformador	<u>\$ 1'500,000.00</u>
Total	\$10'500,000.00

Se considera que se cuenta con el siguiente equipo:

- Grúa para 5 toneladas
- Bomba de vacío con cámara desgasificadora
- Bombas para trasegado de aceite
- Mangueras de neopreno
- Mangueras para alto vacío
- Equipos para pruebas eléctricas
- Taladro vertical
- Transformador ( los costos varían enormemente en la actualidad ).



MATRIZ DE ANTECEDENTES Y DE SECUENCIAS

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>ANTECEDENTES</u>	<u>SECUENCIAS</u>
1	-	2
2	1	3
3	2	4
4	3	6
5	3	15
6	4	7
7	6	8
8	7	10
9	-	11
10	8	11
11	9,10	12
12	11	13
13	12	14
14	13	15
15	5,14	16
16	15	17
17	16	-

MATRIZ DE PENDIENTES

ACTIVIDAD	T.E.	T.O.	\$N	\$L	m
1	2	1	54,600	60,060	5,460
2	15	10	9'000,000	9'000,000	0
3	2	1	44,788	49,266	4,478
4	5	4	247,305	272,035	24,730
5	7	6	341,957	376,152	34,195
6	2	1	116,226	127,848	11,622
7	2	1	93,358	93,358	0
8	5	5	247,305	247,305	0
9	1	1	93,783	103,161	0
10	1	1	74,969	82,465	0
11	2	2	93,358	93,358	0
12	1	1	132,679	132,679	0
13	2	2	142,678	156,945	0
14	3	2	140,037	140,037	0
15	2	1	94,348	103,782	9,434
16	5	4	9'180,000	9'230,000	50,000
17	1	1	137,843	137,843	0

En donde:

\$N= Costo normal

\$L= Costo límite

m= es la pendiente ( relación que existe entre el incremento del costo y la compresión de tiempo ). Se calcula de la siguiente manera:

$$m = ( \$L - \$N ) / ( T.E. - T.O. )$$

TOTAL COSTO NORMAL : \$ 20' 235, 234 . 00

MATRIZ DE TIEMPOS

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>T.N.</u>	<u>T.P.</u>	<u>T.O.</u>	<u>T.E.</u>
1	2	3	1	2
2	15	18	10	15
3	1	5	1	2
4	5	7	4	5
5	7	9	6	7
6	1	4	1	2
7	2	4	1	2
8	5	7	5	5
9	1	3	1	1
10	1	3	1	1
11	2	3	2	2
12	1	3	1	1
13	2	4	2	2
14	3	5	2	3
15	1	4	1	2
16	5	8	4	5
17	1	2	1	1

En donde:

T.N.= Tiempo normal ( el que se necesita para la ejecución de las actividades ).

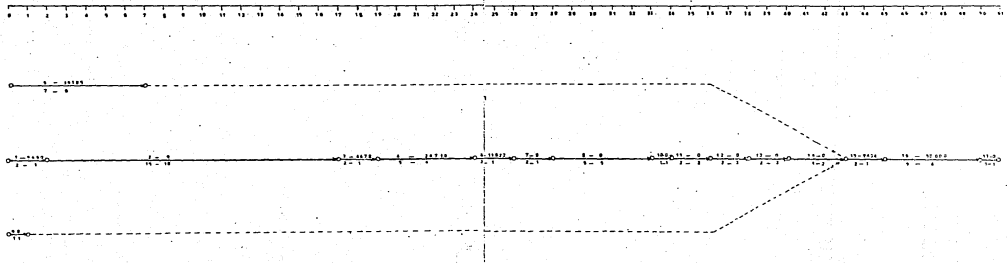
T.P.= Tiempo pésimo ( es ocasionado por causas no previstas ).

T.O.= Tiempo óptimo ( es la posibilidad de realizar cada actividad en el menor tiempo posible ).

T.E.= Tiempo estándar ( dá al tiempo medio una proporción de - 4 a 6 mayor que los tiempos óptimos y pésimos ). El tiempo estándar se calcula con la fórmula de PERT:

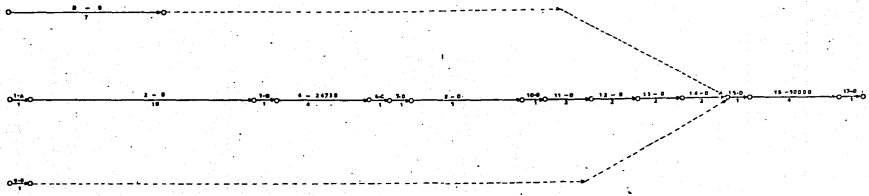
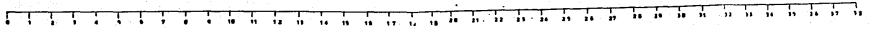
$$T.E. = ( T.O. + 4T.N. + T.P. ) / 6$$

RED DE TIEMPO ESTANDAR



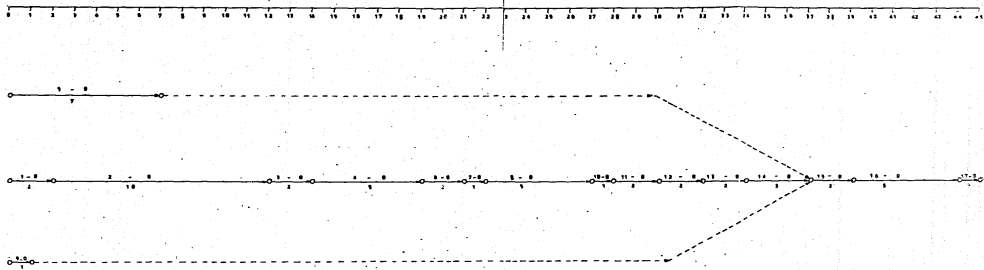
L.

R E D D E T I E M P O O P T I M O

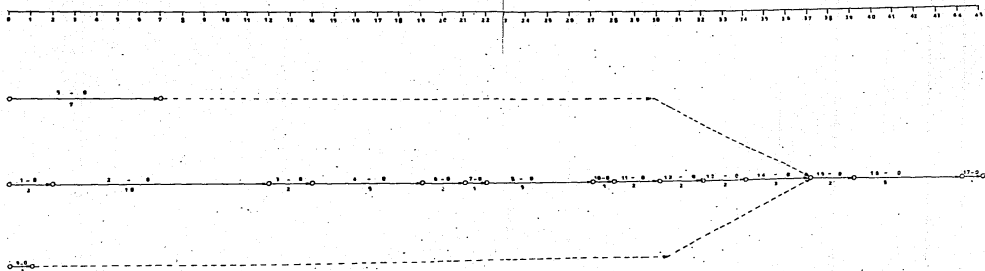


A 1050  
B 1075  
C 1025

RED TIEMPO INTERMEDIO



RED TIEMPO INTERMEDIO



COSTO TOTAL

El costo total se determina de la siguiente manera:

$$CT = \$ N + \$ I + D ( \$ F )$$

En donde:

CT = Costo total

\$N = Costo normal

\$I = Costo incremental ( m X No. de días reducidos )

D = Duración del proyecto ( en días )

\$F = Costo fijo diario

Costo total para el tiempo estándar ( 51 días )

$$CT = 20'235,234 + 51 ( 390,428 ) = \$ 40'147,062. 00$$

Costo total para el tiempo óptimo ( 38 días )

$$CT = 20'235,234 + 105,724 + 38 ( 390,428 ) = \$ 35'177,222 . 00$$

Costo total para el tiempo intermedio ( 45 días )

$$CT = 20'235,234 + 45 ( 390,428 ) = \$ 37'804,494 . 00$$

Para determinar si existe un costo menor que el tiempo óptimo, -  
se hace un estudio de los costos en el intervalo de 38 y 45 -  
días.



Para 39 días:

$$CT = 20 \cdot 235,234 + 55,724 + 39 ( 390,428 ) = \$ 35'517,650 . 00$$

Para 40 días:

$$CT = 20 \cdot 235,234 + 30,994 + 40 ( 390,428 ) = \$ 35'883,348 . 00$$

Para 41 días :

$$CT = 20 \cdot 235,234 + 19,372 + 41 ( 390,428 ) = \$ 36' 262,154 . 00$$

Para 42 días :

$$CT = 20 \cdot 235,234 + 9,938 + 42 ( 390,428 ) = \$ 36'643,148.00$$

Para 43 días :

$$CT = 20 \cdot 235,234 + 4,478 + 43 ( 390,428 ) = \$ 37' 028,116 . 00$$

Para 44 días:

$$CT = 20 \cdot 235,234 + 44 ( 390, 428 ) = \$ 37' 414,066 . 00$$

EL COSTO OPTIMO ES EL DE 38 DIAS, YA QUE ES EL MENOR,

$$COSTO OPTIMO = \$ 35' 177, 222 . 00$$

## CONCLUSIONES

Con los métodos descritos se obtiene una óptima confiabilidad en los transformadores de potencia al realizar una eficiente puesta en servicio, logrando una vida útil de los aislamientos con un mínimo mantenimiento preventivo evitando la presencia de fallas mayores.

Los costos varían actualmente, pero los aquí señalados son aceptables y se consideran buenos, por lo que cualquier industria que requiera de éste tipo de servicio, ayudará mucho a su economía.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 ) Algunos Aspectos Novedosos en los Aislamientos de Transformadores.  
Departamento de Ingeniería  
Industrial Eléctrica, S.A.
- 2 ) Type M2H Instruction Manual for Electrical Insulation - Testing  
Doble Engineering Company.
- 3 ) Muestreo, Pruebas y Tratamiento de Aceites Aislantes  
Ing. Julián Núñez A.  
Oficina de Química Analítica  
Gerencia de Laboratorio de la C.F.E.
- 4 ) Procedimiento de Pruebas de Campo de Aceites Aislantes  
C.F.E. ( SGP - A009 - S ) .
- 5 ) Dewpointer Owner's Manual  
Alnor Instrument Company.
- 6 ) Model 1000 Hygrometer Operating Manual  
Panametrics, Inc.
- 7 ) Instruction Manual for use with the Transformer Turn Ratio  
( TTR ) Test Set  
James G. Biddle Co.

- 8 ) A Stitch in Time  
Manual on Electrical Insulation Using  
Megger test instruments  
James G. Biddle Co.
  
- 9 ) Manual de la Máquina Purificadora de Aceite Mod.820-30  
Stokes - Pennwalt S.A. de C.V.
  
- 10) Libro de Instrucciones de Transformadores  
24-6691 y 24-6692  
Industrias IEM, S.A. de C.V.
  
- 11) Instrucciones de Servicios para Boquillas de Transforma-  
dores Tipos CTf y CTkf  
Micafil AG Zürich  
Schweiz.
  
- 12) Instructions for Inertaire types RBE y HVE  
Westinghouse Electric Corporation.
  
- 13) Instrucciones de Servicio para Buchholz  
Micafil AG Zurich  
Schweiz.
  
- 14) Procedimiento para el Secado de Transformadores  
C.F.E. ( SGP - A006 - S ) .
  
- 15) Iniciación al Método del Camino Crítico  
Agustín Montaña  
Edit. Trillas .