

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"REHABILITACION DE UN TRANSFORMADOR
DE 2,5 MVA - 67/13,2 KV"

INFORME TECNICO
PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIDAD: POTENCIA

PRESENTADO POR
JORGE A. PAZMIÑO GUZMAN

GUAYAQUIL - ECUADOR


1.989

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES
A MIS HERMANOS
A MI ESPOSA
A MIS HIJOS

AGRADECIMIENTO

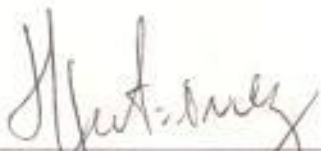
Al Señor Ingeniero Alberto Hanze Bello, dilecto amigo y
compañero por su sincera colaboración en la consecución de
este título.


JORGE PAZMINO GUZMAN

DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS
EXPUESTOS EN ESTE INFORME TECNICO, ME CORRESPONDEN
EXCLUSIVAMENTE".


JORGE PAZMINO GUZMAN



ING. HERNAN GUTIERREZ VERA

DECANO DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA ELECTRICA



ING. ALBERTO HANZE BELLO

PROFESOR RESPONSABLE
DEL INFORME TECNICO



ING. CRISTOBAL MERA GENCON

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

R E S U M E N

La exposición del siguiente informe tiene como objeto analizar la constitución del transformador a 69 KV, cuya importancia como elemento de trasmisión de energía en el sistema eléctrico nacional se ha visto en aumento con el incremento de las subestaciones del sistema interconectado, y por lo cual es necesario profundizarse en el manipuleo, instalación y mantenimiento de esta clase de equipo a fin obtener de él un con fiable funcionamiento y económico mantenimiento.

I N D I C E G E N E R A L

| | Pag. |
|--|------|
| RESUMEN. | |
| INDICE. | |
| INTRODUCCION. | |
| I.- GENERALIDADES | |
| 1.1 Antecedentes y características del transformador. | 1 |
| 1.2 Objetivos. | 14 |
| II.- EVALUACION Y PRESUPUESTO. | |
| 2.1 Análisis para cotización del trabajo. | 15 |
| 2.2 Inspección y mediciones para el diagnóstico del equipo. | 15 |
| 2.3 Planificación de la metodología del proceso. | 19 |
| 2.4 Cuantificación de los materiales, mano de obra y tiempo estimado. | 22 |
| 2.5 Contratación de equipos o servicios. | 26 |
| 2.6 Conformación del presupuesto. | 26 |
| III.- PROCESAMIENTO DE OBRA. | |
| 3.1 Contratación y recepción del equipo; registro del estado físico de las partes. | 29 |
| 3.2 Procesamiento: Desensamblaje, bobinado y ensamblado del transformador. | 32 |
| IV.- PRUEBAS. | |
| 4.1 Conexiones y mediciones previas. | 36 |
| 4.2 Secado y ensamblado del transformador. | 39 |
| 4.3 Pruebas. | 40 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 44 |
| BIBLIOGRAFIA. | 45 |

I N T R O D U C C I O N

La Sub-estación Balao del sistema eléctrico de EMELGUR esta ubicada en una área de influencia que si bien no tiene una demanda propia de la zona, su función es mas bien de enlace con los sistemas adyacentes, Sistema Eléctrico Milagro y EMELORD, canaliza el despacho de carga durante emergencias presentadas en los sistemas concurrentes. Y es así que al ocurrir fallas en el transformador fue necesario disponer su inmediata rehabilitación a fin de mantener la confiabilidad normal del sistema y su capacidad operativa de maniobra.

I GENERALIDADES

1.1 Antecedentes y características del transformador

1.1.1 ANTECEDENTES DEL TRANSFORMADOR

La Empresa Eléctrica Regional Guayas-Los Ríos, EMELGUR con el objeto de dotar de un mejor servicio a los moradores de las áreas de Tenguel-Balao y Recintos aledaños, procedió con fecha 28/Abril/86 a poner en servicio la Subestación de Distribución de Balao, la misma que estaba conformada por un transformador de 2,5 MVA-67/13,2 KV cuyas características y valores de placa se detallan posteriormente.

1.1.2 DATOS TECNICOS E HISTORICOS DEL TRANSFORMADOR.

El transformador de potencia de 2,5 MVA 67/13,2 KV, marca Rhona, del año 1.976 estuvo en servicio en la S/E Daule Vieja desde el 22 de Agosto de 1.981 hasta el 23 de Mayo de 1.985, tomando en dicho período una demanda máxima de 1,9 MW a una temperatura de 59 oC, valor registrado el día 11 de Enero de 1.984 a las 19:00 horas.

Durante su operación en la S/E Daule Vieja se realizaron las siguientes pruebas y trabajos:

20 de Julio de 1.983

Prueba de control de medición de rigidez dieléctrica

que arroja un valor de 35 KV, utilizando el equipo de propiedad de EMELEC.

10 de Marzo de 1.984

Luego de haberse realizado el filtrado del aceite del transformador se obtuvieron los siguientes resultados con los equipos de INECEL que se detallan a continuación:

Rigidez dieléctrica: 51,4 KV y Aislamiento: $> 100 M\Omega$

Dicha prueba de aislamiento se realizó entre devanados así como entre cada uno de ellos con respecto a tierra

El transformador una vez que salió de servicio de la subestación antes mencionada fue trasladado para que opere en la S/E Balao para lo cual la Superintendencia de Construcciones de la Empresa realizó su revisión y habilitación, toda vez que el mismo se había mantenido sin ser utilizado por el lapso de un año.

Las pruebas iniciales realizadas el 24 de Abril/86 previa a su puesta en operación en la S/E Balao registraron los siguientes valores:

Rigidez Dieléctrica: 33 KV (después del filtrado)

Aislamiento: Con el equipo Megger de 5.000 voltios se obtuvieron los siguientes valores a los 10 minutos:

Alta Tensión - Tierra: 21.750 $M\Omega$

Baja Tensión - Tierra: 693 "

Alta Tensión - Baja Tensión: infinito

En estas condiciones dicho transformador entró nuevamente en operación el día 25 de Abril de 1.986, tomando una carga de 350 KW que correspondía exclusivamente a las áreas de Tenguel y Balao, observandose además una temperatura inicial de 30 oC. Su puesta en operación fué de manera urgente en vista de que aparte del área de la Empresa a ser servida, debía proveerse de energía a cierta área de concesión de la Empresa Eléctrica El Oro en vista de que esta última sufría de un déficit considerable de energía eléctrica al poseer gran parte de sus unidades termo-eléctricas dañadas. En estas condiciones dicho transformador tuvo que tomar de manera inmediata una carga de 2.000 KW a una temperatura máxima de 60°C registradas el día 26 de abril de 1.986, a las 19:00, copando en estas condiciones la capacidad. Posteriormente el transformador de la S/E Balao durante el mes de Mayo tuvo que continuar copando toda su capacidad por los requerimientos que EMELORO tenía, no pudiendose llevar un control de carga debido a que en ese entonces la misma era una sub-estación no atendida. Sin embargo de inspecciones realizadas se registró que dicha carga determinaron que la temperatura del transformador se eleve a un valor máximo de 70°C. conforme se detalla en los registros de cargas tomados a las 19:00 horas por parte del personal de guardia

nocturna del área de Tenguel en el horario de 18:00 a 20:30 horas que se de tallan a continuación.

| MES | KW | TEMPERATURA | | FECHA DE MAXIMA DEMANDA |
|--------|------|-------------|--------|-------------------------|
| | | NORMAL | MAXIMA | |
| ABRIL | 2,2 | 52 | 59 | 30/Abril/86 |
| MAYO | 2,1 | 60 | 70 | 27/Mayo/86 |
| JUNIO | 0,54 | 45 | 70 | 21/Junio/86 |
| JULIO | 0,56 | 45 | 70 | 12/Julio/86 |
| AGOSTO | 0,52 | 45 | 70 | 12/Agosto/86 |

Es importante también señalar que debido a que la única alimentadora servida a través de la S/E Balao pasa por una zona considerablemente tupida, dado a las características del área, se han presentado continuas fallas de tipo permanente principalmente caídas de árboles sobre la línea con tipo de fallas más severas como son las fallas trifásicas con neutro a tierra, dos fases a tierra, etc., sumandose a todo esto las repetidas y continuas interrupciones del servicio por fallas en las líneas a 69 KV, tanto de EMELORO, como de la E. E. MILAGRO, que de una u otra manera han venido afectando al transformador.

Posteriormente a las condiciones de operación expuestas en párrafos anteriores se agrega el tipo de falla permanente severa trifásica con neutro a tierra debido a la caída de un árbol en zona de manglares, ocurrido el domingo 17 de Agosto del año en curso cerca de la

subestación, lo que ocasionó que aparte de la apertura del reconectador tipo 6H-50A con sus cuatro operaciones también se fundieran los fusibles de poder de 30 A. de protección del lado primario del transformador, quedando desde esa fecha el mismo fuera de operación debido al bajo aislamiento detectado en su bobina secundaria.

Una vez que el transformador ha quedado inhabilitado se ha realizado las pruebas que a continuación se detallan con el fin de determinar el daño del mismo:

PRUEBAS DEL ACEITE

- a) Rigidez dieléctrica: 25,6 KV (26 de Agosto)
- b) Acidez: Normal
- c) Color: Amarillo opaco

PRUEBAS DE AISLAMIENTO

Con el equipo MEGGER de 5.000 V. se obtuvieron los siguientes valores a los 10 minutos:

ALTA TENSION-TIERRA: 14.000 M Ω

BAJA TENSION-TIERRA: 2.000 "

ALTA TENSION-BAJA TENSION: 4,5 "

PRUEBAS DE RELACION DE VOLTAJES

Se inyectó 220 voltios trifásicos en el lado de 67 KV del transformador obteniéndose los siguientes resultados en los terminales de baja tensión:

| <u>Voltaje de entrada</u> | <u>Voltaje de salida</u> | <u>Voltaje de salida de faseamiento</u> | <u>Relación de voltajes</u> |
|---------------------------|--------------------------|---|-----------------------------|
| FAB: 200 V. | FAB: 45 V. | FAN: 22 V. | 4.44 |
| FBC: 210 " | FBC: 45 " | FBN: 20 " | 4,67 |
| FAC: 200 " | FAC: 45 " | FCN: 20 " | 4,44 |

INGENIERIA ELECTRICA

RHONA

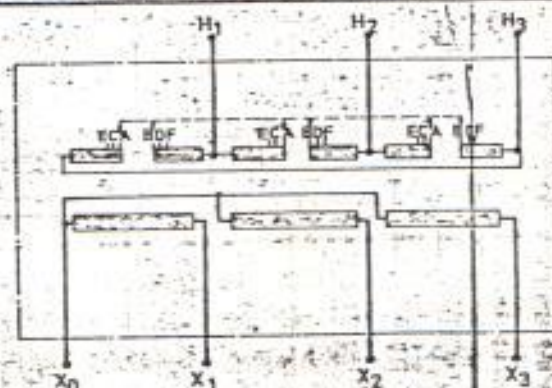
S.A.C.é I. Viña del Mar- CHILE

TRANSFORMADOR

N°

AÑO

FASES: 3 FRECUENCIA: 60 Hz



POTENCIA: 0 A 55° C KVA

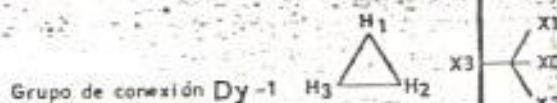
0 A 65° C KVA

TENSION NOMINAL: 67 000 / 13 200 V

TENSIONES Y CORRIENTES - 0A 65°C

| | Camb | Tensión | Corriente | Conex. |
|------------|------|---------|----------------------|---------|
| PRIMARIO | 1 | 70 350 | <input type="text"/> | A con B |
| | 2 | 68 675 | <input type="text"/> | B con C |
| | 3 | 67 000 | <input type="text"/> | C con D |
| | 4 | 65 325 | <input type="text"/> | D con E |
| | 5 | 63 650 | <input type="text"/> | E con F |
| SECUNDARIO | | 13 200 | <input type="text"/> | |

IMPEDANCIA % BASE 0A 55°C Y TOMA NOM



Grupo de conexión Dy-1

PESOS APROXIMADOS

| | | |
|----------------------|----------------------|-----|
| NUCLEO Y ENROLLADO | <input type="text"/> | Kg |
| ESTANQUE Y ACCESORIO | <input type="text"/> | Kg |
| ACEITE | <input type="text"/> | Lts |
| PESO TOTAL | <input type="text"/> | Kg |

EL ESTANQUE RESISTE VACIO ABSOLUTO

FABRICADO BAJO LICENCIA DE
GENERAL ELECTRIC COMPANY USA

PLACA DEL TRANSFORMADOR

CONCLUSIONES

De las pruebas descritas anteriormente y con la ayuda del equipo TTR, se concluye que dos de las tres bobinas de baja tensión tienen falla a tierra y entre espiras no pudiéndose determinar exactamente la grandiosidad y ubicación física del daño en vista de que este transformador es tipo sellado (no tiene pernos en la parte superior) no habiéndose procedido a su apertura para la visualización de las bobinas del mismo.

En lo que corresponde a las bobinas de alta tensión éstas se encuentran en buen estado, determinando mas aún las condiciones del aceite que el daño no es tan considerable.

ELABORADO: Superintendencia de Operaciones

FECHA: Septiembre de 1.986

1.1.3 CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR

POTENCIA NOMINAL: 2.5 MVA - OA

2.8 MVA - OAF

RELACION NOMINAL DE TRANSFORMACION:

$67.000 \pm 2 \times 2,5 \% / 13.200$

TENSIONES NOMINALES: HV: 67.000 V

LV: 13.200 V

INTENSIDADES NOMINALES: HV.: 21,5 A

LV.: 109,3 A

FRECUENCIA NOMINAL: 60 HZ.

GRUPO DE CONEXION : Dy1

TENSION DE CORTO-CIRCUITO a 75°C y 2,5 MVA: 6.6 %

PERDIDAS EN VACIO: 12,5 KW

PERDIDAS EN CORTO-CIRCUITO a 75 °C Y 2,5 MVA: 54 KW

TEMPERATURA AMBIENTE MAXIMA: 40 °C

SOBRETENPERATURA ADMISIBLE: 55 °C

VALORES DE AJUSTE:

Termómetro de aguja para la temperatura del aceite y el control de los ventiladores:

85 °C alarma, 95 °C desconexión

Ventiladores conectados: 75 °C

Ventiladores desconectados: 65 °C

1.1.4 DISEÑO DEL TRANSFORMADOR

A. ALTA COFIABILIDAD Y FACIL MANEJO

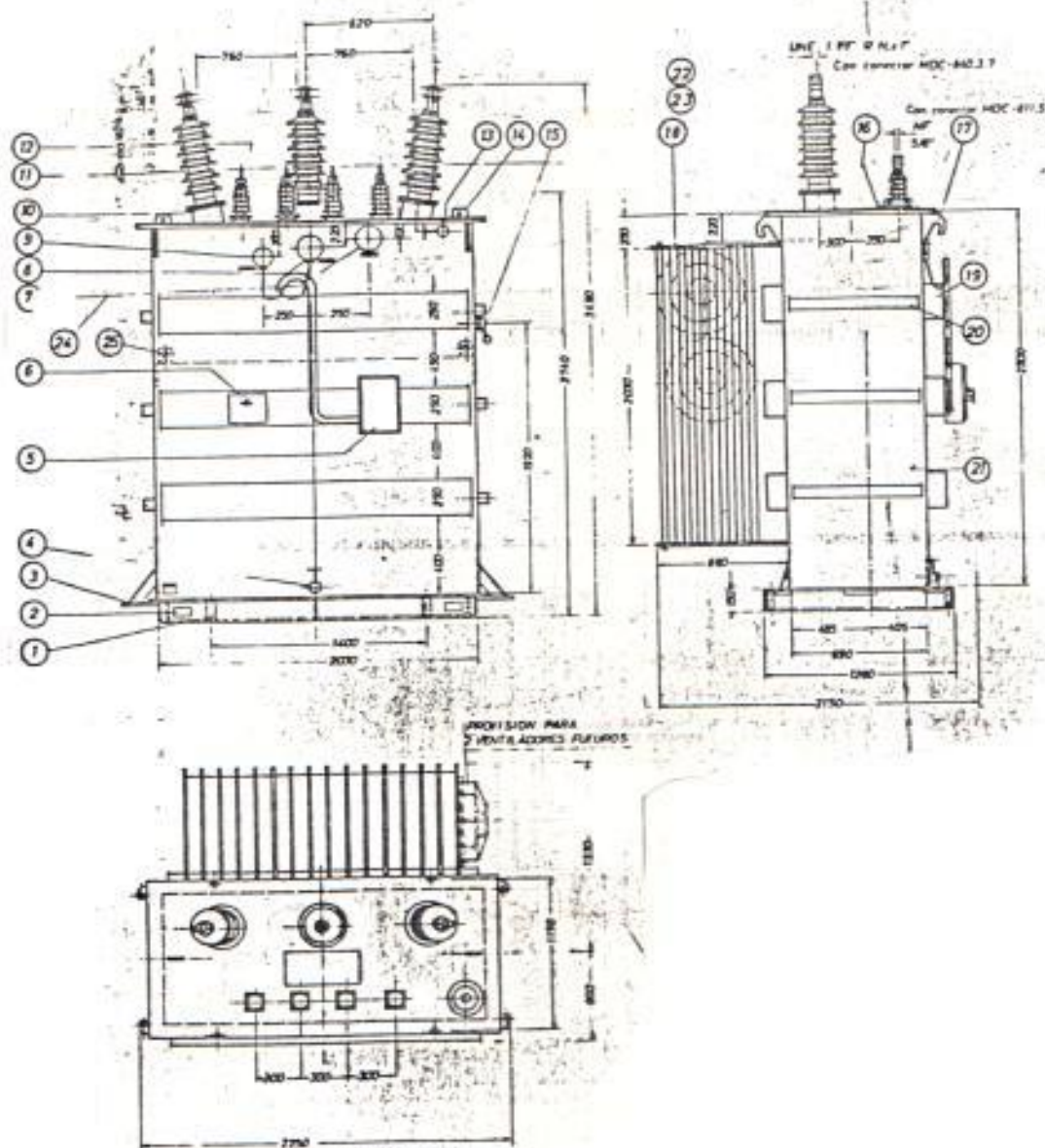
Este tipo de transformador para voltajes y capacidad media se fabrica a un costo relativamente bajo debido a su tamaño compacto y sencilla estructura de aislamiento, pero manteniendo la resistencia mecánica y ofreciendo gran facilidad de inspección.

B. ACERO AL SILICIO DE GRANO ORIENTADO LAMINADO EN FRIO

Lo que ha permitido obtener un transformador de gran eficiencia, tamaño reducido y poco peso.

C. TANQUE DE ACEITE REFORZADO

El diseño rectangular reforzado asegura una mayor resistencia mecánica a las paredes de acero laminado para soportar el vacío a que es sometido para inyectar



VISTA EXTERIOR DEL TRANSFORMADOR

el aceite, y la sobrepresión con que trabajará normalmente a fin de impedir el ingreso de la humedad al interior.

El termómetro de cuadrante ha sido reforzado con una pared doble que facilita el desmontaje y los cambios. El indicador de nivel de aceite es circular y del tipo magnético y no permite pérdidas del aceite ni ingreso de humedad.

La cubierta se adosa al tanque con pernos que mantienen hermeticidad a través de un grueso empaque.

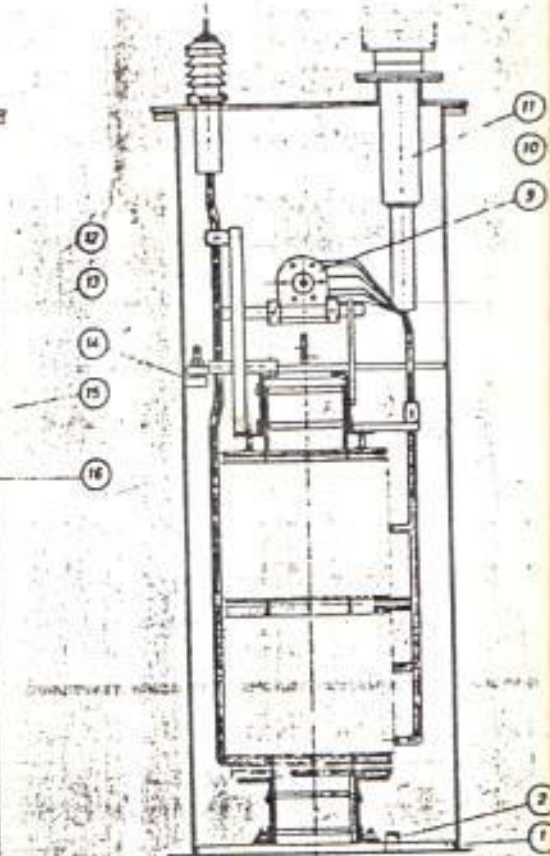
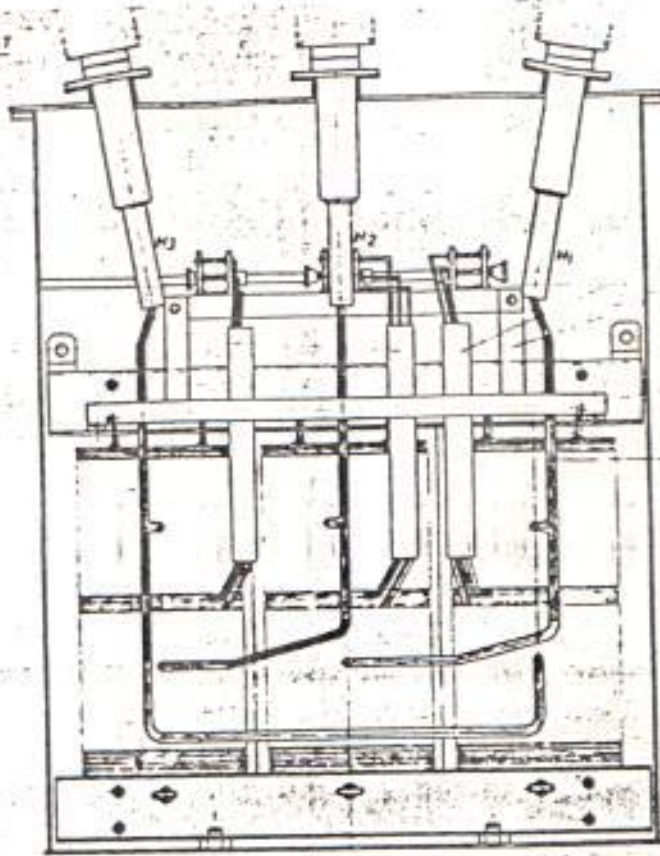
D. RADIADORES TUBULARES SIN COSTURA

Su disposición facilitan la inspección de los mismos en el lugar de la instalación. No presentan problemas de corrosión y pérdidas de aceite producidas por la oxidación de las partes soldadas inferiores por el agua de lluvia. Pueden resistir un vacío total sin necesidad de ser reforzados.

E. BUSHINGS

El transformador posee aisladores de porcelanas tipo condensador con acoples blindados de elevada resistencia mecánica y dieléctrica. Dichas bases están separadas del aceite en el tanque y por lo tanto en caso de desperfectos en los mismos no se producirán ningún tipo de pérdida de aceite.

VISTA LADO A T

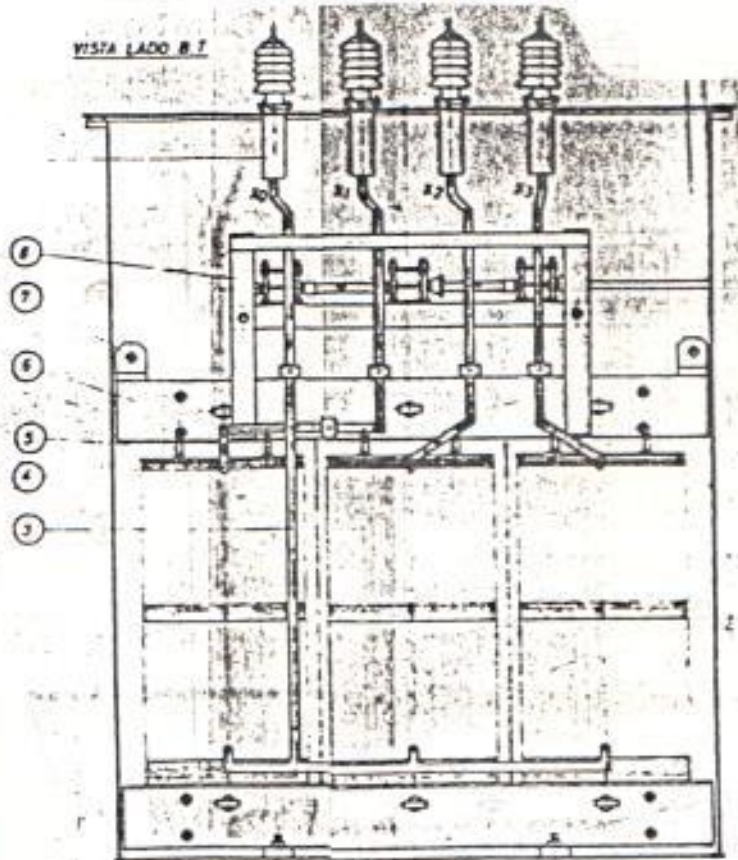


- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15

- 17
- 18
- 19

- 20
- 21

VISTA LADO B T



- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27

VISTA INTERIOR

F. ALTO AISLAMIENTO CONTRA DESCARGAS DE CORRIENTE

El devanado está enrollado con papel kraft (papel de pulpa sulfítica) común y la falta de barniz permite impregnarlo con aceite desgasificado el cual ofrece un elevado factor de impulso y alta resistencia dieléctrica contra descargas de tensión.

Se mejora también el aislamiento del extremo de las bobinas y las bobinas para alta tensión están equipadas con una placa estática para asegurar una buena distribución de voltaje y ofrecer suficiente resistencia contra descargas de corriente. Las bobinas para alta tensión poseen un devanado en serie de gran capacidad que minimiza las oscilaciones potenciales internas y voltajes anormales.

G. NUCLEO

El núcleo del transformador trifásico posee tres circuitos derivados, y ha sido construido con láminas de acero al silicio de primera calidad con alta permeabilidad y bajas pérdidas. La construcción se realiza en capas escalonadas para ajustar perfectamente con la bobina circular y láminas sobrepuestas con corte de 45g, con el propósito de aprovechar al máximo las excelentes características del acero.

Para prevenir posibles deterioros de las característi

cas del acero debido a flexiones en el núcleo, se han fijado placas de seguridad a los circuitos derivados del núcleo por medio de tornillos aislados. Las placas vienen provistas con tuercas en las partes superior e inferior.

Estas tuercas se acoplan a los pernos fijados sobre la estructura de soporte. Las placas de seguridad protegen los circuitos derivados del núcleo de la fuerza ejercida durante la fijación del núcleo o al levantar las partes inferiores.

Las capas del núcleo se unen en uniones sobrepuestas y se fijan por medio de pernos o cinta vitrificada para prevenir vibraciones y ruidos. Los pernos de fijación del núcleo están aislados con ductos de fibra de vidrio de alta resistencia térmica y mecánica, que les permite resistir los impactos mecánicos durante el transporte y el calor generado en el interior del núcleo. No existe el peligro de corrientes parásitas producidas por corrientes dieléctricas.

Las escuadras entre los escalones del núcleo y la pared interior de los devanados sirven de conductos de circulación del aceite que desplazara el calor interno generado.

H. BOBINAS

Los devanados del transformador están constituidos de bobinas estándares de distribución concéntrica con un devanado exterior de alta tensión y un devanado interior de baja tensión.

Estas bobinas estándares son de tipo continuo, la que viene separada por conductos de aceite y son resistentes tanto eléctrica como mecánicamente.

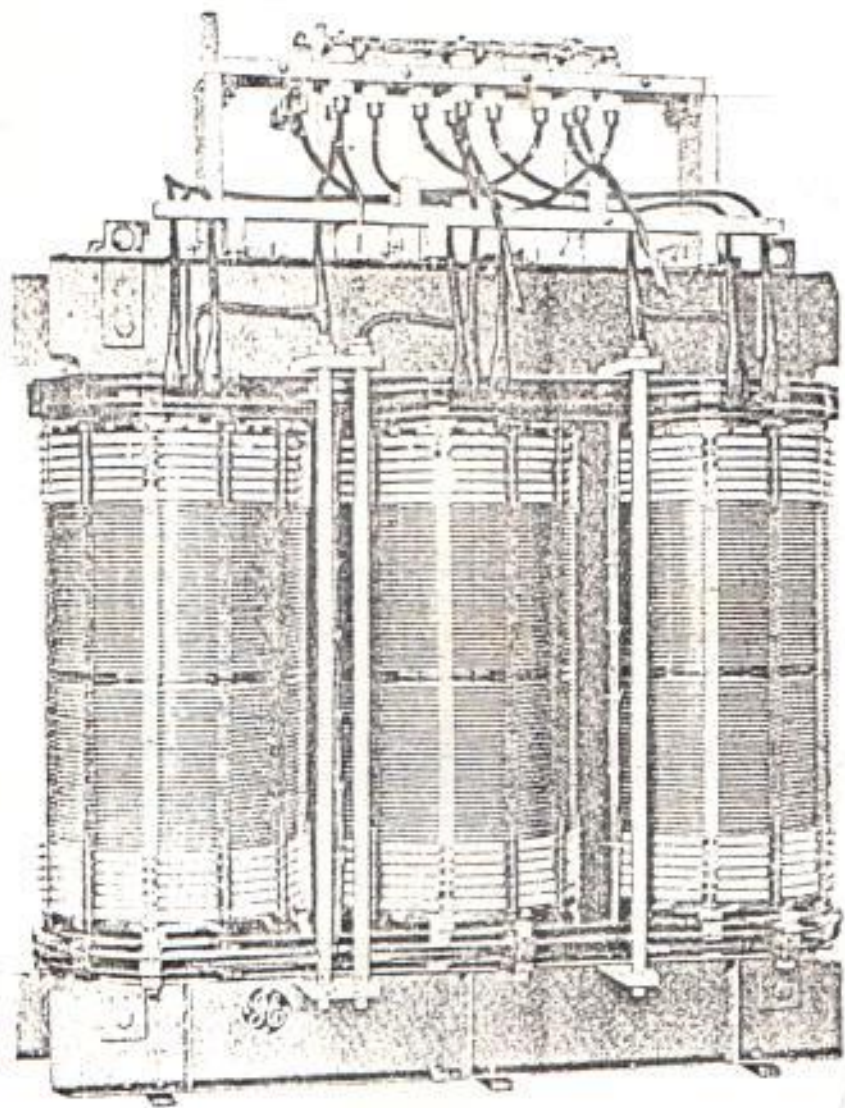
Cuando hay dos o más conductores en paralelo para grandes corrientes, el cruce de los hilos es efectuado en un gran número de puntos para eliminar completamente corrientes transversales en los mismos.

I. AISLAMIENTO

Los conductores de los devanados de alta tensión están aislados con capas de papel kraft especialmente delgadas.

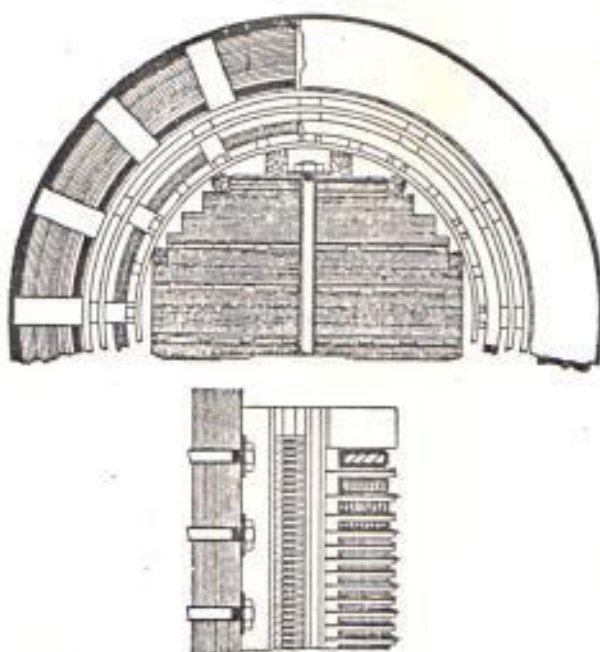
La aislación entre los devanados de alta y baja tensión y entre las bobinas y tierra posee la suficiente resistencia dieléctrica y mecánica.

El devanado de baja tensión, el más cercano al núcleo, está enrollado alrededor de un cilindro de mica. Cilindros de cartón comprimido y separadores para los conductos de aceite se colocan alternativamente en una distribución concéntrica entre las bobinas.



— Conexiones internas y salidas de un transformador trifásico.

nas de alta y baja tensión. A los extremos de las bobinas también llevan arandelas de cartón comprimido y separadores para proveer la suficiente distancia de escurrimiento. La ingeniosa disposición de los conductos de aceite permite la eliminación completa de la humedad y gases así como la impregnación, durante el secado o carga de aceite, asegurando la perfecta circulación del aceite para enfriar los devanados durante la operación del transformador.



—Bobinas y aislamiento tipo concéntrico para transformador de 132 000 Volts.

J. SOPORTE Y FIJACION DE LAS PARTES INTERIORES

Las partes interiores del transformador vienen aseguradas firmemente para resistir los esfuerzos mecánicos producidos por las corrientes de corto-circuito, golpes durante el transporte.

Las bobinas están fijadas firmemente al núcleo por medio de perfiles de soportes superiores e inferiores y aros de fijación que evitan la deformación o flojedad de la bobina.

El núcleo está fijado firmemente por medio de perfiles de soporte y pernos de fijación. El movimiento dentro del tanque se ha evitado fijando la parte inferior de la estructura de soporte con el fondo del mismo. Al mismo tiempo la parte superior de la estructura de soporte está fijada a las paredes del tanque.

Los terminales y conductores superiores de las bobinas están perfectamente aislados y fijados en apoyos de cartón comprimido.

K. ACCESORIOS

Dial indicador de nivel de aceite con contactos de alarma.

Válvula de drenaje de aceite.

Válvula para filtrado del aceite.

Válvula para muestreo del aceite.

Dial indicador de la temperatura del aceite, con con-

tactos de alarma, disparo y control de ventiladores.
Cambiador de taps para maniobrar desenergizado el transformador.

Deshidratador de sílica gel.

Válvula de descargo de presión.

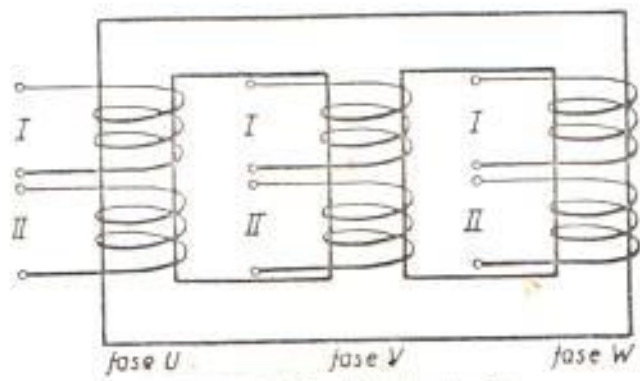
Dial indicador de presión.

Relé Buchholz con alarma y contactos de disparo.

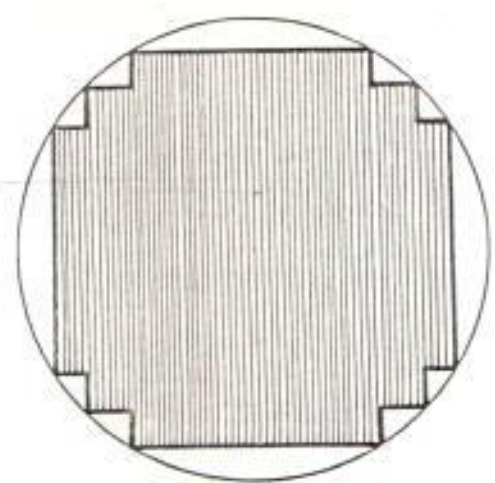
1.2 Objetivos

La urgencia presentada en la Sub-estación Balao del Sistema EMELGUR, llevó a sus funcionarios a evaluar la posibilidad de rehabilitarlo lo mas pronto y confiabilmente dentro del medio especializado existente en el país, aunque este trabajo en su magnitud no se había realizado anteriormente.

La responsabilidad personal y el anhelo de lograr nuevas metas a base de los logros y experiencias en la reconstrucción de transformadores de capacidad grande aunque a un nivel inferior de voltaje y ensamblaje, mantenimiento y pruebas como secado por corto-circuitos, en estos transformadores en el sistema EMELGUR, hizo merito suficiente para acreditar la rehabilitación del transformador de 2,5 MVA a 67 KV.



— Núcleo trifásico simple.



— Sección circular del núcleo (aproximación a la circunferencia).

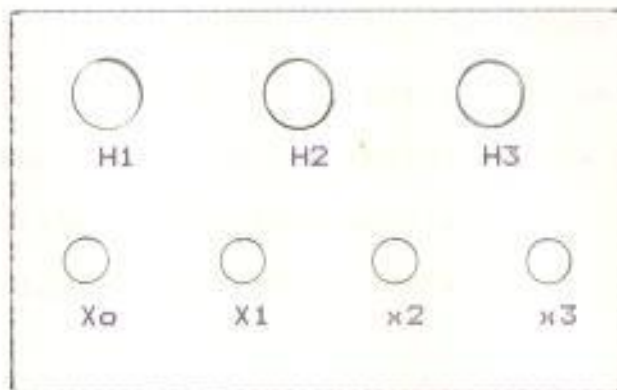
II EVALUACION Y PRESUPUESTO

2.1 Análisis para cotización del trabajo

De la comunicación enviada por los personeros de EMELGUR en que solicitan una cotización para la reparación del transformador, y de la historia de funcionamiento y registro de las mediciones tomadas se estima un arco presentado entre dos bobinas y el núcleo para lo cual hay que desarmar el transformador y trabajar en los devanados, siendo éste un trabajo para realizarlo en taller con las herramientas y equipos apropiados y protección debida, teniendose que movilizar el transformador desde la sub-estación hasta el taller.

2.2 Inspección y mediciones para el diagnóstico del daño.

De las referencias de las maniobras realizadas y de los trabajos ejecutados posteriormente a fin de energizar nuevamente el transformador, se determinó que hubo presencia de grumos de carbón en el aceite, los cuales fueron eliminados al recircularse el aceite en el equipo de filtrado y vacío, con lo que solo se regeneró el aceite, continuando el bajo aislamiento en los devanados, lo que nos indica una alteración en la constitución de las bobinas por lo que para dimensionar dicha falla procedemos a aplicar un bajo voltaje en las



Disposición de los terminales del transformador

| | H2-H3 | H2-H1 | H1-H3 |
|-----|-------|-------|-------|
| X1: | 7,10 | 30,00 | 50,50 |
| X2: | 44,00 | 52,00 | 50,50 |
| X3: | 52,40 | 21,00 | 4,20 |

**CUADRO DE VOLTAJES INDUCIDOS (X)
APLICANDO UN VOLTAJE H (480 V.)**

Al aplicar un voltaje monofásico en uno de los devanados primarios de un transformador trifásico, éste induce en el secundario respectivo un voltaje de acuerdo a la relación de placa y en los otros dos devanados secundarios la suma de dichos valores inducidos es semejante al voltaje de placa resultante inducido. Por lo que de un registro de tales mediciones se vé el voltaje correspondiente a la fase B igual a la suma de los valores iguales en las fases A y B.

Del cuadro anterior y con relación al voltaje inducido de 52 V. calculado de acuerdo al voltaje aplicado a

las bobinas de alta tensión, determinamos una alteración del 99,236 % en uno de los devanados, esto es una reducción de vueltas (corto entre vueltas o capas del devanado por arco), lo que incide en una disminución de la relación de voltajes de placa por lo que el voltaje calculado de 52 voltios dará un voltaje resultante de:

$$\frac{52 \text{ V.}}{0,99236} = 52,4 \text{ V.}$$

En la bobina central H1-H2 al existir un voltaje inducido de 52 voltios, en las bobinas contiguas debiera inducirse un voltaje balanceado de:

$$52/2 = 26 \text{ V.}$$

Vemos que la bobina H2-H3 induce un voltaje de 21 voltios de lo que determinamos falla en dicho devanado.

Midiendo los aislamientos de las bobinas con un megger de 5.000 V. durante 3 minutos y a una temperatura de 30 °C. obtenemos los siguientes valores:

| | 1' | 2' | 3' |
|---------|----------|----------|----------|
| P - S = | 5.750 MΩ | 6.250 MΩ | 6.500 MΩ |
| P - T = | 4.350 | 5.250 | 5.500 |
| S - T = | 1,9 | 1,9 | 1,9 |

Del cuadro de aislamientos registrados determinamos un bajo aislamiento entre los devanados secundario y el

núcleo (Tierra) por lo que de las mediciones anteriores determinamos la falla en la bobina secundaria X3.

2.3 Planificación de la metodología del proceso.

El proceso se lo puede enumerar en las siguientes actividades:

- 1.- Llegada del transformador: recepción y registro del estado físico en que llega.
- 2.- Mediciones y análisis de la falla, previo al desensamblaje del equipo.
- 3.- Desarmada y embalaje de los bushings, sellado de los orificios pasatapas, desarmada de la tapa, sacada de los controles indicadores de temperatura, presión y nivel de aceite.
- 4.- Sacada de los pernos que aseguran el núcleo al tanque y elevación del núcleo sustentado desde los extremos.
- 5.- Inspección de las bobinas y mediciones directas sobre las bobinas a la vista.
- 6.- Desconexión de los puentes de alta y baja tensión y desensamble de las láminas del núcleo para la extracción de las bobinas.
- 7.- Preparación de las formaletas para la desarmada de las bobinas, descuento de los devanados.
- 8.- Armada de las bobinas de acuerdo al registro obte-

nido en el paso anterior y calculado de acuerdo a los datos de placa.

- 9.- Limpieza total de las láminas y culatas del núcleo que presentaban depósitos de carbón.
- 10.- Ensamble de las bobinas en el núcleo, soldadas de los cables y barras usados como puentes en las conexiones primarias y secundarias.
- 11.- Mediciones: aislamiento, relación de voltajes, corto-circuito.
- 12.- Secado, ensamble y llenado de aceite.
- 13.- Pruebas de confiabilidad: aislamiento, relación de voltajes, corto-circuito y energizado en vacío.
- 14.- Pruebas del sellado de los empaques y juntas, e inyección del nitrógeno.
- 15.- Pintada y acabados.
- 16.- Despacho.

2.3.1 EVALUACION DEL EQUIPO DEL TALLER

De las conclusiones arribadas despues de las mediciones registradas, se planificó el trabajo de rebobinado de los devanados de una de las fases (H3), para lo cual habría que transportar el transformador de 10.600 kilos desde la población de Balao en un vehículo tipo cama-baja, para seguridad de su movilización.

Para la carga y descarga del vehículo será necesario contratar una grúa de 15 toneladas.

En el taller se manipulará el transformador con un caballete de 6,00 metros de altura y una resistencia de 20.000 kilos con 2 teclas de 10 toneladas para maniobrabilidad en el desensamble del núcleo del tanque.

La bobinadora con un motor de 2 HP posee un torque suficiente para el bobinado de los devanados que poseen un peso aproximado de 300 Lbs.

En la armada de las bobinas, unión de los alambres y barras se requiere del equipo de soldadura autógena

Para el secado del núcleo ya reparado contamos con el horno de secado de 6.000 vatios en focos infrarrojos con el que alcanzaremos la temperatura de secado de los devanados.

Para el procesamiento del aceite tenemos el equipo regenerador por centrifugación, así como también la bomba de vacío para la inyección del aceite al vacío.

Para las pruebas en el transformador se aplicaran los voltajes convenientes a través del tablero de control y banco de prueba.

El transformador una vez ensamblado y probado su

funcionamiento confiable se procede al acabado externo, sellado de posibles fugas de aceite y de nitrógeno, inyectándose finalmente el gas que mantendrá una sobre presión en la cámara superior e impedirá el ingreso de la humedad.

La pulida y sellado de las fallas en la pintura del tanque se hará previamente a la pintada definitiva, necesitando en este paso la pulidora y el compresor de aire.

2.4 Cuantificación de los materiales, mano de obra y tiempo estimado.

2.4.1 DE LOS MATERIALES

De las mediciones realizadas y analizando dichos valores hemos determinado falla en solo una de las fases en su devanado secundario por lo que estimaremos los costos sobre la reconstrucción del devanado afectado, descartando daños en los otros devanados debido a los valores de aislamiento y de relación de voltajes registrados.

Al transformador trifásico de 2.500 KVA corresponde una capacidad por fase de 833 KVA lo que nos fija según catálogos, para devanados a un voltaje de $13.200 / \sqrt{3}$ voltios un peso en material de cobre de 255 Lbs., por lo que procedemos a presupuestar los materiales necesarios.

LISTADO DE MATERIALES

| | Un. | Cant. |
|---------------------|-------|-------|
| | ===== | |
| Aceite | Gln | 385 |
| Cobre | Lbs | 255 |
| Papel Press-pan | " | 20 |
| Cartón Press-pan | " | 2 |
| Reatas de hilo 3/4" | roll | 240 |
| Cinta de filamento | " | 2 |
| " plástica | " | 2 |
| " papel masking | " | 1 |
| " " corrug. | " | 1 |
| Pegamentos | Gln | 1/2 |
| Barníz | " | 1 |
| Pinturas/diluyente | " | 1 |
| Soldad. cobre-plata | Un. | 24 |
| Oxígeno-acetileno | " | 1/2 |

2.4.2 MAND DE OBRA

Durante el proceso de rehabilitación del transformador necesitaremos los siguientes obreros de acuerdo al desarrollo del trabajo.

- 1.- Manipuleo a) 1 Maestro: para ejecución de los trabajos indicados por el Jefe.
- b) 4 Operarios para el manipuleo y operación de tecles.
- ==
- 5 Obreros
- 2.- Desensamble a) 2 Desarmada de las láminas.
- b) 2 Desarmada de puentes y terminales.
- c) 1 Limpieza y ordenamiento de las partes y accesorios.
- ==
- 5 Obreros
- 3.- Bobinado a) 3 Rebobinado y preparación del material.
- b) 2 Limpieza y preparación de láminas, herrajes y accesorios.
- ==
- 5 Obreros

Se ve que en todas las etapas del proceso de rehabilitación se requerirá de 5 obreros.

2.4.3 TIEMPO

El tiempo necesario para llevar a efecto la rehabilitación del transformados es el siguiente:

| | |
|--|--------------|
| Recepción y manipuleo, inspección y mediciones, desensamble. | 3 Días |
| Desarmada del núcleo y bobinas, preparación y bobinado. | 12 " |
| Armada, conexiones y pruebas, secado. | 24 " |
| Ensamblado del núcleo y accesorios, mediciones y pruebas. | 7 " |
| Preparación del acabado y pintada. | 5 " ===== |
| Tiempo real estimado | 51 Días |
| Imprevistos. | 5 " ===== |
| Tiempo previsto | 56 Días |

Semanas: $56/5 = 11,2$ semanas

Días calendario: $11,2 \times 7 = 79$ días

Feriados promedio: $2 \times 79/30 = 5$ días

TIEMPO TOTAL PREVISTO: 84 días

2.5 Contratación de equipos o servicios.

Para la movilización del transformador de 10.600 kilos es necesario contratar una empresa dedicada a la movilización y transporte de carga, ya que el equipo hubo que traerlo desde una distancia de alrededor de 150 Km. a lo largo de una carretera en buen estado y sin accidentes del terreno, en un camión tipo cama-baja para seguridad de la carga en el balanceo del vehículo y manipulado por una grúa de 15 toneladas a fin de asegurar el manipuleo dentro de la subestación con una maniobra con suficiente poder.

El tiempo estimado de esta operación se desglosaría de la siguiente manera:

| | |
|------------------------------|------------|
| Manipuleo del transformador. | 1 hora |
| Transporte. | 3 " |
| Manipuleo de descarga. | 3/4 " |
| | ===== |
| Tiempo total estimado. | 4,75 horas |

2.6 Conformación del presupuesto

Determinadas las cantidades de los materiales, tiempo aplicado, mano de obra y dirección técnica, así como del servicio contratado, podemos cuantificar el costo del trabajo para la rehabilitación del transformador de 2,5 MVA.

COSTOS DE LOS MATERIALES

| | Un. | Cant. | C/Un. | Total |
|---------------------|------|-------|--------|---------|
| Aceite | Gln | 385 | 1.750 | 673.750 |
| Cobre | Lbs | 255 | 1.430 | 364.650 |
| Papel Press-pan | " | 20 | 500 | 10.000 |
| Carton Press-pan | " | 2 | 1.200 | 2.400 |
| Reatas de hilo 3/4" | roll | 240 | 6 | 1.440 |
| Cinta de filamento | " | 2 | 240 | 480 |
| " plástica | " | 2 | 180 | 360 |
| " papel masking | " | 1 | 140 | 140 |
| " " corrug. | " | 1 | 1.000 | 1.000 |
| Pegamentos | Gln | 1/2 | 2.300 | 1.150 |
| Barniz | " | 1 | 7.000 | 7.000 |
| Pinturas/diluyente | " | 1 | 3.600 | 3.600 |
| Soldad. cobre-plata | Un. | 24 | 90 | 2.160 |
| Oxígeno-acetileno | " | 1/2 | 10.000 | 10.000 |

Sub-total >> S/.1'078.130

COSTOS DE LA MANO DE OBRA

| | Cant. | diario | días | Total |
|--------------|-------|--------|------|---------|
| Trabajadores | 5 | 360 | 84 | 151.200 |

COSTOS DE LA DIRECCION TECNICA

| | Cant. | diario | días | Total |
|-------------------|-------|--------|-------|------------|
| ===== | | | | |
| Ingeniería y Adm. | 1 | 2 | 3.245 | 28 181.700 |

COSTO TOTAL DEL TRABAJO

| | |
|--|------------------|
| Costos de materiales: | S/. 1'078.130,00 |
| Utilidad 15 % : | " 161.720,00 |
| Costos de Mano de obra: | " 151.200,00 |
| Utilidad 30 % : | " 45.360,00 |
| Costos de Administ. y Dirección Técnica.: | " 181.700,00 |
| Utilidad 30 % : | " 54.510,00 |
| Costos uso de taller: | " 295.200,00 |
| ===== | |
| TOTAL: | S/. 1'967.820,00 |

El costo de esta reparación justifica la inversión del cliente para dicho trabajo ya que este monto representa menos del 47 % del costo de mercado de un transformador importado a la fecha.

III PROCESAMIENTO DE OBRA

3.1 Recepción del equipo: inspección y registro del estado físico de las partes.

Una vez movilizada la grúa y el camión con el transformador desde la S.E. Balao, se prepara la recepción del transformador en el taller haciendo el espacio físico donde se comenzaran los trabajos previos a su rebobinado.

Se alistan los tecles y estrobos de cadena, que utilizamos por ser más rápida la calibración del largo con los grilletes tipo "candado".

A la llegada del transformador, procedemos a la inspección física de sus partes para constatar algún posible golpe durante el trayecto y manipuleo, o algún faltante en los accesorios, y así poder notificar de inmediato ante los ingenieros de EMELGUR que entregan el Equipo.

INGRESO # 0/T 32 * Feb 2/87

PROCED.: S.E.Balao REF.: EMELGUR

KVA: 2.500 FASES: 3 TIPO: OA
 VOLT.: 67.000/13.200 PDL.:
 Z%: 6,6 PESO: 10.600 ACEITE: 3.600
 MARCA: RHONA SERIE# 7665
 Bushings: 3 H.V. 4 L.V. (T)
 PORCELANA:
 GRILLETES:
 HERRAJE:
 VALVULA DE SOBREPRESION:
 MANOMETRO DE PRESION:
 MANOMETRO DE TEMPERATURA:
 MANOMETRO DE NIVEL DE ACEITE

| Vcc: | Vp: | VRate: | | | Conn.: | |
|------------|-----|--------|-----|-----|--------|-----|
| Ip: | Vs: | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Is: | | | | | | |
| KVAcc: | | | | | | |
| Io: | | Z%: | | | | |
| KVruptura: | | | | | | |

AISLAMIENTOS: P-S P-T S-T

Posteriormente a la recepción del transformador procedemos a la prueba del aislamiento del aceite, ya re-circulado con el equipo de tratamiento de INECEL, donde confirmamos el aislamiento con un potencial eléctrico de ruptura de 40 KV.

REGISTRO DEL POTENCIAL DIELECTRICO DEL ACEITE

CLIENTE: EMELBUR

REFERENCIA: S.E. BALAO | VOLTAJES: 67 KV.

| PRUEBA | PERFORACION | pH+ | ASPECTO | OBSERVACION |
|--------|-------------|-----|----------|-------------|
| - 1 - | 34 KV. | 5 | AMARILLO | FILTRADO |
| - 2 - | 40 KV. | | | |
| - 3 - | 40 KV. | | | |
| - 4 - | 40 KV. | | | |
| - 5 - | 40 KV. | | | |

FEBRERO 3 DE 1.987

Probado el aceite se procede al trasvase del mismo y a sacar las partes y accesorios como son los manómetros de presión, temperatura y nivel de aceite, válvulas de sobre presión, aisladores de tensión primaria y secundaria.

3.2 Procesamiento: desensamblaje, bobinado y ensamblado del transformador

Embalados los accesorios para su limpieza posterior, se comienza a trabajar en la cuba, el cual primero se lo pendula a fin de alinearlo perpendicularmente al gancho del teclé y poder sacar el núcleo sin rozar las paredes de la cuba.

Pendulada la cuba, se sacan todos los pernos que apretan la tapa, la cual se manipula con cuidado, tiene un peso de alrededor de 180 kilos.

Ya en el interior de la cuba se procede a quitar los pernos y seguros que acufan la estructura o herraje del núcleo al tanque, procediéndose entonces a elevar el núcleo perpendicularmente sobre la altura del tanque para poder desplazar el tanque y poder asentar de nuevo el núcleo.

Teniendo ya a la vista y accesible al manipuleo de las bobinas, revisamos el estado de los devanados a fin de determinar visualmente la localización del arco producido.

Las bobinas se presentan sólidamente ubicadas y no hay desplazamiento de los devanados, y en la tercera fase, donde se diagnosticó un estado anormal, vemos en el borde superior y contiguo a la pierna del nú-

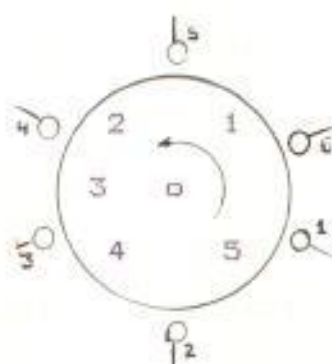
cleo una área carbonizada sobre la bobina y parte del laminado de la pierna lateral a consecuencia de un arco producido seguramente por la humedad depositada sobre los devanados, durante el tiempo que el transformador estuvo sin funcionar, y al entrar en funcionamiento, con la elevación de la temperatura comenzó a difundirse dicha humedad, produciéndose un corto-circuito entre el alto voltaje del borde de la bobina y las láminas del núcleo que se encuentran aterrizadas.

Analizando la configuración de las bobinas, 2 grupos por fase en el primario y el bobinado secundario, tipo "galleta", esto es grupo de 2 bobinas y de 2 conductores rectangulares transpuestos con una disposición de los devanados en el grupo en sentido opuesto a fin de optimizar una distribución uniforme de la corriente.

Para la sacada de la bobina afectada, se comienza quitando las pantallas de cartón que existen entre las bobinas y en los frentes; se desconectan los terminales de las derivaciones al conmutador, tomando en cuenta las posiciones y su nominación.



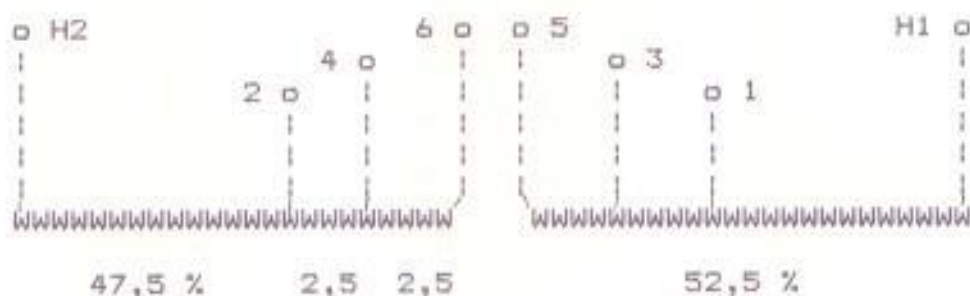
Posiciones del
conmutador



Reverso: conexión de
las derivaciones

| Posición | O/O | Conmuta terminales |
|----------|-------|--------------------|
| 1 | 105 | 6 - 5 |
| 2 | 102,5 | 5 - 4 |
| 3 | 100 | 4 - 3 |
| 4 | 97,5 | 3 - 2 |
| 5 | 95 | 2 - 1 |

DIAGRAMA DEL BOBINADO:



H2 se denomina el terminal de alta en su borde superior.

H1 se denomina el terminal de alta en su borde inferior.

Desarmado los herrajes que arman el núcleo, se saca las láminas que componen el yugo del núcleo para poder así sacar las bobinas.

Al sacar las bobinas determinamos el calibre que constituyen los conductores.

PRIMARIO:

conductor de cobre con
aislamiento de papel $\rightarrow 2,75 \times 1,2$ mm.

SECUNDARIO:

2 Conductores de Cu. con
aislamiento de papel $\rightarrow 2(8,65 \times 1,7)$

Descontado los devanados del secundario registramos 318 vueltas con lo que sacamos la cuenta del devanado primario

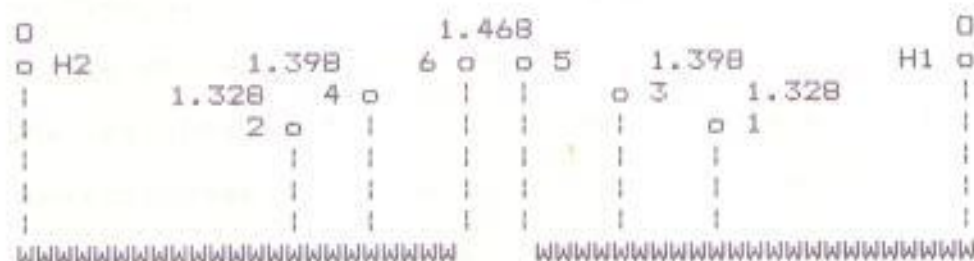
$$318 \dots\dots\dots 13.200 / \sqrt{3}$$

$$X \qquad \qquad 67.000$$

$$X: 100 \% - 2.796 \text{ v.}$$

$$105 \text{ " } - 2.936 \text{ "}$$

$$2,5 \text{ " } - 70 \text{ "}$$



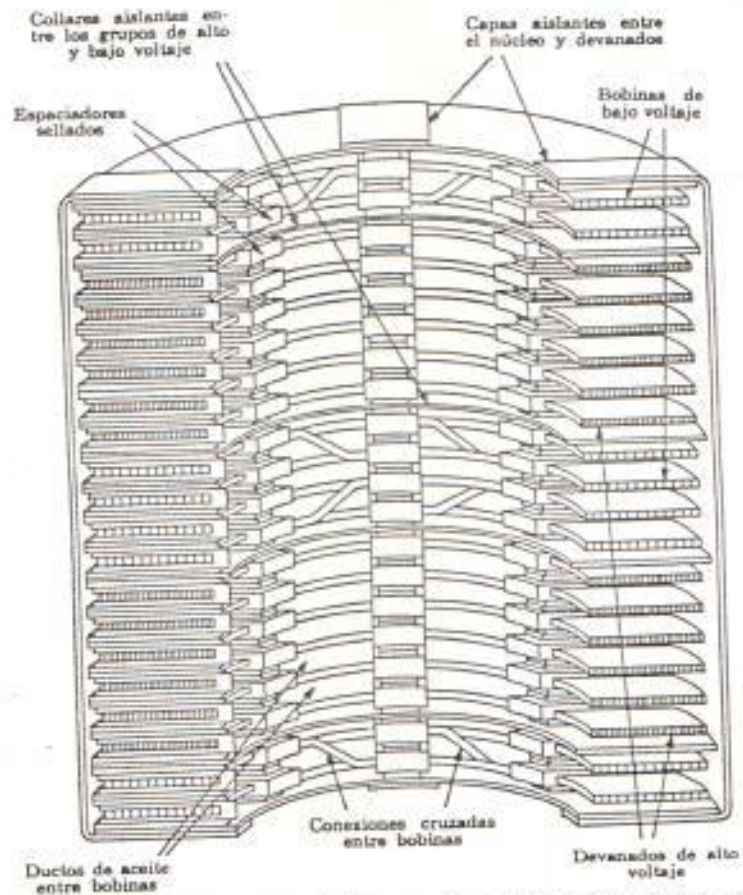
Hecho el descuento del bobinado secundario y registrada la planilla respectiva para el rebobinado del mismo, utilizando el material de cobre con las mismas dimensiones a fin de mantener la capacidad del transformador y las mismas dimensiones a fin de no hinchar la bobina. Se utiliza todos los materiales presupuestados a fin de mantener el aislamiento y la calidad del trabajo para su funcionamiento confiable.

Mientras se realizó el rebobinado se prepararon las otras bobinas, haciéndoles un lavado con chorros de aceite a presión, a fin de arrastrar todo depósito de carbón que pudieran tener. Lo mismo se hizo con las láminas y el núcleo, reparándose además las láminas afectadas por el arco eléctrico, por lo que fue necesario limar las rebabas del filo y posteriormente se las barnizó a fin de mantener el aislamiento entre ellas.

La pérdida de material en tres de los escalones del núcleo representaba un área menor de 2 cm.2 de la sec

ción total del núcleo de 470 cm², lo que representa un 0,43 %, con lo que vemos que esto no significa un riesgo de calentamiento en el núcleo.

Una vez construidas las bobinas, se arma el núcleo, controlándose el aislamiento entre los devanados y el núcleo, y comprobando la disposición ordenada de los "taps" en el conmutador para proceder al siguiente paso del secado.



—Sección de un embobinado, tipo alterno, con bobinas discoladales de alta y baja tensión.

IV PRUEBAS

4.1 Conexiones y mediciones previas

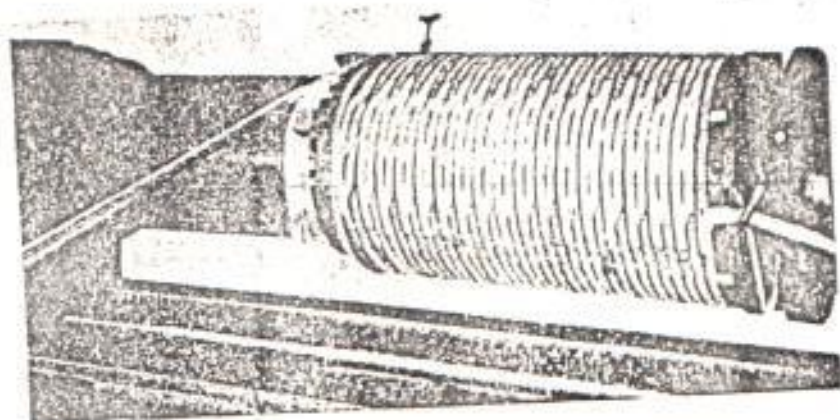
Durante el ensamblado de las bobinas era necesario mantener un constante control del aislamiento de los devanados, a fin de que no quede algún circuito con las láminas del núcleo o entre bobinas.

Se procedió a la soldada de los puentes que unen los principios y finales de las bobinas para la conexión Δ -Y con que está diseñado el transformador.

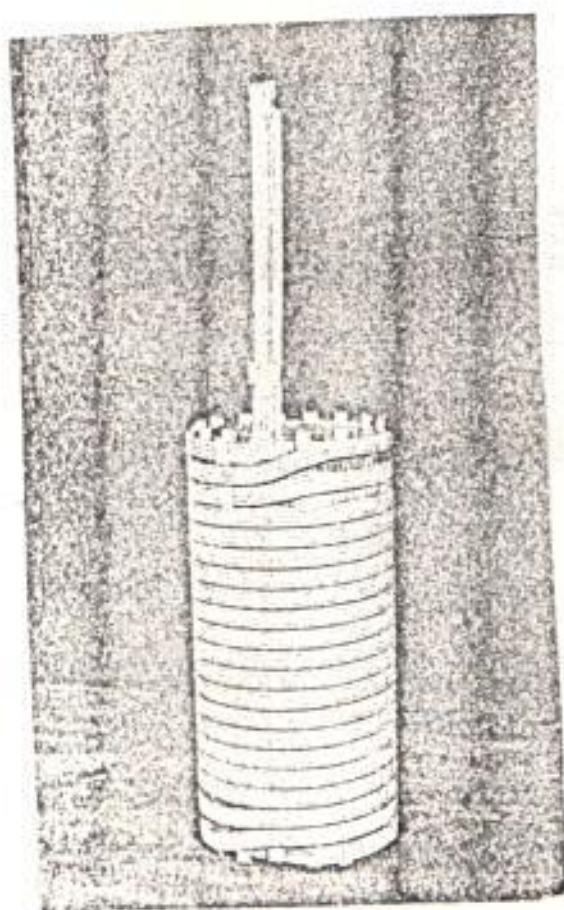
Se tomó especial cuidado con los terminales de los taps, después de lo cual se aplicó voltaje a las bobinas y se midió el gradiente de voltaje al operar el conmutador en las 5 posiciones.

Se procedió por último para controlar la correcta soldada de los puentes, a cortocircuitar las bobinas, aplicando un voltaje a fin de detectar algún calentamiento en las uniones soldadas.

Una vez colocado el núcleo dentro de la cuba y asegurado a las paredes con las piezas de traba y empernado; ajustados los empaques, se inyectó nitrógeno seco a fin de comprobar la hermeticidad de las juntas revisando si hay alguna fuga del gas, aplicando agua jabonosa y controlando el manómetro de presión por 12 horas, luego de lo cual se procede a hacer el va-



—Vista parcial de un embobinado de bajo voltaje, con tres conductores transpuestos.



—Bobina de BT con su conexión de salida.

cío en la cuba y se lo mantiene así por 1 hora para proceder después a la inyección del aceite hasta su nivel normal a 25 °C, llenándose de nuevo la cámara sobre el aceite, con el nitrógeno, hasta la presión de 3 Lbs./pulg.². Estando ya terminado el proceso de ensamblado definitivo, se aplica de nuevo el voltaje de corto-circuito por 12 horas para controlar el incremento de la temperatura, y con el aceite calentado y las juntas y pernos dilatadas, se reajusta los pernos para asegurar el sellado.

4.2 Secado y ensamblado del transformador

El secado del transformador se realiza efectuando un incremento paulatino y uniforme de la temperatura, ya que de lo contrario debido a la gran masa a calentar, se puede tener una temperatura elevada en las capas exteriores, manteniéndose el interior frío y húmedo, por lo que se cortocircuitaron los secundarios y se conectaron a los primarios la mitad del voltaje de corto-circuito calculado a fin de generar internamente el calor necesario para mantenerlo uniforme con el calor irradiado por los infrarojos.

El calor aplicado y la evolución del secado se controló midiendo programadamente el aislamiento en las bobinas el cual bajó primeramente a un mínimo al levantar la temperatura y vaporizarse la humedad, la

cual al irse disipando, fué subiendo la curva del secado hasta alcanzar los siguientes valores a la temperatura equivalente de 25 gC:

P - S : 17.000 M Ω

P - T : 10.000 "

S - T : 17.000 "

La temperatura de secado fué de 84 gC. y el tiempo que duró el proceso fué de 22 días.

Posteriormente se procedió al ensamblaje del núcleo dentro de la cuba, la reposición de los aisladores, manómetros y accesorios para así continuar con el proceso de rehabilitación del transformador.

4.3 Pruebas

Para comprobar el funcionamiento confiable del transformador rehabilitado se procedió a realizar las siguientes pruebas:

4.3.1 PRUEBA DEL AISLAMIENTO DEL ACEITE

Para la toma de la muestra del aceite del transformador hemos limpiado previamente la boca de la llave, y hemos dejado correr un chorro de aceite previamente y sobre este flujo drenando hemos tomado la cantidad necesaria para llenar el vaso del equipo probador del potencial dieléctrico del aceite y se realizaron 5 disparos registrandose los siguientes valores:

| | | | |
|-----|--------|----------|----|
| 1.- | 27 KV. | promedio | % |
| 2.- | 34 " | 13.6 | 40 |
| 3.- | 40 " | 12 | 30 |
| 4.- | 40 " | 6 | 20 |
| 5.- | 46 " | 4,6 | 10 |

=====

36,2

KV. = 36

=====

La prueba de acidez del aceite transparente con un colorímetro nos dió un índice de pH+ 6

4.3.2 PRUEBA DE AISLAMIENTO DE LOS DEVANADOS

Con un meguer de 5.000 voltios se midieron las variaciones del aislamiento, registrandose finalmente los siguientes valores a la temperatura equivalente a los 25 oC.

| | | | |
|---------|------------------|------------------|------------------|
| P - S : | 4.000 M Ω | 4.500 M Ω | 5.000 M Ω |
| P - T : | 4.250 " | 4.500 " | 4.500 " |
| S - T : | 3.000 " | 3.600 " | 3.750 " |

Estos valores dan un aislamiento confiable superior al mínimo recomendable de 2.400 M Ω a 25 oC.

4.3.3 PRUEBAS DE RELACION DE VOLTAJE.

Aplicando un voltaje monofásico a cada una de las bobinas primarias, induciendo los siguientes voltajes V_x en el secundario y en las diferentes posiciones del conmutador, tendremos:

| | | | |
|-------------|----------|----------|----------|
| V aplicado: | H2-H3 | H2-H1 | H1-H3 |
| V inducido: | X1-X2-X3 | X1-X2-X3 | X1-X2-X3 |
| TAP 1 : | 514 | 515 | 515 |
| | 10-46-56 | 24-56-32 | 55-51-4 |
| TAP 2 : | 514 | 514 | 516 |
| | 10-47-57 | 25-57-32 | 57-54-4 |
| TAP 3 : | 510 | 511 | 512 |
| | 11-48-58 | 25-58-33 | 58-55-4 |
| TAP 4 : | 511 | 511 | 512 |
| | 11-49-60 | 26-59-34 | 59-56-4 |
| TAP 5 : | 511 | 512 | 512 |
| | 12-51-61 | 26-61-35 | 61-57-3 |

VOLTAJE TRIFASICO APLICADO

| | H1 | H2 | H3 |
|---------|--------|--------|--------|
| Tap 5 : | 13.200 | 13.200 | 13.100 |
| X1-X2 : | 2.617 | 2.617 | 2.578 |
| X1-Xo : | 1.510 | 1.510 | 1.488 |

4.3.4 PRUEBA DE CORTO-CIRCUITO

El voltaje de corto-circuito aplicado al primario con el tap en posición 1, calculado a partir de la impedancia del bobinado es:

$$V_{cc} = V_{e1} \times Z_1 = 67.000 \times 1.05 \times 0,066 = 4,643 \text{ V.}$$

De acuerdo al voltaje de línea en la S.E. Balao y al transformador reductor (13.200/6.000 V), disponible para la prueba, en el tap 1 obtenemos un voltaje de 5.060 voltios, o sea un 9 % sobre el rango de placa.

$$\text{Amperaje de placa} = \frac{2.500 \text{ KVA}}{13.200 \text{ V} \times \sqrt{3}} = 109,33 \text{ A.}$$

Al aplicar el voltaje de 5.060 V. hemos obtenido un amperaje en los puentes de 119 amperios lo que corresponde al cálculo del 9 % de sobre-carga.

Se mantuvo el corto-circuito por 12 horas y se incrementó la temperatura hasta 65 oC, estando dentro del rango de funcionamiento del transformador.

4.3.5 ENERGIZADO EN VACIO

Como última prueba al transformador se programó la energizada en vacío para medir las corrientes de línea y evaluar dichos rangos.

| | H1 | H2 | H3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| | ===== | | |
| Vxx : | 13.200 | 13.200 | 13.200 |
| Ao : | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Porcentaje : | 1,19 | 1,19 | 1,19 |

El porcentaje obtenido corresponde al calculado de los valores de placa.

Conclusiones y Recomendaciones

De las mediciones registradas en las diferentes mediciones efectuadas al transformador, se determina el funcionamiento confiable de éste en las condiciones normales de trabajo y bajo las respectivas protecciones debidamente calibradas.

Para la puesta en funcionamiento del transformador es aconsejable energizarlo y mantenerlo en vacío aproximadamente por 24 horas en que alcanza su temperatura máxima (42 °C) en estas condiciones, para entonces ir recibiendo paulatinamente la carga del sistema.

Un transformador nuevo o reparado debe ser controlado en sus valores de aislamiento y ajustes de terminales en los siguientes 2 meses para la seguridad de su funcionamiento por el resto del período de trabajo, hasta el próximo mantenimiento anual a que debe estar sometido un transformador.

El aislamiento mínimo confiable del devanado de un transformador a 69 KV. es de 2.400 MΩ a 25 °C. y el potencial dieléctrico del aceite a 30 KV.

BIBLIOGRAFIA

JOHN H. KUHLMAN, Diseño de Aparatos Eléctricos, CECSA 1963.

L. M. HASSenkieff-F. F. SINTES OLIVES, Monteso, 1.971

M. LAPINE, Los Ensayos de los Transformadores Industriales, EDITORIAL TECNOS, Madrid.

ANDRES M. KARCZ, Introducción a la Tecnología Eléctrica, Editorial Universitaria, Buenos Aires.

GILBERTO ENRIQUEZ, Curso de Transformadores y Motores Trifásicos de Inducción, LIMUSA, México, 1.982.

ROHNA, Manual Técnico para Transformadores de 2.500 KVA, Chile, 1.976

TRAFU-UNION, Instrucciones de Seguridad para Transformadores.