

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA DE MECANICA



“Control de Calidad de un Transformador de Potencia de 7 MVA con Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

JORGE CARMELO RAMOS CARRION

PROMOCION: 1979 - 2

LIMA PERU 1990

INDICE

I. INTRODUCCION	...	3
II. CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 7 MVA.	...	8
2.1 Características Técnicas	...	9
2.2 Especificaciones Técnicas	...	11
2.2.1 De la Parte Activa	...	11
2.2.2 Del Tanque y Accesorios Normales	...	13
III. PRUEBAS PROTOCOLARES	...	17
3.1 Pruebas de Rutina	...	20
3.1.1 Prueba en Vacío	...	20
3.1.2 Prueba en Cortocircuito	...	23
3.1.3 Medida de la Relación de Trans - formación, Control de la Polari - dad y Correspondencia de Fase	...	28
3.1.4 Medida de la Resistencia Ohmica	...	31
3.1.5 Pruebas de Aislamiento	...	33
3.2 Pruebas Tipo	...	43
3.2.1 Prueba de Calentamiento	...	43
3.2.2 Prueba con Impulso Atmosférico	...	55
IV. ELEMENTOS DE PROTECCION INCORPORADOS	...	76
4.1 Indicadores de Temperatura	...	76
4.2 Relé Buchholtz	...	83
4.3 Relé de Protección del Conmutador Bajo Carga	...	87

4.4 Transformadores de Corriente	... 89
4.5 Válvula de Sobrepresión	... 91
4.6 Conservador e Indicador de Nivel de Aceite	... 94
4.7 Deshumecedor	... 95
4.8 Electroventiladores	... 96
4.9 Tablero General Incorporado	... 98
V . ELEMENTOS DE CONMUTACION Y REGULACION DE TENSION BAJO CARGA	...100
5.1 El Conmutador Bajo Carga	...100
5.1.1 Características Técnicas	...101
5.1.2 Elementos Constitutivos	...102
5.1.3 Descripción	...114
5.1.4 Principio de Funcionamiento	...115
5.1.5 Secuencia de Operación	...117
5.1.6 Conexiones Básicas	...120
5.1.7 Instalación y conexionado del Conmutador Bajo Carga	...122
5.2 El Regulador Automático de Tensión	...128
5.2.1 Características Generales	...129
5.2.2 Principio de Funcionamiento	...134
VI. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, CONMUTACION Y REGULACION DE TENSION BAJO CARGA	...144
6.1 Pruebas de Funcionamiento de los Elementos de protección Incorporados	...144
6.2 Pruebas de Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga	...155

6.2.1	Accionamiento Electromecánico del Conmutador Bajo Carga	...156
6.2.2	Acoplamiento Eléctrico del Regu - lador Automático de Tensión con - el Conmutador Bajo Carga	...165
6.2.3	Ajuste del Regulador Automático - de Tensión con el Conmutador Bajo Carga	...167
6.2.4	Simulación Teórica de Conmutación y Regulación de Tensión	...175
	CONCLUSIONES	...182
	BIBLIOGRAFIA	...188
	PLANOS	
	APENDICE	...191

TABLAS

NUMERO	CONTENIDO	PAG.
2.01	Alta Tensión en Vacío	... 10
3.01	Resultado de las Pérdidas y Corriente en Vacío	... 21
3.02	Resultado de la Tensión de Cortocircuito y Pérdidas debidas a la Carga	... 25
3.03	Medida de la Relación de Transformación	... 29
3.04	Grupo Convencional	... 30
3.05	Medida de la Resistencia de los Arrollamientos	... 32
3.06	Resultado de la Prueba de Tensión Aplicada	... 36
3.07	Resultado de la Prueba de Tensión Inducida	... 38
3.08	Medida de la Resistencia de Aislamiento	... 40
3.09	Medida de la Rigidez Dieléctrica del Aceite	... 42
3.10	Prueba de Calentamiento realizada según Método de Cortocircuito	... 45
3.11	Prueba de Calentamiento - Medida de la Resistencia en Frío	... 50
3.12	Prueba de Calentamiento - Medida de la Resistencia en Caliente	... 51
3.13	Parámetros Componentes del Circuito de Prueba con Impulso Atmosférico	... 61

3.14	Disposición de los Terminales del Transformador durante la Prueba con Impulso-Atmosférico	... 61
3.15	Prueba con Impulso Atmosférico en A.T.	... 62
3.16	Resultado de Prueba con Impulso Atmosférico en A.T.	... 63
3.17	Prueba con Impulso Atmosférico en B.T.	... 68
3.18	Resultado de Prueba con Impulso Atmosférico en B.T.	... 69
3.19	Resultados de las Pruebas de Rutina	... 74
3.20	Resultados de las Pruebas Tipo	... 75
4.01	Siglas para el Tipo de Refrigeración	... 97
4.02	Denominación según el Tipo de Refrigeración	... 98
6.01	Protocolo de Pruebas de Funcionamiento de los Elementos de Protección	...154
6.02	Protocolo de Pruebas de Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga	...180
6.03	Simulación Teórica de Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga	...181
A.1	Niveles de Aislamiento para los Transformadores Sumergidos en Aceite previstos para soportar los ensayos con Ondas de Impulso y a Frecuencia Industrial	...192
A.2	Tolerancias para Pruebas de Rutina	...193
A.3	Límites de Elevación de Temperatura para Transformadores Sumergidos en Aceite.	... 194

LISTA DE PLANOS

<u>PLANO</u>	<u>DESIGNACION</u>
EM - 010	... Transformador de Potencia de 7 MVA.
EM - 015	... Núcleo Magnético.
EM - 020	... Indicadores de Temperatura.
EM - 030	... Elementos de Protección Incorporados.
EM - 040	... Esquema de Conexión de los Elementos de Protección.
EM - 060	... Arrollamiento Alta Tensión - Conmutador (Conexión)
EM - 070	... Regulación Manual - Automática.

PROLOGO

El presente trabajo tiene como objetivo comprobar y garantizar en base a un eficiente Control de Calidad en el Laboratorio el diseño, la fabricación y el funcionamiento de un Transformador de Potencia de 7 MVA con Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga. Dicho transformador fue diseñado y construido por la Compañía Construcciones Electromecánicas DELCROSA S.A. para el cliente ELECTROPERU.

El trabajo está dividido en seis capítulos. En el primer capítulo que es la Introducción se da un panorama general y amplio del tema desarrollado.

El segundo capítulo presenta las características y especificaciones técnicas del transformador de potencia ya fabricado y listo para ser sometido al control de calidad final. El tercer capítulo se aboca a describir y analizar los resultados de las pruebas protocolares a las que ha sido sometido el transformador de potencia mencionado, en el laboratorio de DELCROSA S.A.

Los capítulos cuarto y quinto tratan sobre los elementos de protección incorporados y los elementos de conmutación y regulación de tensión bajo carga del transformador, describiendo detalladamente características, principio de funcionamiento y montaje de los mismos.

En el sexto capítulo se trata la forma como se ha comprobado en el laboratorio el funcionamiento y operación de los elementos de protección incorporados así como también la conmutación y regulación de tensión

bajo carga, además se hace un análisis de los resultados obtenidos.

Deseo expresar mi reconocimiento a la Compañía Construcciones Electromecánicas DELCROSA S.A. especialmente a los Ingenieros Arturo Vaccari Marchi Gerente de la División de Ingeniería y Rodolfo Ostolaza Novoa Gerente de Control de Calidad, por las facilidades y apoyo brindado para el desarrollo del presente trabajo.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Hoy en día, ningún producto es fabricado por una sola persona. Hasta las artesanías, que parecen ser fabricadas por un sólo artesano, son producidas através de un sistema de divisiones de trabajo.

Por lo tanto, para elevar la calidad de un producto es necesario que todas las personas involucradas tengan la conciencia de mejorarlas, que exista una buena organización de las actividades de control de calidad y que, además, sean suficientemente conocidas.

Al realizar debidamente dichas actividades necesariamente bajará el costo de producción, se simplificará el trabajo y se obtendrá un producto de óptima calidad.

En la actualidad, la gran importancia y desarrollo alcanzado por las máquinas eléctricas estáticas o transformadores en la transmisión y distribución de la energía eléctrica, bajo condiciones de máxima fiabilidad y seguridad, hace que sean fabricados con un alto grado tecnológico y que, además, sean sometidos a un riguroso Control de Calidad en los centros de producción.

El transformador de tensión constituye uno de los elementos más importantes en el proceso de utilización de la energía eléctrica, empleándose para convertir la energía eléctrica de un nivel de tensión determinado en energía eléctrica con otro nivel de tensión y a la misma frecuencia.

Los transformadores, independientemente de su

utilización, pueden ser clasificados según se tome como base la construcción o la operación en cada uno de sus aspectos, sin que ello signifique que no puedan considerarse otras características para su clasificación.

Una clasificación genérica de estos equipos es la siguiente:

Por su Instalación, pueden ser:

- De poste
- De Pedestal
- De Bóveda
- Convencional.

Por su Operación, pueden ser:

- De Potencia
- De Distribución
- Industriales

Por su Conmutación, pueden ser:

- En Vacío
- Bajo Carga.

Por su Refrigeración, pueden ser:

- Tipo de Refrigerante
- Circulación del Refrigerante

Por la Construcción del Tanque, pueden ser:

- Con Conservador de Aceite
- Sin Conservador de Aceite

- De Tanque Liso
- De tubos Laterales
- De Aletas
- Con Radiadores.

De lo anterior, podemos observar que los transformadores clasificados de acuerdo al tipo de operación y al tipo de conmutación se encuentran estrechamente ligados entre sí, debido a que la conmutación en el transformador siempre tiene que ser efectuada de acuerdo a los diferentes requerimientos de la red.

El transformador de potencia por la magnitud del servicio que presta es el más representativo e importante de la clasificación mencionada. Estos transformadores cuentan con elementos de protección incorporados que previenen y detectan defectos de orden térmicos ocasionados por las sobrecargas, permanentes o temporales, que se presentan en él y con elementos de conmutación y regulación de tensión que permite un eficiente servicio ante variaciones de tensión y carga en la red, como son el conmutador bajo carga y el regulador automático de tensión.

El conmutador bajo carga permite efectuar la conmutación estando el transformador conectado tanto a la fuente de alimentación como a la carga y su accionamiento puede ser por mando manual o automático. El accionamiento automático depende del ajuste que se haga al regulador de tensión quien dará la orden para que se produzca la conmutación, operación que tiene por finalidad adaptar el arrollamiento primario a una tensión dominante en la red, y así obtener una tensión secundaria apropiada para la carga. Ello significa, que se restará o aumentará

espiras a la bobina de regulación del transformador según la posición del conmutador, la que estará en correspondencia con la tensión que se requiera para dicha toma.

Como podemos apreciar, la fabricación de un transformador de potencia requiere de una tecnología adecuada ya que tiene que cumplir con ciertas características y requerimientos indispensables de funcionamiento. Por lo tanto, el Control de Calidad es fundamental e importante en la fabricación de estas máquinas eléctricas ya que así se logra garantizar el cumplimiento de normas técnicas de fabricación y pruebas, como son la norma nacional ITINTEC 370.002 y la norma internacional IEC 76, y por consiguiente garantizar una buena calidad del producto.

En forma general, el control de calidad de un transformador de potencia con conmutación y regulación de tensión bajo carga comprende dos fases: la primera fase es el control de calidad de proceso, que tiene por finalidad garantizar que durante la fabricación se cumpla con las exigencias requeridas, tomándose para ello medidas preventivas y efectuándose, además, pruebas de calidad; la segunda fase es el control de calidad final, que consiste en verificar si el transformador como producto final cumple con las condiciones de diseño, fabricación y pruebas; esta segunda fase se realiza en dos Salas de Pruebas y ante la presencia del cliente.

El presente trabajo de tesis se ocupa del Control de Calidad final a que fue sometido un transformador de potencia de 7 MVA con conmutación y regulación de tensión bajo carga fabricado por la empresa DELCROSA

S.A.; control que consistió en un conjunto de pruebas de calidad efectuadas tanto en la Sala de Pruebas como en la Sala de Impulso Atmosférico de la mencionada empresa. Se hace una descripción completa del procedimiento de ejecución de las pruebas, así como la comprobación y análisis de los resultados obtenidos, y la descripción, funcionamiento y montaje de los principales elementos de protección incorporados y de los elementos de conmutación y regulación de tensión bajo carga. Estas pruebas de Control de Calidad final se dividen en:

Pruebas Protocolares: Que comprenden a las pruebas de rutina u obligatorias, que se le hace a todo transformador, y a las pruebas tipo, que se efectúan a solicitud del cliente.

Pruebas de Funcionamiento, Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga: Que comprende las pruebas de funcionamiento y operación de los elementos antes mencionados.

CAPITULO II

CARACTERISTICAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 7 MVA

La necesidad que existe en los centros de consumo de mantener un suministro de energía eléctrica en forma ccntínua hace que los transformadores de distribución sean alimentados por un transformador de potencia provisto de conmutador bajo carga y regulador automático de tensión.

Ello obliga, a que el transformador de potencia tenga que ser fabricado bajo características eléctricas especiales solicitadas por el cliente, de tal manera que se garantice un eficiente servicio y operación; dichas características deben ser cumplidas y satisfechas en las pruebas de Control de Calidad Final efectuadas.

A continuación describiremos las características y especificaciones técnicas del transformador de potencia O.T. 119639T, tipo TO-CH-ONAN, de 7 MVA con Ccnmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga provisto de Elementos de Protección Incorporados; fabricado por DELCROSA S.A. a solicitud del cliente ELECTROPERU para el proyecto CEANCAY-HUARAL (ver plano EM-010, del transformador de potencia).

2.1 Características Técnicas.

Orden de Trabajo (O.T.)	: 119639T
Tipo	: T0-CH-ONAN
Número de Fases	: 3
Número de Devanados	: 2
Potencia Nominal	: 7 MVA (ONAN) 8.75 MVA (ONAF)
Alta Tensión en Vacío	: 58000+9x650 voltios (Tabla 2.01)
Número de Terminales en Alta Tensión	: 4
Baja Tensión en Vacío	: 10000 Voltios
Número de Terminales en Baja Tensión	: 3
Corriente en Alta Tensión	: 69.7 Amperios
Corriente en Baja Tensión	: 404.2 Amperios
Frecuencia	: 60 Hz.
Tensión de Cortocircuito	: 8.80%
Pérdidas en el Fierro	: 15800 Watts.
Pérdidas en el Cobre	: 38000 Watts.
Conexión en Alta Tensión	: Estrella-Neutro
Conexión en Baja Tensión	: Triángulo
Grupo	: YNd5
BIL	: 325 / 95 N / 75
Δt AC / ARR	: 60° / 65°
Enfriamiento	: ONAN / ONAF

TABLA : 2.01

ALTA TENSION EN VACIO.

POSICION CONMUTAD.	VOLTIOS EN VACIO	POSICION SELECTOR	POSICION IN ERSCOR
1	63850	1	(+)
2	63200	2	(+)
3	62550	3	(+)
4	61900	4	(+)
5	61250	5	(+)
6	60600	6	(+)
7	59950	7	(+)
8	59300	8	(+)
9	58650	9	(+)
10	58000	K	
11	57350	1	(-)
12	56700	2	(-)
13	56050	3	(-)
14	55400	4	(-)
15	54750	5	(-)
16	54100	6	(-)
17	53450	7	(-)
18	52800	8	(-)
19	52150	9	(-)

Altura de Servicio	: 1000 m.s.n.m.
Servicio	: Continuo
Montaje	: Exterior - Interior
Norma Itintec	: 370.002
Refrigerante	: Aceite
Peso del	
Transformador	: 20500 Kg.

2.2 Especificaciones Técnicas.

Las podemos subdividir en especificaciones técnicas de la Parte Activa y especificaciones técnicas del Tanque y Accesorios Normales.

2.2.1 De la Parte Activa.

Se utiliza un núcleo magnético tipo simétrico de tres columnas y dos Yugos, las columnas y yugos en su sección transversal tienen la forma de un polígono escalonado inscrito en una circunsferencia de diámetro imaginario $D = 401$ mm.; ver plano EM-015, núcleo magnético.

El núcleo magnético está constituido por planchas magnéticas laminadas en frío de acero al silicio de grano orientado, aisladas entre si con pintura especial resistente al aceite y al óxido; el montaje del núcleo se realiza por entrelaminación,

la cual aumenta considerablemente la estabilidad mecánica del mismo; el juego entre las planchas magnéticas de la columna y el yugo es mínimo ya que el lugar de unión en una capa se recubre por la plancha magnética de la siguiente capa.

El prensaje de los yugos se hace por medio de travesaños de fierro, especialmente diseñados para este fin, mientras que el prensaje de las columnas se efectúa mediante muelles de acero; tanto los travesaños como los muelles están aislados con respecto a las planchas magnéticas por medio de presspahn. Para evitar diferencias de potencial el núcleo está puesto a tierra.

Los arrollamientos del transformador han sido fabricados con platina de cobre de temple blando de 99.9% de pureza y de sección adecuada para minimizar las pérdidas en el cobre. Estos arrollamientos están dispuestos de la siguiente manera: el arrollamiento de baja tensión se encuentra ubicado al interior, el arrollamiento principal de alta tensión, al medio y el arrollamiento de regulación de escalón fino de alta tensión al exterior de cada columna.

La forma constructiva de los arrollamientos de baja tensión y del principal de alta tensión es de discos continuos, mientras que el arrollamiento de regulación de

escalón fino es del tipo hélice, de diez principios. El aislamiento de los conductores es de papel celulósico para uso eléctrico, de rigidez dieléctrica 10 - 40 Kv / cm., en tanto que el aislamiento entre discos de un mismo arrollamiento y entre arrollamientos es de papel presspahn. Los arrollamientos, antes de ser montados en sus respectivas columnas, han sido sometidos a un proceso de prensaje con tratamiento térmico para obtener las dimensiones de diseño (axiales) calculadas, que generalmente son excedidas al terminar el proceso de fabricación de las mismas (Bobinado).

2.2.2 Del Tanque y Accesorios Normales.

El tanque del transformador de potencia está fabricado con planchas de fierro unidas con soldadura y que permiten el transporte e izaje sin sufrir deformaciones ni fugas de aceite. Se han empleado planchas de fierro de 8 mm. de espesor para los costados, de 20 mm. de espesor para el fondo y de 10 mm. de espesor para la tapa; todas estas planchas, con sus respectivos refuerzos longitudinales exteriores al tanque, le dan una gran resistencia contra las sobrepresiones permitiendo efectuar el llenado del aceite dieléctico al transformador mientras se le hace el vacío, facilitando así la impregnación de este en la parte activa. El tanque y los

radiadores pueden soportar una sobrepresión de 125% sobre la presión normal.

Los radiadores, en número de 10, están incorporados al tanque por medio de dos válvulas cada uno y pueden ser retirados aún con el transformador lleno de aceite, cada radiador cuenta con su respectivo tapón de llenado y vaciado. En la parte inferior de los radiadores se instalan los electroventiladores para mejorar la ventilación del transformador.

Para eventuales reparaciones sin destapar el transformador se han previsto válvulas en la conexión entre la tapa y el conservador, así mismo tiene válvulas de entrada y salida al tanque para efectuar la regeneración del aceite, tipo TEXACO TRANSFORMER OIL.

El conservador de aceite es un componente del tanque que tiene forma cilíndrica y está dividido en dos compartimientos, el mayor para el aceite del transformador (parte activa) y el más pequeño para el aceite del conmutador bajo carga, ambos se comunican con el tanque y el conmutador por medio de sus respectivas tuberías de conexión que tienen una inclinación de 3° con la horizontal para facilitar la evacuación de los gases. Se ha previsto también, la instalación de deshumedecedores de silicagel, ubicados a una altura apropiada para su revisión, de tal manera

que el aire que ingrese al conservador esté libre de humedad.

El tanque cuenta con orejas de izaje en la parte superior, para levantar tanto a la parte activa como al transformador completo, y con refuerzos en la base, para levantarlo por medio de gatas, además de cuatro ruedas bidireccionales.

Los aisladores del transformador de potencia cumplen con las normas I.E.C.; los de alta tensión y el neutro se encuentran ubicados en la tapa (tres aisladores de A.T. y un neutro de A.T.), mientras que los de baja tensión se encuentran ubicados en el costado corto del tanque (tres aisladores de B.T.); dichos aisladores tienen las siguientes características:

Aisladores A.T..- 72.5 Kv. - 400 A, para montaje exterior, fabricado por PASSONI y VILLA - Italia.

Aislador Neutro de A.T..- 20 Kv-630 A, para montaje exterior, fabricado por CED - Italia.

Aisladores B.T..- 10 Kv - 630 A, para montaje exterior, fabricado por CED - Italia.

Además, el transformador de potencia cuenta con elementos de protección incorporados y

con elementos de conmutación y regulación de tensión bajo carga que serán tratados con detalle en los capítulos siguientes.

CAPITULO III

PRUEBAS PROTOCOLARES

Nuestro transformador de potencia, luego de terminada su fabricación, fue sometido a un riguroso Control de Calidad Final consistente en la realización de ensayos eléctricos denominados pruebas protocolares.

En forma general, las pruebas protocolares son el conjunto de ensayos efectuados a una máquina o grupo de máquinas del mismo tipo para asegurar que satisfagan las condiciones específicas de diseño, calidad de los principales materiales y calidad de la mano de obra; todo esto con el fin de garantizar una buena calidad del producto.

Las pruebas protocolares se dividen en:

Pruebas de Rutina.

Que comprenden a la prueba en vacío, prueba en cortocircuito, media de la relación de transformación, medida de la resistencia óhmica, prueba de tensión aplicada, prueba de tensión inducida, resistencia de aislamiento y prueba de rigidez dieléctrica del aceite.

Pruebas Tipo.

Que comprende a la prueba de calentamiento y a la prueba de impulso atmosférico.

Para el caso de nuestro transformador de potencia, las pruebas protocolares se efectuaron tanto en la Sala de Pruebas como en la Sala de Impulso Atmosférico de

la compañía DELCROSA S.A., ambas equipadas como se indica a continuación.

Equipos de la Sala de Pruebas.

Un tablero de Mando con los siguientes instrumentos:

a) Un voltímetro

Tipo : Hierro móvil

Escala : 0 - 150 Voltios

Constante ampliación de escala : K_V

1 para 150 Voltios

2 para 300 Voltios

4 para 600 Voltios

5 para 750 Voltios

b) Dos amperímetros

Tipo : Hierro móvil

Escala : 2.5 - 5 Amperios

Constante ampliación de escala : K_I

120 para 600 Amperios

60 para 300 Amperios

30 para 150 Amperios

10 para 50 Amperios

4 para 20 Amperios

2 para 10 Amperios

c) Dos vatímetros

Tipo : Electrodinámico

Escala : 0 - 150 Watts

Constante del instrumento : $K_W = 5 \times K_V \times K_I$

Un Generador de Tensión Inducida
460 Voltios - 180 Hz - 27 Kw.

Un Transformador Monofásico para tensión aplicada
Rt : 0.220 / 140 Kv - 60 Hz.

Un Megómetro

Voltaje : 500v - 1000v - 2000v - 5000v.

Escala : 0 - 2000 M Ω . 0 -4000M Ω , 0 -10000 M Ω , 0
- 20000M Ω .

Un Espinterómetro para aceite dielectrico.

Un Puente de BARBAGELATTA.

Para la medida de la relación de transformación,
control de polaridad y correspondencia de
fase.

Un Circuito Voltamperimétrico con los siguientes
instrumentos:

- a) Un amperímetro (A) : 0 - 7.5 amperios
- b) Un voltímetro (V) : 0 - 1.5 voltios
- c) Un milivoltímetro (mV): 0 - 160 milivoltios.
- d) Una batería (V_{DC}) : 24 voltios

Equipos de la Sala de Impulso Atmosférico.

Un generador de Impulso de corriente continua

Tensión de salida : 100 Kv.

Tensión de alimentación : 380 V.

Corriente máxima : 0.030 A.

Corriente media : 0.025 A.

Polaridad : reversible.

Condensadores para el generador de impulso

Tensión de carga : 100 Kv.

Capacidad : 0.375 uF

Etapas de 2 condensadores: 8

Un tablero de Control del generador de impulso.

Un Osciloscopio de Doble Rayo con equipo fotográfico y mando automático.

Un Voltímetro de Pico

Escala : 0 - 800 Kv.

Selector : IMPULSO - AC.

Un Divisor Capacitivo de Voltaje

800 Kv - 1125 pF - 266 Ohm.

Un Juego de Resistencias Blindadas.

3.1 Pruebas de Rutina.

Se realizan a todos los transformadores de potencia en forma obligatoria, según indican las normas ITINTEC 370.002 e IEC 76.

3.1.1. Prueba en Vacío.

Esta prueba se efectúa aplicando la tensión nominal sinusoidal, a frecuencia nominal, a los bornes del arrollamiento de B.T. estando el arrollamiento de A.T. en circuito abierto.

Las medidas de las pérdidas y de la corriente en vacío se toman bajo las

TABLA: 3.01

RESULTADO DE LA CORRIENTE Y PERDIDAS EN VACIO.

Alimentación : B.T.; Posic. conmut.:1; Vn:10000 V;

In: 404.2 A; Frec.: 60 Hz.

	TENSION VACIO		CORRIENTE EN VACIO				
	V x Kv = Volt.		Io x K _I = Amp.				
	V	Volt.	Iou	Iou	Iow	Io	Amp.
1	105	10500	2.55	2.57	2.60	2.60	12.875
2	100	10000	2.10	2.17	2.24	2.24	10.850
3	90	9000	1.35	1.45	1.55	1.55	7.250
4	80	8000	0.76	0.86	0.96	0.96	4.300
5	75	7500	0.50	0.60	0.70	0.70	3.000
	PERDIDAS EN VACIO				CONSTANTE INSTRUMENTO		
	Wo x Kw = Watts.				Kv	K _I	Kw
	Wa	Wc	Wo	Watts.			
1	-25.8	35.2	9.4	23500	100	5	2500
2	-21.0	28.0	7.0	17500	100	5	2500
3	-14.6	20.0	5.4	13500	100	5	2500
4	-8.3	12.5	4.2	10500	100	5	2500
5	-1.4	5.0	3.6	9000	100	5	2500
Valores Garantiz. a Tensión Nominal					Transf. de Medida.		
Wo	Wmax.	Io	Io max.	02 TC de 25/5 A			
15800	18000	-	-	02 TV de 10000/100 V			

condiciones mencionadas. Las tolerancias serán de + 1/7 para las pérdidas en vacío y de + 3/10 para la corriente en vacío, siempre sobre los valores garantizados.

El circuito que se utilizó para realizar esta prueba es el siguiente:

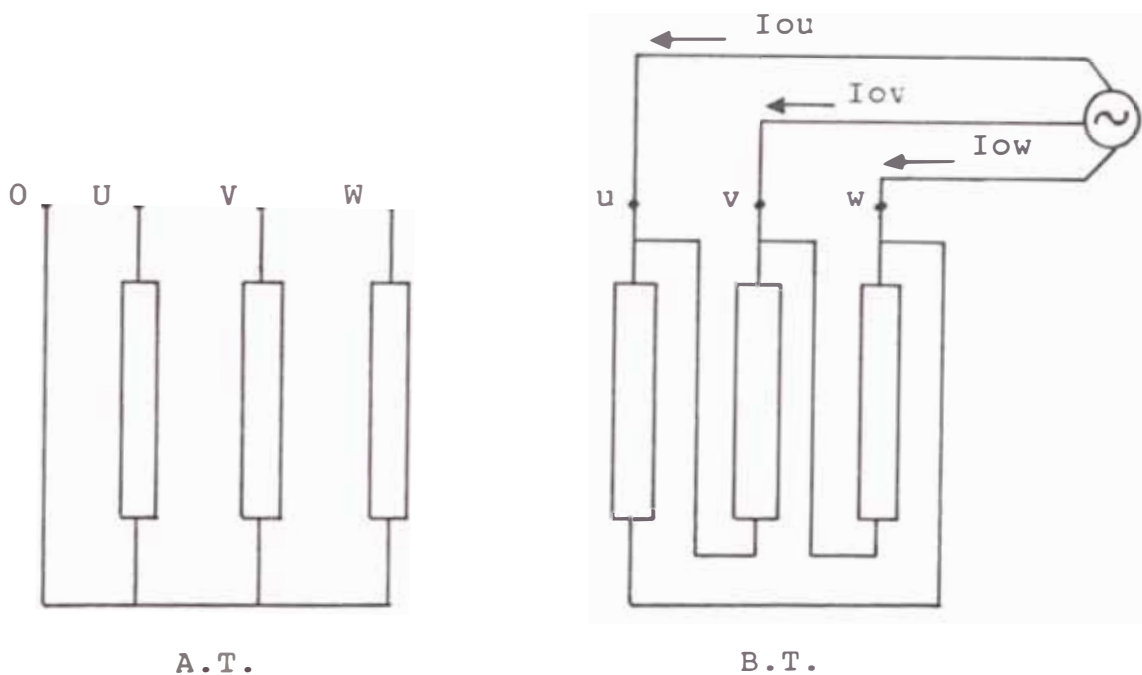


fig. 1

3.1.2 Prueba en Cortocircuito.

Se toman las medidas de la tensión de cortocircuito y de las pérdidas debidas a la carga. Para ello se alimenta el transformador, a frecuencia industrial, con una corriente comprendida entre el valor nominal y 25% de este último estando el arrollamiento de A.T. en cortocircuito.

El valor obtenido para la tensión de cortocircuito se corrige multiplicándolo por

la relación entre la corriente nominal y la corriente utilizada para el ensayo, mientras que el valor obtenido para las pérdidas se corrige multiplicándolo por la relación obtenida entre el cuadrado de la corriente nominal y el cuadrado de la corriente utilizada para el ensayo.

Tanto la tensión de cortocircuito como las pérdidas deben ser llevadas luego a la temperatura de referencia de 75°C .

El circuito que se utilizó para realizar esta prueba es el siguiente:

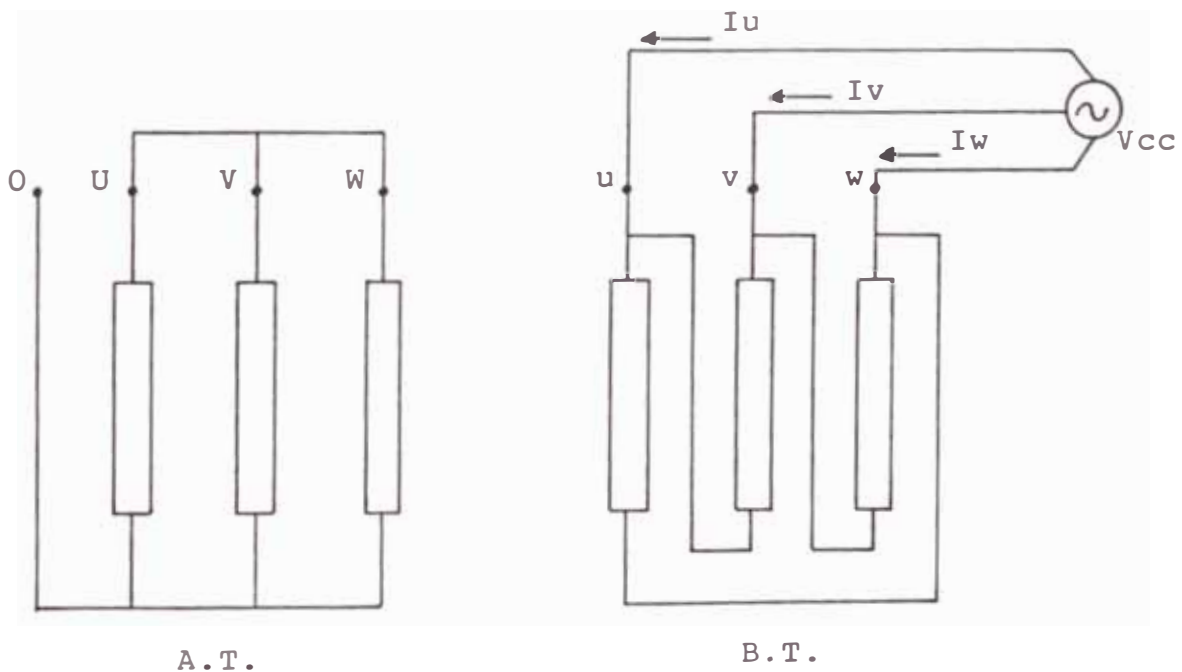


fig. 3

TABLA: 3.02

RESULTADO DE LA TENSION DE CORTOCIRCUITO Y PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA

Alimentación: B.T.; Cortocircuito: A.T.; T_1 : 24°C Posic. conmut.: 10; In: 404.2 A; Frec.: 60 Hz.

Constante Instrum.			TENSION DE CORTOCIRCUITO	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO		
Kv	K_I	Kw		Iu	Iv	Iw
5	60	750	Vcc			
Lectura Instrum.			104	4.10	4.05	4.06
Valor Medido.			520	246	243	243.6
Promedio.			520 Volt.	244.2 Amp.		
Referido In a 24°C			860.7 Volt	404.2 Amp.		
Valor Porcentual.			8.607 é			
PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA:						
			Wa	Wc	Wcc	
Lectura Instrum.			-76	93.10	17.10	
Valor Medido.					12825	
Promedio.					12825 Watts	
Referido In a 24°C					35136 Watts	
Valor Porcentual					0.5019 %	
Valores Garantizados a 75°C				Transf. de Medida		
Vcc	Vcc max	Wcc	Vcc max	02 TC de 300/5 A		
8.80%	9.68%	38000	43320	02 TV de 750/150 V		

La tensión de cortocircuito corregida será:

$$V_{cc} = V_x \left(\frac{404.2}{244.2} \right) \quad (1)$$

Si el valor medido es:

$$V = 520 \text{ Voltios}$$

Entonces:

$$V_{cc} = 520 \times \left(\frac{404.2}{244.2} \right)$$

$$V_{cc} = 860.7 \text{ Voltios.}$$

Las pérdidas corregidas serán:

$$W_{cc} = W \times \left(\frac{404.2}{244.2} \right) \quad (2)$$

Si el valor medido es:

$$W = 12825 \text{ Watts.}$$

Entonces:

$$W_{cc} = 12825 \times \left(\frac{404.2}{244.2} \right)^2$$

$$W_{cc} = 35136 \text{ Watts.}$$

Cálculo de las pérdidas y de la tensión de cortocircuito a 75°C., entre los terminales de A.T. y B.T. a la potencia de 7 MVA;

posic. conmut. : 10; relación de tensión :
58/10 Kv; relación de corriente : 69.7/404.2
A.

a 24°C R_{AT} : 2.13733 ohm.

R_{BT} : 0.0440 ohm.

s1 :

$$R_{75^{\circ}C} = 1.1973 \times R_{24^{\circ}C} \quad (3)$$

a 75°C R_{AT} : 2.55819 ohm.

R_{BT} : 0.05266 ohm.

RI^2 de arrollamientos a 75°C

$$A.T. : 1.5 \times 2.55819 \times (69.7)^2 = 18648 \text{ W}$$

$$B.T. : 1.5 \times 0.05266 \times (404.2)^2 = 12910 \text{ W}$$

Pérdida óhmica a:

$$75^{\circ}C : 18648 + 12910 = 31558 \text{ W}$$

$$24^{\circ}C : 31558 \div 1.1973 = 26358 \text{ W}$$

Pérdida adicional a:

$$24^{\circ}C : 35136 - 26258 = 8778 \text{ W}$$

$$75^{\circ}C : 8778 \div 1.1973 = 7331 \text{ W}$$

Pérdida total a 75°C :

$$31558 + 7331 = 38889 \text{ W}$$

Valores porcentuales a 24°C:

$$U_{cc} = 8.607 ; U_r = 0.5019$$

$$U_x = ((8.607)^2 - (0.5019)^2)^{0.5} = 8.5923$$

Tensión de cortocircuito a 75°C :

$$U_x = 8.5923\%$$

$$U_r = \frac{38889}{7000000} = 0.5555\%$$

$$U_{cc} = ((8.5923)^2 + (0.5555)^2)^{0.5}$$

$$U_{cc} = 8.610\%$$

En conclusión, las pérdidas totales de cortocircuito y la tensión de cortocircuito a 75°C son:

$$W_{cc} = 38889 \text{ Watts.}$$

$$V_{cc} = 8.610 \%$$

3.1.3 Medida de la Relación de Transformación, Control de la Polaridad y Correspondencia de Fase.

La medida de la relación de transformación se efectúa en cada toma (posición del conmutador bajo carga) y para ello se utiliza el puente del profesor BARBAGELATTA; estos valores así obtenidos deben estar comprendidos entre $\pm 5/1000$ de la relación especificada, ver tabla 3.03.

El control de la polaridad y correspondencia de fase se efectúa con el mismo puente en la posic. 10 del conmutador bajo carga del transformador de potencia, ver tabla 3.04.

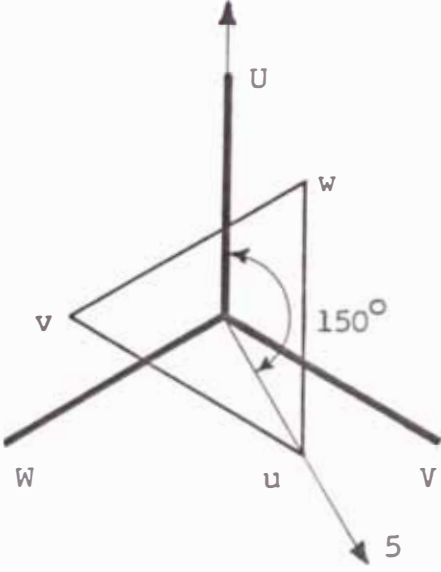
TABLA: 3.03

MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION

POSIC. CONMU- TADOR.	RELACION TEORICA.	VALOR MEDIDO			TOLERANCIA	
		UV/uv	VW/vw	UW/uw	MAX.	MIN.
1	3.6865	3.683	3.684	3.683	3.7049	3.6680
2	3.6489	3.647	3.648	3.646	3.6671	3.6306
3	3.6114	3.610	3.612	3.610	3.6294	3.5933
4	3.5739	3.574	3.575	3.574	3.5917	3.5560
5	3.5364	3.537	3.539	3.537	3.5541	3.5187
6	3.4988	3.501	3.502	3.501	3.5163	3.4813
7	3.4613	3.464	3.466	3.464	3.4786	3.4440
8	3.4238	3.428	3.429	3.427	3.4409	3.4066
9	3.3862	3.391	3.393	3.391	3.4031	3.3692
10	3.3487	3.355	3.355	3.356	3.3654	3.3319
11	3.3112	3.318	3.320	3.318	3.3277	3.2946
12	3.2736	3.282	3.283	3.282	3.2899	3.2572
13	3.2361	3.245	3.247	3.245	3.2522	3.2199
14	3.1986	3.209	3.210	3.208	3.2146	3.1826
15	3.1610	3.172	3.174	3.172	3.1768	3.1452
16	3.1235	3.136	3.137	3.136	3.1768	3.1452
17	3.0860	3.099	3.101	3.099	3.1155	3.0705
18	3.0485	3.063	3.064	3.063	3.0793	3.0531
19	3.0110	3.027	3.028	3.026	3.0261	2.9959

TABLA: 3.04

GRUPO CONVENCIONAL.

GRUPO IEC	DIAGRAMA VECTORIAL	ALIMENTACION	
<p>Y N d 5 (150°)</p>		<p>TRIFASICA: U - V - W</p>	
CONEXION PARA GRUPO VECTORIAL		RELACION TEORICA	VALOR MEDIDO
.CONEXION	TERMINALES		
<p>ALTA TENSION <hr/>BAJA TENSION</p>	<p>$\frac{U - V}{u - v}$</p>	<p>3.3487</p>	<p>3.355</p>
	<p>$\frac{V - W}{v - w}$</p>		<p>3.356</p>
	<p>$\frac{U - W}{u - w}$</p>		<p>3.355</p>

El circuito que se utilizó para realizar estas pruebas es el siguiente:

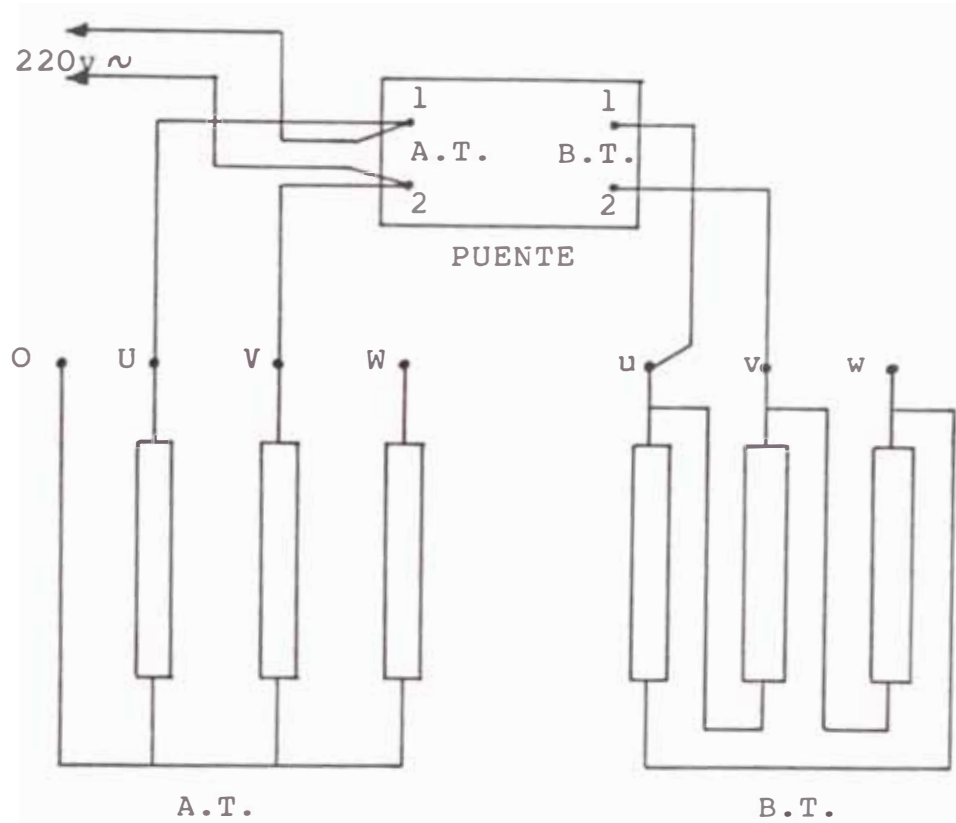


fig. 4

3.1.4 Medida de la Resistencia Ohmica.

Se registra la resistencia de cada arrollamiento, así como la temperatura ambiente; el ensayo se efectúa con corriente continua, empleando el método voltamperimétrico, reduciéndose al mínimo los efectos de inducción. Las resistencias tanto del arrollamiento de B.T. como de A.T. fueron calculadas a su equivalente a la temperatura de referencia de 75°C; ver tabla 3.05.

$$R_{75^{\circ}} = \frac{309.5 \times R}{(234.5 + T)} \quad (4)$$

TABLA: 3.05

MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS
(METODO VOLTAMPERIMETRICO)

ARROLLAMIENTO		ALTA TENSION	
POSICION CONMUTADOR		10	
TEMPERATURA AMBIENTE		24°C	
ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA		RESISTENCIA (OHM)
U - V	42.5 x 0.1 V		2.1250
	2 x 1 A		
V - W	41.8 x 0.1 V		2.1435
	1.95 x 1 A		
W - U	41.8 x 0.1 V		2.1435
	1.05 x 1 A		
PROMEDIO A 24°C			2.13733
PROMEDIO A 75°C			2.55819
ARROLLAMIENTO		BAJA TENSION	
POSICION CONMUTADOR		10	
TEMPERATURA AMBIENTE		24°C	
ENTRE LOS TERMINALES	LECTURA		RESISTENCIA (OHM)
u - v	13.5 x 0.01 V		0.0439
	6.15 x 0.5 A		
v - w	13.6 x 0.01 V		0.0444
	6.12 x 0.5 A		
w - u	13.4 x 0.01 V		0.0438
	6.12 x 0.5 A		
PROMEDIO A 24°C			0.0440
PROMEDIO A 75°C			0.05266

R , T : Condiciones iniciales de resistencia (ohm) y temperatura ($^{\circ}$ C).

El circuito que se utilizó para realizar esta prueba fue el siguiente:

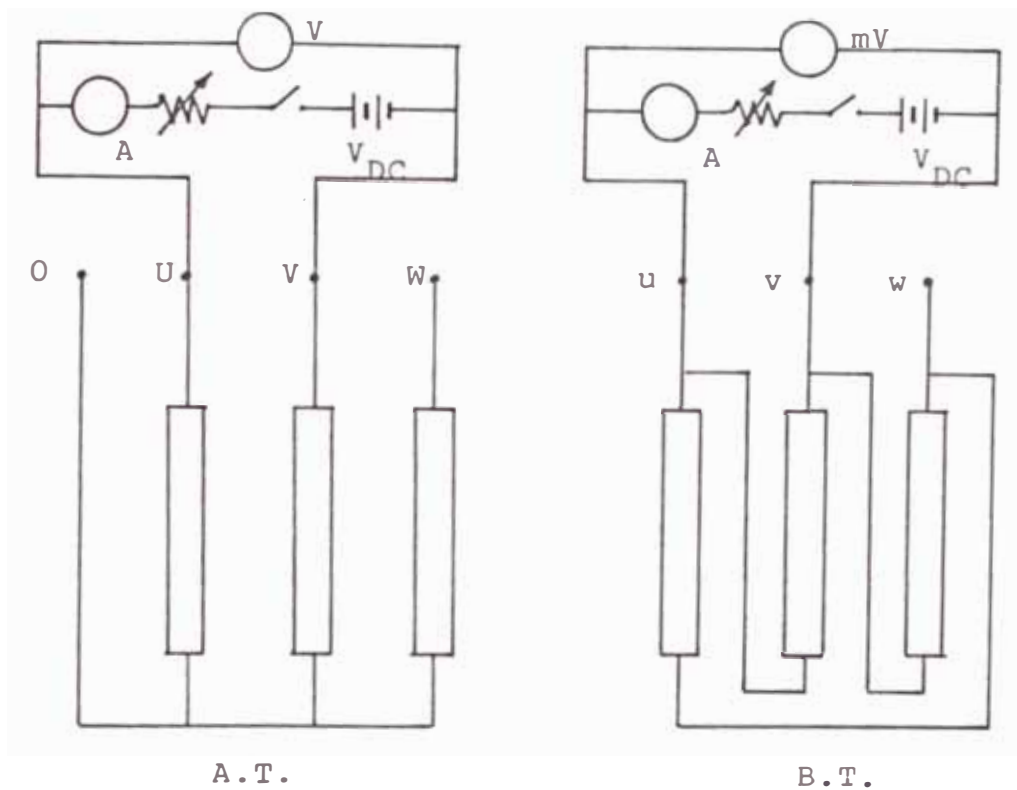


fig. 5

3.1.5 Pruebas de Aislamiento .

Tienen por objetivo detectar y medir las descargas parciales en el transformador, las cuales ocurren entre conductores o hacia tierra. Se debe considerar que en estas pruebas se pueden sufrir daños permanentes y progresivos en el aislamiento, por lo que se recomienda que sólo se efectúen una vez; de ser necesario repetirlas, se harán al 75% de la tensión de prueba.

3.1.5.1 Tensión Aplicada.

El ensayo de tensión aplicada se efectúa con una tensión alterna monofásica de forma de onda sinusoidal y a la frecuencia nominal.

La tensión suministrada es aplicada sucesivamente entre cada arrollamiento sometido a ensayo y los otros arrollamientos, el circuito magnético y el tanque conectados conjuntamente a tierra.

La prueba empieza con una tensión eficaz o pico máxima igual a $1/3$ del valor estipulado, elevando esta tensión lo más rápido que se pueda hasta alcanzar el valor apropiado sin que los voltímetros de pico y de valor eficaz dejen de indicar la tensión de ensayo (sin que se corte el circuito). Al final de los 60 seg. de duración de la prueba se reduce rápidamente la tensión antes de desconectar; el resultado es satisfactorio si no ocurre perforación alguna entre los arrollamientos del transformador de potencia y tierra.

Para este ensayo se utilizaron un divisor capacitivo de tensión y un voltímetro de pico, los que nos

permitieron leer directamente en los bornes de A.T. del transformador de potencia los valores de voltaje alcanzados.

Cálculo de la tensión eficaz de prueba:

V : Tensión eficaz de prueba

V_c : Lectura del voltímetro de pico

K₁ : Cte. escala divisor de tensión

$$V_c = \frac{\sqrt{2} \times V}{K_1} \quad (5)$$

Arrollamiento de A.T. :

V = 140 Kv

K₁ = 837 * 2

de (5) tendremos:

V_c = 118.3 Voltios

Arrollamiento de B.T. :

V = 28 Kv

K₁ = 837 * 1

de (5) tendremos :

V_c = 47.3 Voltios.

Circuito utilizado para la realización de esta prueba:

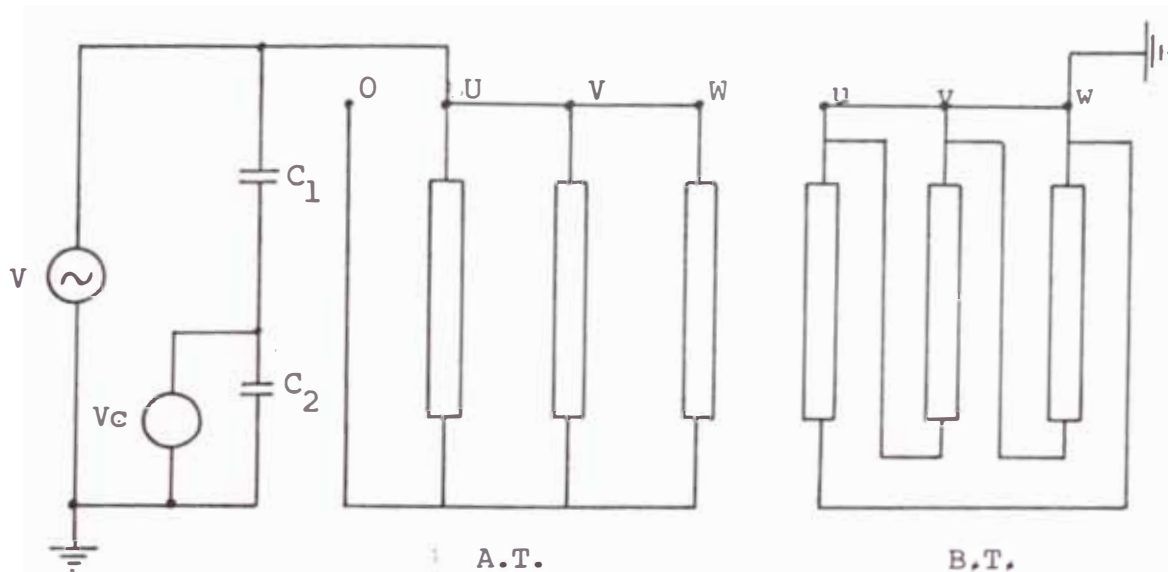


Fig. 6

TABLA: 3.06

RESULTADO DE LA PRUEBA DE TENSION APLICADA
(Posición del Conmutador : 1).

VALORES DE PRUEBA					
	t (seg.)	f (Hz)	Vc (volt.)	K (const.)	V (KV)
1	60	60	118.3	1183.1	140
2	60	60	47.3	591.85	28
MODALIDAD					
	CONEXION		KV	RESULTADO	
1	A.T. / MASA- BvT.		140	FAVORABLE	
2	B.T. / MASA- A.T.		28	FAVORABLE	
C ₁ , C ₂ : Capacidades del Divisor Capacitivo de Tensión.					

3.1.5.2 Tensión Inducida.

En un transformador este ensayo tiene por objetivo verificar el aislamiento entre espiras, bobinas, tomas, conexiones de tomas y bornes del arrollamiento.

Aplicamos al arrollamiento de B.T. una tensión alterna sinusoidal por encima de la tensión nominal a una frecuencia también suficientemente por encima de la nominal, para evitar así una excesiva corriente de excitación durante el ensayo, y se mide el valor eficaz de la tensión inducida en los arrollamientos de A.T.

El ensayo empieza a una tensión máxima igual a $1/3$ del valor establecido, esta se eleva lo mas rápido que se pueda sin que se corte el circuito hasta alcanzar 22000 voltios (valor de prueba establecido) y la mantenemos durante 40 seg; al final, reducimos rápidamente la tensión a $1/3$ de su pleno valor antes de desconectar.

El resultado se considera satisfactorio, si no se produce perforación alguna en el aislamiento de los arrollamientos del transformador de potencia.

Circuito utilizado:

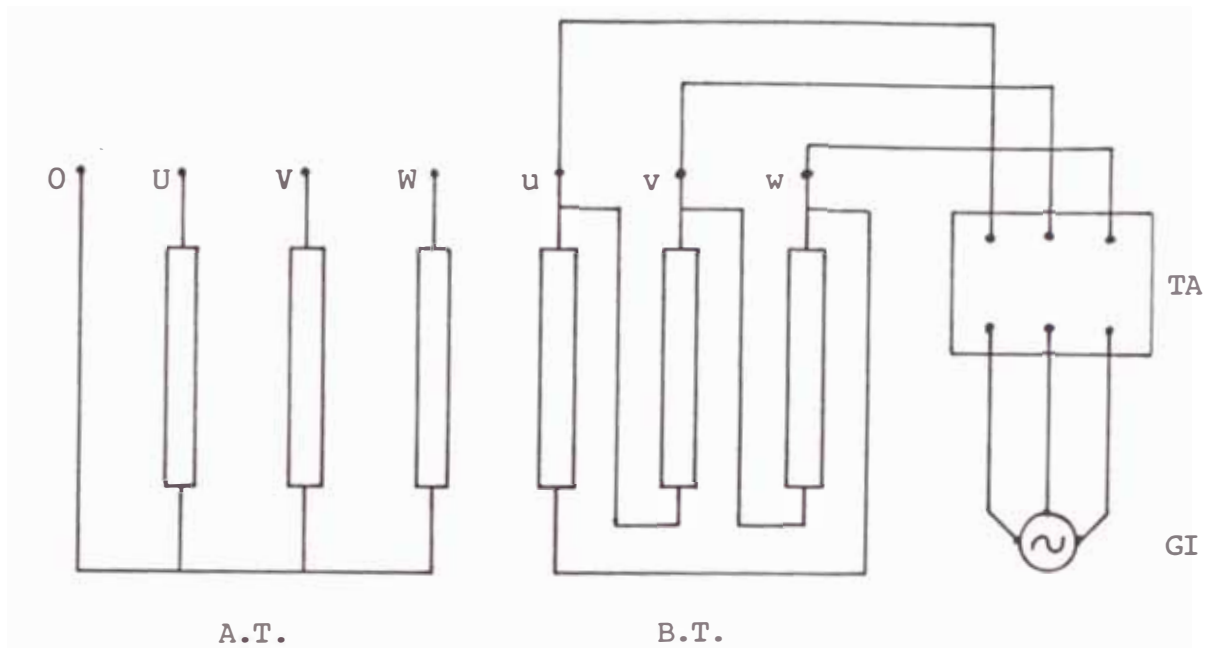


Fig. 7

TABLA: 3.07

RESULTADO DE LA PRUEBA DE TENSION INDUCIDA
(Posición del Conmutador : 1).

GENERADOR DE INDUCIDA (GI)				TRANSFORMADOR AUXILIAR (TA)
t (seg.)	f (Hz)	V (volt.)	K (const.)	
40	172	460	43.478	3 Ø - 250 KVA 10000/230 V
TENSION DE PRUEBA				
V_{BT} (volt.)		V_{AT} (volt.)		RESULTADO
20000		127700		FAVORABLE

Para esta prueba se utilizó un transformador auxiliar, que permitió alcanzar la tensión de ensayo establecida.

3.1.5.3 Resistencia de Aislamiento.

Es una prueba complementaria que nos indica los valores de resistencia de aislamiento entre arrollamientos y entre cada uno de ellos y tierra.

Se realiza aplicando una tensión de 5000 voltios de corriente continua, por medio de un Megómetro, a los arrollamientos de A.T. y B.T. conectados en cortocircuito respectivamente.

El circuito que se utilizó para realizar esta prueba es el siguiente:

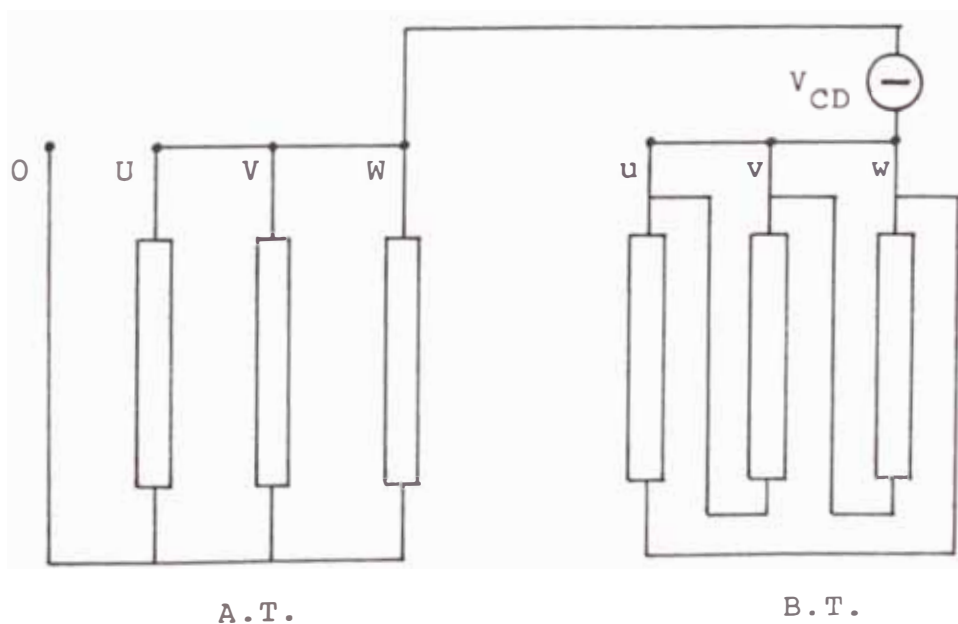


fig. 8 .

TABLA: 3.08

MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

V_{DC} (VOLT)	MODALIDAD	RESISTENCIA ($M\Omega$)
5000	A.T./TIERRA	5000
5000	A.T./B.T.	5000
5000	B.T./TIERRA	2500

3.1.5.4 Rigidez Dieléctrica del Aceite

El aceite dieléctrico es un derivado de la destilación del petróleo y es utilizado con el propósito de facilitar la extracción de calor del núcleo y devanados, disipándolo por convección y al mismo tiempo presentando propiedades aislantes de grandes cualidades dieléctricas. Desafortunadamente la presencia de pequeñas cantidades de humedad o partículas en suspensión reduce considerablemente su rigidez, es por ello que después de cierto tiempo de uso debe ser regenerado o cambiado.

La rigidez dieléctrica del aceite se mide con un instrumento denominado ESPINTEROMETRO, el cual consta de un transformador de alto potencial, regulable por medio de un reóstato, y de un recipiente especial provisto de

dos electrodos en forma de semiesferas de 25 mm. de diámetro, las cuales se encuentran a una distancia que es ajustable según los requerimientos. En este recipiente se deposita una muestra de aceite del transformador de potencia y se mantiene en reposo por espacio de una hora.

El aceite, entonces, es sometido a un campo eléctrico cuya magnitud depende de la tensión aplicada, de la distancia y de la característica del mismo.

V = Voltaje aplicado

d = Distancia entre electrodos

E = Intensidad de campo eléctrico

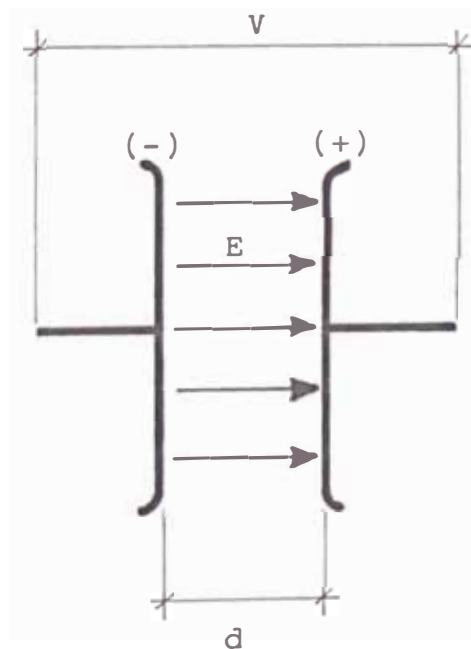


fig. 9

Aumentando paulatinamente la tensión, la intensidad de campo eléctrico también se incrementa hasta un valor límite entonces en el aceite se produce una ionización que se traduce en una descarga eléctrica. La intensidad de campo eléctrico máxima que puede soportar el aceite se denomina "Rigidez Dieléctrica" y la tensión que produce la descarga se denomina "Tensión de Perforación".

TABLA: 3.09
MEDIDA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL
ACEITE.

o.	TENSION DE PERFORACION : Kv	RIGIDEZ DIELECTRICA Kv/cm.
1	68	282.88
2	60	249.60
3	65	270.40
4	60	249.60
5	65	270.40
Prom.	63.6	264.57
Toler.		190
Result:	EXCELENTE.	

3.2 Pruebas Tipo.

Son aquellos que se efectúan a solicitud del cliente y que, generalmente, obedecen a condiciones especiales de funcionamiento.

3.2.1 Prueba de calentamiento - Método de Cortocircuito.

Según norma ITINTEC 370.002 e IEC 76:

El transformador debe ser alimentado de manera que las pérdidas totales correspondan a la potencia nominal. Se toma como pérdidas totales a la suma de las pérdidas debidas a la carga corregidas a 75°C y las pérdidas en vacío.

Para ello estando uno de los arrollamientos del transformador en cortocircuito se alimenta al otro arrollamiento con una potencia constante, igual a las pérdidas totales, hasta la obtención del equilibrio térmico. Se determina entonces la elevación de la temperatura en la parte superior del aceite y el calentamiento medio.

Enseguida, se reduce la tensión de alimentación hasta un valor que permita obtener las corrientes nominales en los arrollamientos durante una hora. Al final del funcionamiento a pérdidas totales se

determina la temperatura por el método de resistencia. Se debe tener en cuenta la disminución de la temperatura media del aceite durante esta hora.

El aumento de temperatura de los arrollamientos por encima de la temperatura promedio del aceite, según se ha determinado por el método de resistencia, sumada al aumento de la temperatura promedio de la parte superior del aceite, dará el aumento de la temperatura de los arrollamientos para las pérdidas totales.

3.2.1.1 Medición de la Elevación de Temperatura de la Parte Superior del Aceite.

La temperatura en la parte superior del aceite se medirá con un termómetro colocado en una probeta (pozo termométrico) llena de aceite.

El ensayo puede darse como terminado cuando la elevación de temperatura no se incrementa en más de 3°C en una hora; ver tabla 3.10.

La elevación de la temperatura de la parte superior del aceite debe ser obtenida restando la temperatura del medio de

enfriamiento (temperatura ambiente) de la temperatura medida en la parte superior del aceite, estando el transformador alimentado de tal manera que las pérdidas sean iguales a las pérdidas totales; ver fig. 10. La potencia de alimentación debe ser mantenida constante.

Si no se puede obtener el valor exacto de las pérdidas totales, el ensayo se realizará con un valor proximo que no deberá desviarse de + 20% del valor total mencionado anteriormente; se debe, entonces, aplicar a la temperatura de la parte superior del aceite el factor de corrección sig:

$$\frac{(\text{Pérdidas totales})^r}{\text{Pérdidas de ensayo}} \quad (6)$$

siendo r :

Para circulación natural de aire
= 0.8

Para circulación forzada de
aire = 1.0

3.2.1.2 Medición de la Elevación de Temperatura de los Arrollamientos.

La temperatura de cada

arrollamiento debe ser determinada usando el método de resistencia. La temperatura (T₂) de un arrollamiento, al final de un período de ensayo, se calcula a partir de su resistencia (R₂) medida a esa temperatura y su resistencia en frío (R₁) medida a la temperatura ambiente (T); usando la fórmula válida para el cobre: (7)

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1} (234.5 + T_1) - 234.5$$

En la cual, T₂ y T₁ son medidos en °C. La resistencia se mide después de desconectar la fuente de energía, tomando en cuenta las conexiones respectivas; ver fig.11., la corrección de la resistencia puede determinarse aproximadamente haciendo una serie de medidas de resistencia (tabla 3.12), utilizándolas para trazar una curva tiempo-resistencia y extrapolando hacia atrás al instante de la desconexión. La temperatura mas alta del arrollamiento se calcula entonces con la resistencia al instante de desconectar; ver fig.13 y fig.14.

La elevación de temperatura de cada arrollamiento debe ser obtenida restando la temperatura del medio de enfriamiento durante el ensayo, temperatura ambiente, de la temperatura promedio del arrollamiento, medida por resistencia, circulando las corrientes nominales en los arrollamientos bajo ensayo, hasta obtener condiciones térmicas estables.

Si las corrientes nominales no pueden ser suministradas, los ensayos pueden ser efectuados con corrientes que no deben desviarse en 10% de las corrientes nominales y se aplica el siguiente factor de corrección a la elevación de temperatura de los devanados por encima de la temperatura promedio del aceite:

$$\left(\frac{\text{Corriente Nominal}}{\text{Corriente de Ensayo}} \right)^s \quad (8)$$

siendo s:

Para la circulación natural de aceite = 1.6

Para circulación forzada de aceite = 1.8

TABLA: 3.11

PRUEBA DE CALENTAMIENTO - MEDIDA DE LA RESISTENCIA EN FRIO.

$$T_1 = 20^{\circ}\text{C}$$

t'	V_{V-W} (0.01) volt.	V_{v-w} (0.4 x 0.001) volt.	A (0.2) amp.	R_{V-W} ohm.	R_{v-w} ohm.
1	105.4	54.8	2.5	2.108	0.04384
MEDIA				2.108	0.04384

El Circuito que se utilizó para la medida de la Resistencia fue el siguiente :

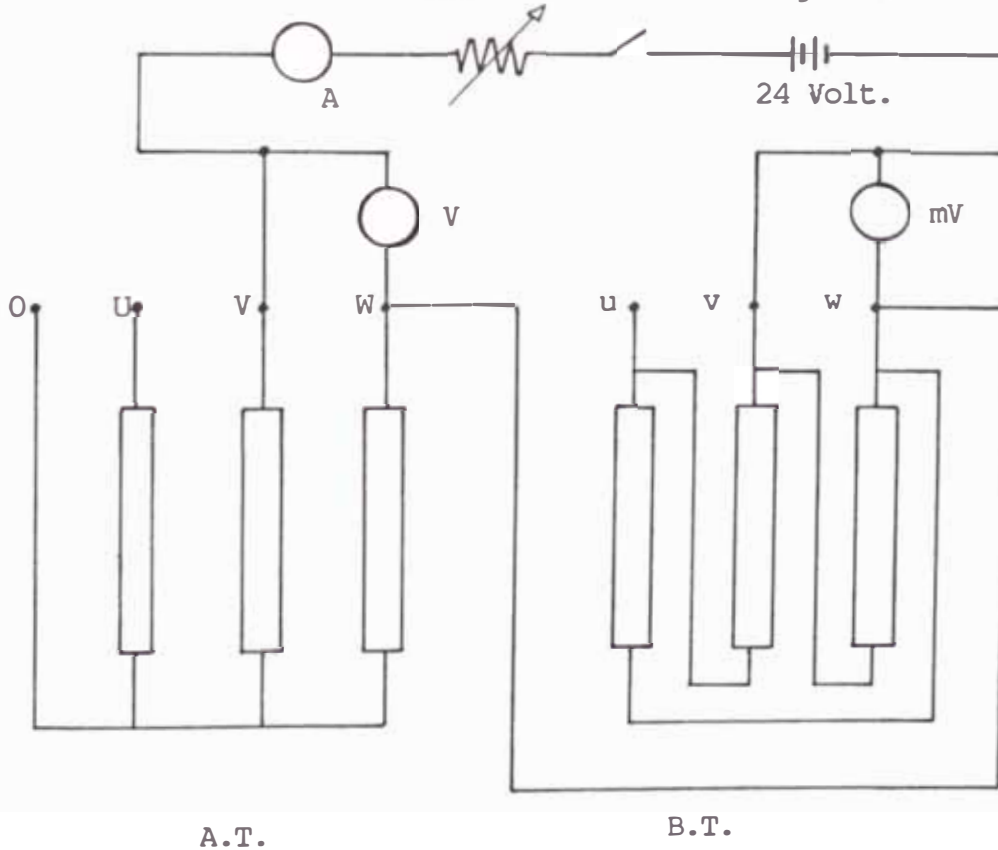


Fig. 11

3.2.1.3 Cálculo de las Temperaturas Finales en los Arrollamientos.

a. Temperatura en los arrollamientos al momento de desconectar; de la fig. 12 y fig. 13:

$$\text{Primario: } \theta_2 = 52.3 + 20.0 = 72.3^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Secundario: } \theta_2 = 55.0 + 20.0 = 75.0^{\circ}\text{C}$$

b. Sobretemperatura del aceite en el punto más caliente, con régimen a pérdidas 58500 W; de la fig. 10

$$\Delta\theta_o = 53 - 20 = 33^{\circ}\text{C}$$

Corrección para pérdidas totales de 56300 W:

$$\Delta\theta_o = 33 \times \left(\frac{56300}{58500} \right)^{0.8} = 32^{\circ}\text{C} < 60^{\circ}\text{C}$$

c. Temperatura del aceite al momento de desconectar; de la tabla 3.10:

$$\Delta\theta_{od} = 52.1^{\circ}\text{C}$$

d. Sobretemperatura de los arrollamientos con respecto al aceite al momento de desconectar:

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_{od} \quad (9)$$

Primario : 20.2°C

Secundario: 22.9°C

e. Sobretemperatura de los arrollamientos con respecto al ambiente al momento de desconectar:

$$\Delta\theta_{cu} = \theta + \theta_o \quad (10)$$

Primario : 53.2°C < 65°C

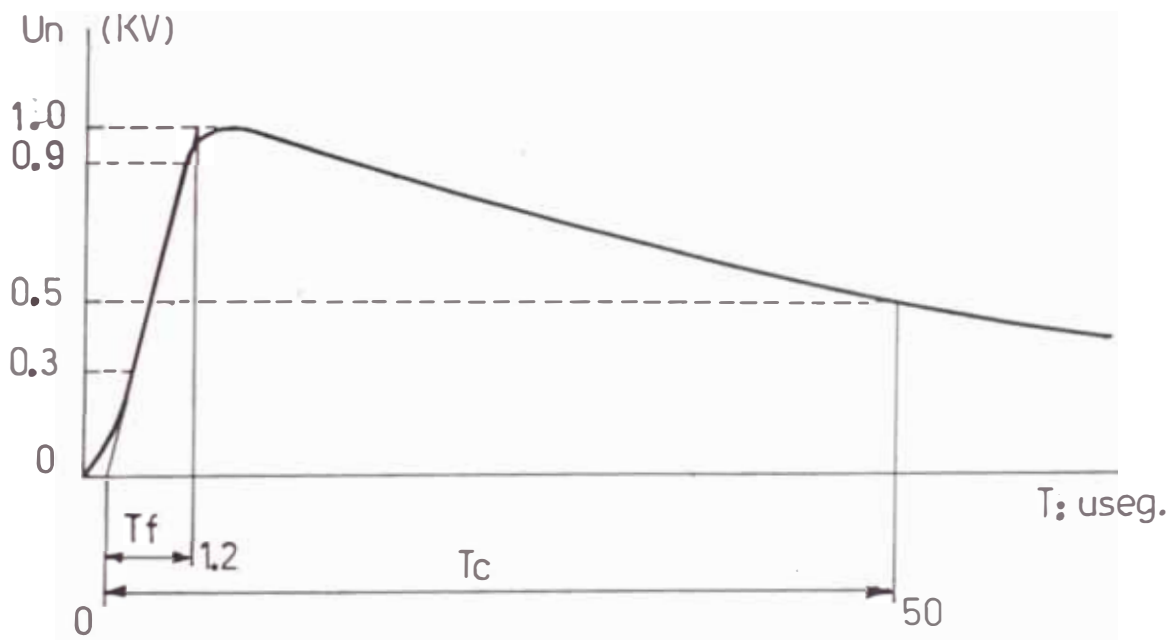
Secundario: 55.9°C < 65°C

3.2.2 Prueba con Impulso Atmosférico.

En los sistemas eléctricos existen sobretensiones de origen atmosférico. Se explica su aparición por la inducción electrostática de cargas eléctricas concentradas en las líneas aéreas, en la proximidad de alguna nube de polaridad contraria.

Si estas nubes son descargadas violentamente a tierra por un rayo, desaparece la causa que mantenía concentrada la carga en la línea y esta se desplaza, también violentamente, en los dos sentidos de la línea en formas de ondas de tensión de frente muy enpinado, ver fig. 14, con valores de pico del orden de las centenas de kilovoltios, por ejem. 500

ONDA NORMALIZADA



TENSION DE IMPULSO PLENO

Tensión de Pico : U_n (KV)

Tiempo de Frente : T_f 1.2 useg

Tiempo de Cola : T_c 50 useg

KV/useg; y con velocidades de propagación de 300000 Km por segundo.

Nuestro transformador de potencia, que será alimentado por un línea de alta tensión, ha sido diseñado y fabricado para soportar este tipo de sobretensiones atmosféricas y cuya comprobación la efectuamos en la Sala de Impulso Atmosférico.

La Onda de Impulso que generaremos, para propósitos de prueba, se describe mediante tres valores:

Tensión de Pico : Un : KV
Tiempo de frente : Tf : 1.2 useg.
Tiempo de Cola (50% Un): Tc : 50 useg.

3.2.2.1 Procedimiento de Prueba

Los arrollamientos del primario (A.T.) y secundario (B.T.) han sido sometidos a la prueba de aislamiento con tensión de impulso, siguiendo la modalidad de prueba prescrita en las normas ITINTEC 370.002 para transformadores de potencia.

El esquema del circuito empleado se ha representado en la fig. 15, los valores de los parámetros del circuito de prueba son indicados en la tabla 3.13 y la disposición de

los terminales del transformador durante la prueba en la tabla 3.14.

La medida de la tensión de impulso aplicada se ha efectuado mediante instrumentos indicadores y registración osciloscopia.

El conjunto divisor de tensión-voltímetro de pico-osciloscopio, ha sido verificado por comparación con el espinterómetro a esferas y ha una tensión del orden del 50% de la prueba.

A cada terminal de los arrollamientos en prueba se ha aplicado:

- a) Un impulso de referencia a una tensión comprendida entre el 50% y 75% de la tensión de prueba, registrándose simultáneamente la tensión de impulso aplicada y la corriente a través de una resistencia de derivación (shunt) para la observación de cualquier falla.
- b) Dos impulsos a tensión correspondiente al 100% de la tensión de prueba, registrándose las ondas de tensión y corriente como anteriormente.

c) Un impulso de referencia a tensión reducida como se indicó anteriormente (50% - 75%).

La característica de la onda de impulso aplicada es la siguiente:

Polarida : Negativa
Tiempo de frente: 1.2 useg.; Tol. $\pm 30\%$
Tiempo de cola : 50 useg.; Tol. $\pm 20\%$

Los valores de Tensión de Impulso son:

Tensión de Prueba en A.T.: 325 KV.
Tol. $\pm 5\%$
Tensión de Prueba en B.T.: 75 KV.
Tol. $\pm 5\%$

Los valores medidos de la tensión de impulso tanto para A.T. como para B.T. son indicados en las tablas 3.16 y 3.18, así como los registros fotográficos de cada onda y los circuitos utilizados.

Durante el desarrollo de la prueba el conmutador ha estado en la posición 10. El resultado de la prueba ha sido positivo en ambos arrollamientos.

- C_g : Capacidad del generador.
 R_s : Resistencia en serie.
 R_p : Resistencia en paralelo.
 C_1 : Capacidad del lado de alta tensión del divisor.
 C_2 : Capacidad del lado de baja tensión del divisor.
 R_1 : Resistencia
 S : Espinterómetro de esferas.
 Z : Cable coaxial de medida; $Z_0 = 75 \Omega$.
 O : Osciloscopio de dos canales.
 V_c : Voltímetro de cresta.
 T : Transformador en prueba.
 D : Derivación para la medida de la corriente en el arrollamiento en prueba.
 C_c : Condensador de carga.

CIRCUITO DE PRUEBA :

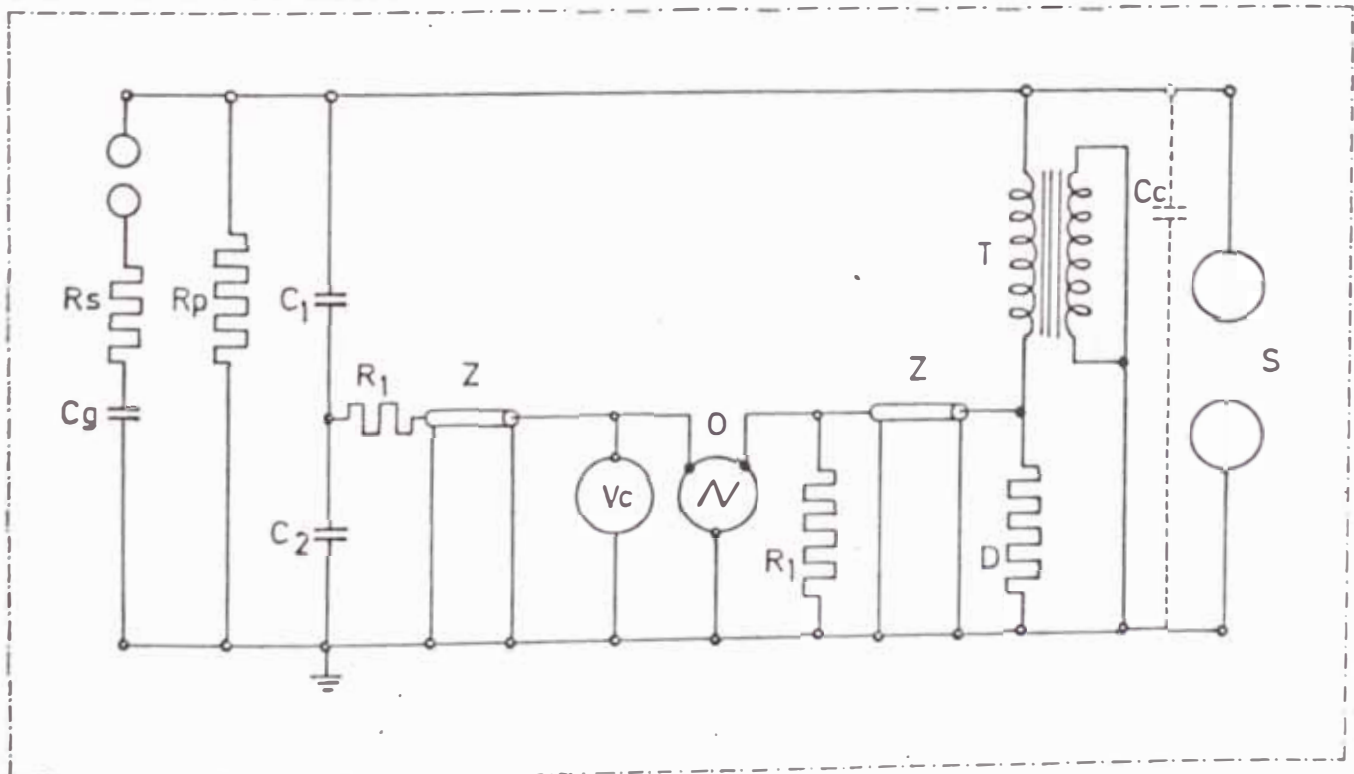


TABLA: 3.13

PARAMETROS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE PRUEBA
CON IMPULSO ATMOSFERICO.

PARAMETROS		TERMINALES DE	TERMINALES
		A T	B T
Cg	uF	0.125	1.5
Rs	ohm.	160	200
Rp	ohm.	564	65
C ₁	pF	756	756
C ₂	uF	0.633	0.633
R ₁	ohm.	75	75
D	ohm.	-	-
C _c	pF	14	14

TABLA: 3.14

DISPOSICION DE LOS TERMINALES DEL TRANSFORMADOR
DURANTE LA PRUEBA CON IMPULSO ATMOSFERICO.

IMPULSO EN A.T.						
U	V	W	O	u	v	w
Impulso	A tierra		A Tierra através de 2Ω	A tierra	A tierra	A tierra
IMPULSO EN B.T.						
U	V	W	O	u	v	w
A tierra	A tierra	A tierra	A tierra	Impulso	A tierra através de Resist. 390Ω y Shunt 2Ω	

Para probar los otros terminales han sido movidos cíclica-
mente la resistencia y la conex. tierra.

TABLA: 3.16

RESULTADO DE PRUEBA CON IMPULSO ATMOSFERICO EN A.T.

OSC. No.	TERMINALES	OSCILOSCOP.		VOLTIMETRICO DE CRESTA			
		POS. ATENUADOR.	useg div	LECTURA (KV)	CTE LECTURA	TENSION PRUEBA (KV)	TIPO DE ONDA
1	U	1	10	96.6	2 x 837	161.7	O.R.
2	U	1	10	93.4	4 x 837	312.7	O.P.
3	U	1	10	94.1	4 x 837	315.0	O.P.
4	U	1	10	97.5	2 x 837	163.2	O.R.
5	V	1	10	98.9	2 x 837	165.5	O.R.
6	V	1	10	99.3	4 x 837	332.4	O.P.
7	V	1	10	94.6	4 x 837	316.7	O.P.
8	V	1	10	106.5	2 x 837	178.2	O.R.
9	W	1	10	99.2	2 x 837	166.0	O.R.
10	W	1	10	96.9	4 x 837	324.4	O.P.
11	W	1	10	97.4	4 x 837	326.0	O.P.
12	W	1	10	100.3	2 x 837	168.0	O.R.

Circuito utilizado:

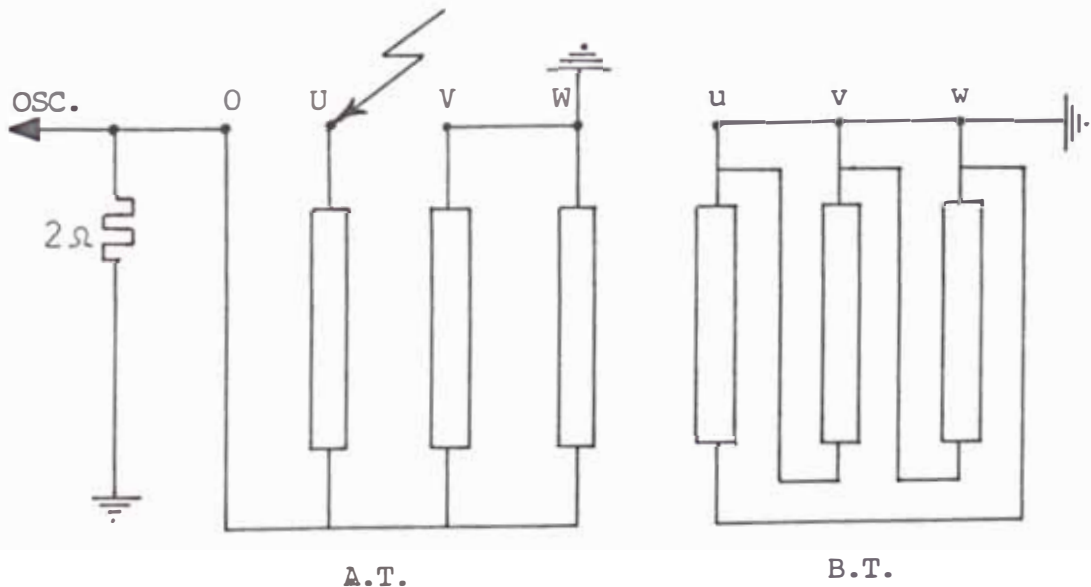


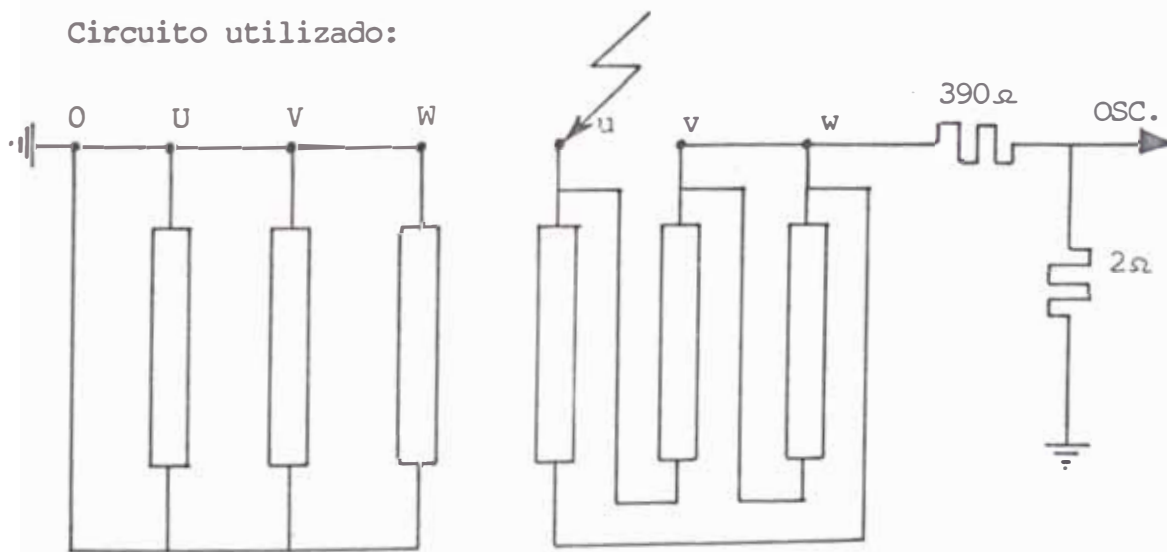
Fig. 16

TABLA: 3.18

RESULTADO DE PRUEBA CON IMPULSO ATMOSFERICO EN B.T.

OSC. No.	TERMINALES	OSCILOSCOP.		VOLTIMETRO DE CRESTA			
		POS. ATENUADOR.	$\frac{\mu\text{seg}}{\text{div}}$	LECTURA (KV)	CTE LECTURA	TENSION PRUEBA (KV)	TIPO DE ONDA
1	u	1	10	46.8	837	39.2	O.R.
2	u	1	10	87.3	837	73.1	O.P.
3	u	1	10	87.2	837	73.0	O.P.
4	u	1	10	46.7	837	39.1	O.R.
5	v	1	10	47.3	837	39.6	O.R.
6	v	1	10	87.3	837	73.1	O.P.
7	v	1	10	94.1	837	78.8	O.P.
8	v	1	10	47.0	837	39.3	O.R.
9	w	1	10	46.5	837	38.9	O.R.
10	w	1	10	90.4	837	75.7	O.P.
11	w	1	10	93.8	837	78.5	O.P.
12	w	1	10	47.1	837	39.4	O.R.

Circuito utilizado:



A.T.

B.T.

Fig.21

TABLA: 3.19

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RUTINA

1.- PERDIDAS (KW) Y CORRIENTE EN VACIO (%)

	Vn - 10%		Vn		Vn + 10%	
	Po	Io	Po	Io	Po	Io
Valor Medido.	13.5	1.79	17.5	2.68	23.5	3.18
Valor Garantiz.	-	-	15.8	-	-	-
Tolerancia Max.	-	-	18.0	-	-	-

2.- PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA A 75°C (KW).

Potencia de Referencia (KVA)	7000
Relación (KV)	58 / 10
Valor Medido	38.9
Valor Garantizado.	38.0
Tolerancia Máxima	43.32

3.- TENSION DE CORTOCIRCUITO A 75°C (%).

Potencia de Referencia (KVA)	7000
Relación (KV)	58 / 10
Valor Medido	8.61
Valor Garantizado	8.80
Tolerancia Máxima	9.68

TABLA: 3.20

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS TIPO.

1.- SOBRETENPERATURA ($^{\circ}$ C)

Potencia (KVA)	7000	
Relación (KV)	58 / 10	
SOBRETENPERATURA	MEDIDO	GARANTIZADO
Max. en el Aceite	32	60
Media en el Aceite.	-	-
Media en el Arr. A.T.	53.2	65
Media en el Arr. B.T.	55.9	65

2.- IMPULSO ATMOSFERICO (KV).

ALTA TENSION		ONDA PLENA 325 KV		ONDA REDUCIDA 162.5 KV	
Tolerancia <u>+ 5 %</u>	Max.	341.25		170.62	
	Min.	308.75		154.37	
U		312.7	315.0	161.7	163.2
V		332.4	316.7	165.5	178.2
W		324.4	326.0	166.0	168.0
BAJA TENSION		ONDA PLENA 75 KV		ONDA REDUCIDA 37.5 KV	
Tolerancia <u>+5 %</u>	Max.	78.75		39.37	
	Min.	71.25		35.62	
u		73.1	73.0	39.2	39.1
v		73.1	78.8	39.6	39.3
w		75.7	78.5	38.9	39.4

CAPITULO IV

ELEMENTOS DE PROTECCION INCORPORADOS

Una de las causas principales de fallas en un transformador de potencia son los defectos de aislamiento producidos por el calentamiento excesivo de los arrollamientos. Este calentamiento es originado por las sobrecargas permanentes o temporales, tolerables en un funcionamiento normal, pero que frecuentemente repetidas por lo general conducen a un envejecimiento del aislamiento y por lo tanto a cortocircuitos entre espiras y/o entre fases.

Por ello, es indispensable en un transformador de potencia contar con elementos de protección incorporados que permitan detectar estos defectos de orden térmico.

Estos elementos de protección incorporados son: los indicadores de temperatura, el relé bucholtz, el relé de protección del conmutador bajo carga, los transformadores de corriente, la válvula de sobrepresión, el conservador e indicador de nivel de aceite, el deshumecedor y los electroventiladores. A continuación pasaremos a detallar cada uno de ellos.

4.1 Indicadores de Temperatura.

Son elementos de protección térmica, llamados también termómetros, que detectan las temperaturas del aceite y de los arrollamientos; ver plano EM-020. Al indicador de la temperatura de los

arrollamientos también se le conoce con el nombre de relé de imagen térmica.

4.1.1 Indicador de la Temperatura del aceite .

Es un instrumento que nos proporciona la temperatura del aceite en el punto mas caliente del transformador de potencia, osea en la parte superior del tanque.

Este indicador utiliza el principio de la expansion volumétrica de un líquido como un medio de operar los mecanismos de indicación y control del instrumento. Estos cambios estan relacionados con los cambios de temperatura.

Nuestro transformador utiliza un instrumento detector de la temperatura del aceite de las siguientes características.

Dimensiones externas.- De 254x190x95 mm.

Rango de Temperatura.- De 0 - 120°C.

Elemento sensor.- De material bronce de dimensiones standard 0.5" \varnothing x 3.720"

Contactos.- De mercurio que abren y cierran, con ajuste principal entre 30% y 100% de la escala máxima y ajuste diferencial entre 5% y 75% de la escala máxima. Actúan para 150 VA y 250 Vac.

Fuelles.- De 0.750' \varnothing ext. x 23 vueltas.

Precisión.- De \pm 1% de la máxima escala.

Este instrumento cuenta con las siguientes partes principales:

Cavidad llena de aceite (elemento sensor) .

Conducción flexible (tubo capilar)

Fuelle de medida

Fuelle de compensación

Transmisión.

Aguja

Plato movable

Contactos de mercurio

Borneras.

El indicador de temperatura del aceite, como podemos apreciar en el plano EM-020, fig. 1, tiene un elemento sensor situado en una cavidad llena de aceite existentes en la tapa del transformador (1), este elemento sensor está conectado a la caja del instrumento mediante una conducción flexible (2) que consta de dos tubos capilares, uno de estos tubos está unido al fuelle de medida (3) del instrumento mientras que el otro lo está al fuelle de compensación (4). El sistema de medida está lleno de un líquido que cambia de volumen al variar la temperatura. El fuelle de compensación actúa sobre el fuelle de medida mediante la transmisión (5) con lo que se compensan las variaciones de la temperatura ambiente.

Mediante la transmisión (5) el movimiento del fuelle de medida es transmitido tanto a la

aguja (9) como al plato movible (10), que está provisto de los contactos de mercurio (11) y (12); estos contactos en número de dos pueden ajustarse en forma totalmente independiente uno de otro a las temperaturas de apertura y cierre deseados; los contactos están conectados a unas borneras interiores (13).

El instrumento tiene una aguja de máxima a la que la aguja indicadora de temperatura arrastra consigo, al variar la temperatura.

4.1.2 Indicador de la temperatura de los arrollamientos.

tiene por finalidad medir la temperatura en el punto más caliente del arrollamiento de un transformador, pero como es difícil medir directamente, se ha ideado un instrumento que permite reproducirla indirectamente.

El indicador de la temperatura del arrollamiento es, básicamente, un indicador de la temperatura del aceite, pero con la diferencia que se le ha adicionado una resistencia eléctrica para calentamiento. También utiliza el principio de la expansión del líquido en función de los cambios de temperatura

Este instrumento tiene las siguientes características:

Dimensiones exteriores.- De 254x190x95 mm.

Rango de temperatura.- De 0 - 120 °C.

Elemento sensor.- De material bronce de dimensiones standard 0.5" Ø ext. x 3.720".

Contactos.- De mercurio que abren y cierran, con ajuste principal entre 30% y 100% de la escala máxima y ajuste diferencial entre 5% y 75% de la máxima escala. Actúan para 150 VA y 250 Vac.

Fuelles.- De 0.750" Ø ext. x 23 vueltas.

Precisión.- De \pm 1% de la máxima escala.

Resistencia de calefacción.- De 6.5 \pm 0.1 ohms; para corriente máxima de 1.5 Amps.

Entre las partes constitutivas de este instrumento tenemos:

La cavidad llena de aceite o pozo termométrico (elemento sensor).

Conducción flexible. (tubos capilares).

Fuelle de medida.

Fuelle de compensación

Transmisión

Resistencia de calentamiento

Resistencia de calibración

Conductores de conexión eléctrica

Aguja indicadora

Plato movable.

Contactos de mercurio.

Borneras.

El indicador de la temperatura del arrollamiento (ver plano EM-020, fig 2), a diferencia del indicador de la temperatura del aceite, cuenta con una resistencia de calentamiento (6), que es recorrida por una corriente proporcional a la corriente de carga del transformador de potencia. Mediante conductores (8) esta resistencia se conecta a las borneras (13) que son resistentes al calor y a la humedad.

La resistencia de calentamiento se encuentra conectada en shunt con una resistencia de calibración (7) y ambas son alimentadas por un transformador de intensidad instalado en el circuito de la corriente de carga del transformador de potencia. De esta forma la elevación de temperatura de la resistencia de calentamiento se corresponde con la elevación de temperatura del devanado respecto de la temperatura del aceite. De otro lado, el elemento sensor está en la capa del aceite más caliente del transformador, por lo que detecta la temperatura de esa capa superior del aceite. De tal manera que sobre el fuelle de medida actúan la elevación de temperatura de la resistencia de calentamiento, que se corresponden con la elevación de temperatura del arrollamiento, y la temperatura de la capa superior del aceite. En consecuencia el instrumento marca la temperatura en el punto más caliente del arrollamiento.

Este instrumento está provisto de tres

contactos de mercurio que pueden ajustarse en forma totalmente independiente unos de otros. (19), (20) y (21).

4.1.3 Instalación de los indicadores de temperatura.

Estos instrumentos son robustos y a prueba de intemperie, diseñados y construidos para larga duración con funcionamiento sin trastornos en todas las condiciones que puedan presentarse; en el plano EM-020, fig. 3, podemos apreciar la instalación de ambos instrumentos.

El tubo capilar deberá ser desenrollado con mucho cuidado para evitar que se rompa o doble y asegurarse por medio de grapas con el tanque a lo largo de toda su longitud, a intervalos de 300 mm.

El bulbo o elemento sensor será instalado en la tapa del transformador, en donde la temperatura resulta representativa para el proceso; la cavidad en donde se instala este bulbo deberá ser llenada con aceite para crear la suficiente transmisión de calor. La caja del instrumento deberá ser montada sobre una estructura no vibratoria.

Cada contacto puede ajustarse individualmente, y para lo cual está provisto de una escala. Debemos comprobar que se obtenga contacto girando cuidadosamente el plato giratorio, que contiene estos contactos, de modo que el

indicador de temperatura se mueva hacia los valores más altos de la escala.

4.2. Relé Buchholtz.

La protección térmica de transformadores de mediana y gran potencia con dispositivos de expansión (conservador de nivel de aceite) también se efectúa con relé a gas. Este relé es utilizado ampliamente como uno de los elementos más activos de protección de transformadores.

La idea del relé a gas, conocido comunmente como relé Buchholtz, se basa en el hecho de que cualquier accidente que ocurra en el interior del transformador está precedido por una serie de fenómenos sin gravedad, a veces imperceptible, pero que a la larga conducen a la destrucción del transformador, como son los sobrecalentamientos que actúan destructivamente sobre el aislamiento de la parte donde este se produce; como resultado de ello aparecen ciertas cantidades de productos de desintegración gaseosos originados por la vaporización del aceite, que se desprende con mayor o menor velocidad según la intensidad del proceso térmico. El gas formado asciende y sale al aire através del conservador de aceite. En el recorrido del gas, entre la tapa del tanque y el condensador de aceite del transformador, se instala el Relé Buchholtz.

El color de estos gases da una buena indicación sobre el lugar en donde se ha producido el defecto, como por ejem:

- Gases de matíz claro, indican que proceden de la destrucción de papel.
- Gases de matíz amarillo, proceden de la deteriorización de piezas de madera.
- Gases negros o grises, proceden de la descomposición del aceite.

Sin embargo, la naturaleza de la falla sólo puede precisarse mediante un análisis de los componentes del gas, cuyos resultados por lo general indican:

- La presencia de arcos através del aceite entre partes constructivas del transformador.
- La presencia de arcos con destrucción de aislantes.
- La presencia de un punto caliente en un arrollamiento.

Este relé también actúa cuando el nivel de aceite disminuye por fugas en el tanque del transformador.

4.2.1 Características.

El relé a gas es construido de fusión de aluminio resistente a la corrosión y humedad: las partes constitutivas de este instrumento se pueden apreciar en el plano EM-030, fig. 1, y son las siguientes:

- Una válvula para descarga del gas.
- Una válvula para prueba neumática de los circuitos de alarma y desconexión, con

tapón de cierre.

- Un dispositivo para prueba mecánica de los circuitos de alarma y desconexión, con tapón de cierre.
- Una caja de bornes hermética con cuatro aisladores de nylon para los circuitos eléctricos internos; 1 - 2 desconexión, 3 - 4 alarma.
- Un tapón de vaciado del aceite (ubicado en la parte inferior).
- Dos flotadores con sus respectivos interruptores magnéticos de 24-220 Vca. y 0.5 A.

En el relé se encuentra marcada una flecha que indica la dirección para el montaje adecuado (desde el tanque al conservador) y que permitirá el eficiente funcionamiento de los interruptores magnéticos, los que actuarán como se indica:

El interruptor de alarma actúa:

- Con volúmen de gas de 250 cm^3 al interior del relé.
- Con disminución del volúmen de aceite al interior del relé de 250 cm^3 .

El interruptor de desconexión actúa:

- Después del funcionamiento del contacto de alarma al aumentar la cantidad de gas y

disminuir el volúmen de aceite.

- Cuando la velocidad del flujo de aceite entre el tanque y el conservador supera los 100 centímetros por seg.

4.2.2 Funcionamiento .

El relé Buchholtz es un aparato compacto de poco volúmen provisto de bridas de empalmes con sus respectivas válvulas de entrada y salida.

Lleva dos flotadores, uno de alarma y otro de desconexión, y un receptáculo de los gases contenidos en el aceite; una mirilla colocada en el receptáculo permite examinar el gas y determinar la naturaleza del defecto, por el color y la cantidad de este. Una válvula de purga permite recoger este gas acumulado para posteriormente ser analizado.

El flotador de alarma se encuentra en el plano superior del relé y su posición dependerá del nivel de aceite en el receptáculo, mientras que la posición del flotador de desconexión, que se encuentra en el plano inferior del relé, dependerá de la intensidad del flujo de gas y aceite que circula del tanque al conservador.

Por la característica de instalación y operación este dispositivo es capaz de capturar cualquier burbuja que asciende al conservador y ser así el elemento más eficaz

para detectar fallas que escapan a la sensibilidad de otros elementos de protección.

4.3 Relé de Protección del Conmutador Bajo Carga.

Por ser el conmutador bajo carga un elemento importantísimo para el eficiente funcionamiento del transformador, es que se ha ideado un elemento de protección adecuado cuya finalidad es prevenir y detectar cualquier avería dentro de este conmutador: ver plano EM-030, fig. 2.

4.3.1 Características.

- Relé de protección para montaje en intemperie: mando del relé por clapeta con orificio de 7 mm. de diametro.
- Se produce el funcionamiento del relé, cuando la velocidad del flujo de aceite del conmutador al conservador es de 1 m/seg \pm 20%.
- Contacto de cierre de 24-250 Vca y 3 Amperios.
- Botón pulsador de desconexión (la plaqueta queda en posición oblicua).
- Botón pulsador de rearme (la clapeta queda en posición vertical).
- Montaje con 2° de inclinación con respecto a la horizontal, los botones pulsadores hacia arriba y la flecha de la caja debe

dirigir hacia el conservador de aceite.

4.3.2 Funcionamiento.

El Relé de Protección es similar al Relé Buchholtz (constructivamente) pero a diferencia de este, permite la libre evacuación de los gases producto de las conmutaciones bajo carga nominal o bajo carga admisible.

Está constituido por una caja de aluminio compacto resistencia a la corrosión provista de bridas para el acoplamiento de las tuberías de unión, por una parte con la cabeza del conmutador y por la otra con el conservador de aceite.

En su caja de bornes hay dos botones pulsadores destinados uno a controlar el buen funcionamiento del aparato y otro para su rearme, también cuenta con bornes de conexión del interruptor normalmente abiertos. El órgano activo del relé comprende una CLAPETA con orificio y un imán permanente; este asegura el funcionamiento del contacto auxiliar y el mantenimiento de clapeta en posición rearme.

El funcionamiento se produce solamente ante la circulación en su interior de un flujo de aceite a determinada velocidad. Este

flujo empuja la clapeta y la hace bascular en posición DESCONEXION. El relé debe ser conectado de tal forma que su funcionamiento provoque la desconexión inmediata del transformador.

4.4 Transformadores de Corriente.

Los transformadores de potencia cuentan con transformadores de corriente instalados en el interior e impregnados con el aceite aislante de éste y cuyos terminales se comunican al exterior por medio de borneras especialmente diseñadas para este fin.

Los transformadores de corriente tienen dos funciones importantes:

- a. Aislar los circuitos de control y medida de los circuitos de potencia de alta tensión, proporcionando protección para los equipos de control y medida, así como para los operarios que deben trabajar con ellos.
- b. Reducir las grandes corrientes nominales de los circuitos de potencia modernos a una base común, permitiendo la normalización de la medida en 5 Amperios. Estos valores de corriente reducidos deben ser tomados proporcionalmente a los valores de corriente del circuito primario para asegurar así exactas mediciones y apropiadas operaciones de los relés.

Los transformadores de corriente por lo general se dividen, de acuerdo a su servicio, en:

transformadores de corriente de medida y transformadores de corriente de protección. Dado que los transformadores de medida son utilizados para medir directamente los valores de corriente y potencia, es muy importante que tanto los errores de ángulo de fase y de relación se minimicen. Los transformadores para servicio de protección son utilizados para operar relés en circuitos de protección y control, y para tales aplicaciones los errores mencionados pueden ser tolerados.

4.4.1 Características.

Han sido instalados transformadores de corriente de medida y de protección tanto en el lado de baja tensión como de alta tensión del transformador de potencia, dispuestos, uno de protección y uno de medida en cada fase; la fase "v" de baja tensión cuenta con un transformador de medida más que alimenta al relé de imagen térmica, ver plano EM-040.

En alta tensión tenemos:

- Tres transformadores de medida de las sig. características:

rt: 100 -50/5 Amp.; 30 VA, CL 1, 60 c/s;
Iterm/Idinam,: 5/12.5 KA.

- Tres transformadores de protección de las sig. características:

rt: 100 -50/5 Amp.; 80 VA, 5 P 10, 60 c/s;
Iterm/Idinam,: 5/12.5 KA.

En baja tensión tenemos:

- Tres transformadores de medida de las sig. características:
rt: 500 - 250/5 Amp.; 30 VA, CL 1, 60 c/s;
Iterm/Idinam.: 50/125 KA.

- Un transformador de medida (fase v) de las sig. características:
rt: 500/5 Amp.; 20 VA, CL 1,60 c/s;
Iterm/Idinam.: 50/125 KA.

- Tres transformadores de protección de las sig. características:
rt: 500 - 250/5 Amp.; 80 VA, 5 P 10;
60 c/s, Iterm/Idinam.: 25/62.5 KA.

4.5 Válvula de Sobrepresión.

La válvula de sobrepresión es un dispositivo para desfogar de presión que juega un rol importante en la protección de transformadores de potencia.

Si en el transformador ocurriera una falla o cortocircuito se producirá un arco que instantáneamente vaporizará al aceite, causando un rápido crecimiento de la presión de los gases. Si la presión no es rebajada adecuadamente dentro de unos milésimos de segundo, el tanque del transformador reventará esparciendo el aceite inflamado sobre una amplia área. El daño y la posibilidad de riesgo de incendio en consecuencia son obvias, y es imperativo que se toman medidas para prevenir ello.

Nuestro transformador de potencia utiliza una

válvula de sobrepresión, diseñada de tal manera que la detección y desfogue del incremento de presiones peligrosas son efectuadas inmediatamente, ocurriendo la apertura total de la válvula dentro de 2 milisegundos.

4.5.1 Características.

- La válvula de sobrepresión debe ser montada en posición horizontal.
- La presión de apertura es de 10 ± 1 psi.
- Cuenta con interruptor de alarma monofásico de dos contactos, con rearme manual, para 15 A. y 250 Vac.

Contacto No. 1 normalmente cerrado.

Contacto No. 2 normalmente abierto.

4.5.2 Funcionamiento.

La válvula de sobrepresión es esencialmente una válvula de resorte, teniéndolo como único medio de proveer la amplificación instantánea de la fuerza actuante; ver plano EM-030. fig. 3.

La unidad es montada en la tapa del transformador de potencia por medio de orejas en la brida (12), con su respectiva empaquetadura (13). El disco de la válvula (14) es presionado por el resorte (18) y así sellado por las empaquetaduras (15) y (16). La operación de la válvula se efectúa cuando

la presión actúa contra el área definida por la empaquetadura en anillo (15) excediendo la presión de apertura para los resortes (18). Como el disco (14) se mueve ligeramente hacia arriba, entonces la presión del transformador rápidamente será expuesta al área del plato delimitado por el diámetro de la empaquetadura (16), resultando una fuerza muy grande y causando inmediatamente la apertura total de la válvula con la consiguiente compresión del resorte (18).

La presión del transformador es rápidamente reducida a los valores normales y el resorte (18) regresa a su posición inicial de cierre de válvula. Un pín de color claro (19) se moverá durante la apertura de la válvula, saliendo por un agujero situado en la cubierta de la válvula (17); este pín es claramente visible desde una gran distancia, indicando que la unidad ha funcionado, una vez pasada la sobrepresión este pín debe ser introducido manualmente. En la cubierta se encuentra, además, un interruptor alarma (20) que se conecta a un elemento de señalización, el cual actúa en el momento que la válvula abre, y que tiene una palanca (21) para rearme.

Se recomienda utilizar una válvula de sobrepresión de este tipo, cuando el transformador sea de más 5000 KVA de potencia.

4.6 Conservador e Indicador de Nivel de Aceite.

El conservador también puede considerarse como un elemento de protección incorporado ya que sirve para eliminar el contacto directo del aceite caliente, en el tanque del transformador, con el aire húmedo del medio ambiente a fin de evitar una oxidación intensa, y dándole al mismo tiempo la posibilidad de dilatarse. Por lo general es un recipiente de forma cilíndrica y ubicado sobre el tanque del transformador, a lo largo de su parte estrecha, comunicándose entre sí por medio de un tubo ligeramente inclinado con la horizontal. En transformadores con conmutador bajo carga, el conservador cuenta con dos compartimientos que separan el aceite que va al tanque del transformador de el aceite que va al conmutador bajo carga.

El conservador debe tener suficiente capacidad como para garantizar la presencia permanente de aceite en el transformador, bajo cualquier régimen y temperatura de funcionamiento.

El indicador de nivel de aceite es un elemento de protección incorporado que se utiliza para controlar la presencia de aceite en el conservador y que se encuentra ubicado en la pared lateral del mismo; en caso de tener dos compartimientos se instala un nivel de aceite en cada uno de ellos. Son del tipo flotador con indicador de dial; ver plano EM-030, fig. 4.

El control de nivel se efectúa mediante un sistema

flotador que está conectado magnéticamente con la aguja del indicador de dial; está provisto de dos contactos normalmente abiertos de 250 VAc.- 0.5 A, que cierran al nivel máximo y al nivel mínimo. Para ser más visible la lectura, el dial tiene un cuadrante de color blanco que indica el nivel alcanzado y que se desplaza sobre un fondo de color rojo.

4.7 Deshumecedor.

El deshumecedor es un recipiente que contiene unos granos denominados silicagel, cuya función es absorber la humedad del aire que ingresa através de el al conservador.

En el conservador de nuestro transformador de potencia se instalaron dos deshumecedores, por medio de un tubo vertical, uno para cada compartimiento, como podemos apreciar en el plano EM-010, pos. 11 y pos. 12.

Son contruidos de material inoxidable y los granos de silicagel tienen una alta capacidad de absorción de la humedad, normalmente son de color azul pero que al absorber la humedad toman una coloración rosada.

4.7.1 Características.

Tipo V4 de 0.500 kg. de silicagel, para el aceite del conmutador bajo carga.

Tipo V5 de 1.000 kg. de silicagel; para el aceite del transformador de potencia.

4.8 Electroventiladores.

Las pérdidas de dispersión del núcleo y las pérdidas de los arrollamientos durante el funcionamiento del transformador de potencia se convierten en energía térmica y por consiguiente en calentamiento, dicho calor se dirige desde el lugar de origen a las zonas en donde puede ser transferido al medio refrigerante.

Los transformadores, por esta razón, se diseñan y fabrican para trabajar con diferentes tipos de refrigeración, como son:

- a) Con refrigeración natural en baño de aceite
- b) Refrigeración forzada por aire.
- c) Circulación forzada del aceite con enfriamiento de este por medio de refrigerantes de aire o de agua.

La refrigeración natural en baño de aceite es empleada para transformadores de distribución, sean estos de paredes lisas o de tubos adosados. Mientras que las refrigeraciones tipo (b) y (c) son utilizadas en transformadores de potencia, pero con el inconveniente en el tipo (c) de que se requiere la instalación de equipos adicionales y sofisticados que permitan la circulación de aceites a determinada velocidad.

La refrigeración forzada por aire utiliza electroventiladores, que se incorporan a los radiadores del transformador. Al aumentar la velocidad del aire que barre las superficies de

refrigeración mejora la convección y con ello la capacidad de disipación de calor. Por lo general, la ventilación forzada se pone en marcha automática cuando la temperatura alcanza un determinado valor, mientras no se dé, los electroventiladores se mantienen parados a fin de evitar un consumo inútil de energía. La adición de estos constituye un recurso ulterior para seguir manteniendo en servicio un transformador, que por el crecimiento del consumo ha pasado a trabajar con sobrecarga, ya que con la refrigeración forzada por aire se pueden alcanzar incrementos sobre la potencia nominal de un transformador de hasta 25%. Cabe mencionar, que los transformadores por el tipo de refrigeración son denominados según unas siglas que se dan a continuación en la tabla 4.01.

TABLA: 4.01

SIGLAS PARA EL TIPO DE REFRIGERACION

REFRIGERANTE		CIRCULACION REFRIGERANTE	
Especificación	sigla	Especificación	Sigla
Aceite Mineral	O	Convección natur.	N
Líquido no Infla.	L	Circulación Forz.	F
Cas.	G		
Agua.	W		
Aire.	A		

La denominación obedece al orden de las letras; según tabla 4.02

TABLA: 4.02

DENOMINACION SEGUN EL TIPO DE REFRIGERACION

INTERIOR		EXTERIOR	
1	2	3	4
Refrigerante	Circulación	Refrigerante	Circulación
-			

Ejemplo: O N A N

Significa, refrigeración interior en aceite a convección natural y refrigeración exterior en aire con circulación natural.

Nuestro transformador de potencia está diseñado y fabricado para trabajar con refrigeración ONAF.

Para ello cuenta con los elementos necesarios para la instalación de diez electroventiladores DELCROSA de 500 m³/hora, equipados con motor trifásico de 380/220 V - 0.6 Hp - 1700 rpm., que serán montados en la parte inferior de los radiadores para impulsar el aire frío hacia la parte superior de los mismos.

4.9 Tablero General Incorporado.

El tablero general incorporado para instalación exterior recibe y alimenta a los diferentes circuitos de los elementos de protección incorporados del transformador de potencia, ver plano EM-040.

También alimenta al tablero del mando a motor del

conmutador bajo carga, tanto a su circuito de fuerza como de protección. Todos estos elementos se conectan a las borneras del tablero.

La tensión de alimentación es de 220 V - 60 Hz trifásica.

CAPITULO V

ELEMENTOS DE CONMUTACION Y REGULACION DE TENSION BAJO CARGA

Los elementos de conmutación y regulación de tensión bajo carga en un transformador de potencia son aquellos que permiten un eficiente funcionamiento de este ante variaciones de tensión y carga en la red. Ellos son: El Conmutador Bajo Carga y el Regulador Automático de Tensión.

Las características y principio de funcionamiento de cada uno de estos elementos serán expuestos en detalle a continuación.

5.1 El Conmutador Bajo Carga.

El conmutador bajo carga se destina a transformadores de potencia y sirve para variar la relación de transformación bajo carga. Estos conmutadores cumplen con características de máximo aislamiento posible contra tierra. Por otra parte, la disposición de las distancias de aislamiento y la aplicación del principio de selección de carga con la conexión rápida desarrollada por el Dr. Jansen, conocida y acreditada en la práctica desde 1926, permiten obtener un conmutador en un recipiente particularmente pequeño y cerrado que resulta extraordinariamente ventajoso para estos

transformadores, por regla general se montan sumergidos en el tanque del transformador.

El conmutador bajo carga de construcción tubular y lleno de aceite trabaja como un conmutador selector. La cabeza del conmutador se encuentra fijada a la tapa del transformador y contiene los elementos de accionamiento más importantes, así como el indicador de posición de servicio. Los órganos de accionamiento sólo pueden ser vistos estando abierta la tapa de la cabeza del conmutador, mientras que el indicador de posición se ve a través de una mirilla aunque esté puesta la tapa del mismo. Un relé de protección se instala adicionalmente en la cabeza del conmutador como dispositivo eléctrico de control y seguridad.

La longitud del conmutador está determinada por la tensión en serie, por el número de polos y por el inversor.

5.1.1 Características Técnicas.

Nuestro transformador de potencia cuenta con un conmutador bajo carga de 19 posiciones, 60 Kv y 350 Amp. de las siguientes características:

Construcción: Montado en forma sumergida en el tanque del transformador, selector de carga en cámara de aceite propia, separado del aceite del transformador.

Aplicación: Tipo VIII 350Y como conmutador de tomas de regulación tripolar (con punto

neutro) para transformadores trifásicos.

Corriente Nominal: Ejecución tripolar 350 Amperios.

Resistencia al Cortocircuito:

Térmico : 5 KA (valor eficaz), duración 3 seg.

Dinámico : 12.5 KA (valor pico).

Potencia de Maniobra : 525 KA

Tensión por escalón : 1500 Voltios

Frecuencia : 60 Hz.

Aislamiento : Contra tierra para tensiones de 60 Kv.

Tensión Máxima de Servicio : 72.5 Kv.

Tensión de Impulso : 350 KV

Tensión Aplicada : 140 Kv.

Accionamiento a motor: En ejecución normal, que puede ser puesto en marcha por medio de pulsadores tanto desde la caja de accionamiento como desde el centro de mando. En caso de urgencia puede efectuarse el accionamiento a mano por medio de una manivela. Tiene indicador de posiciones a distancia.

5.1.2 Elementos Constitutivos.

El conmutador bajo carga está constituido por los siguientes elementos:

- Recipiente de aceite del conmutador
- Cuerpo insertable
- Mando a motor.

5.1.2.1 Recipiente de Aceite del Conmutador.

El conmutador bajo carga se halla dispuesto dentro de un recipiente de aceite, protegido contra el paso de gotas, que está constituido por un cilindro de excelentes propiedades tanto eléctricas como mecánicas; ver plano EM-050, fig 3. De este modo, el aceite de conmutación queda separado del aceite del transformador, hallándose en contacto con este último, que es de la misma clase, sólo por medio del conservador de aceite del transformador. Este aceite de conmutación se mantiene separado debido a la contaminación producida por los arcos voltaicos.

El compartimiento de aceite, por su parte superior está unido a la cabeza del regulador y por la inferior queda cerrado por su propia brida del fondo. La brida del fondo se utiliza, además, para el centrado y apoyo del eje de accionamiento.

Los contactos fijos tanto del Ruptor Selector como del Inversor están dispuestos en varios niveles en el interior del compartimiento de aceite

y conectados a los terminales exteriores. Estos contactos alimentadores están sellados convenientemente con el objeto de obtener una excelente hermeticidad en el proceso de secado.

Pantallas deflectoras en cada uno de los terminales exteriores, anillos antiparasitarios del ruptor en el interior del compartimiento de aceite y las excelentes propiedades dieléctricas del material del cilindro, dotan al conjunto de una gran robustez eléctrica y una distribución homogénea de campos eléctricos.

La conexión del conmutador bajo carga al conservador de aceite asegura que el recipiente de aceite del conmutador siempre esté completamente lleno.

5.1.2.2 Cuerpo Insertable.

El Ruptor Selector y el Inversor forman junto con los órganos de accionamiento del conmutador bajo carga un elemento insertable; denominado Cuerpo Insertable; ver plano EM-050, fig 1; y cuyas partes más importantes son las siguientes:

a. Cabeza del Regulador.- En ella se

encuentra el mecanismo de accionamiento que es el encargado de realizar mecánicamente el movimiento del eje de accionamiento del Ruptor Selector y del Inversor, todo esto montado sobre una placa base.

El mecanismo de accionamiento consta del muelle del acumulador de energía, que está unido por un extremo a la brida del conmutador y por el otro a la biela de accionamiento de la cruz de malta. La cruz de malta es un elemento similar a un engranaje y cuyo número de pasos es función del número de contactos del Selector.

Otra posición es conseguida mediante un giro de 180° que simultáneamente acciona a una segunda rueda de malta, encargada de transmitir el movimiento correspondiente al disco indicador de posiciones y al eje de accionamiento del Inversor. El engranaje superior está fijado al mecanismo de accionamiento por medio de un pasador de acoplamiento; el Inversor actúa por la acción de una horquilla desembragable.

b. Ruptor Selector.- El ruptor selector está montado sobre un eje de accionamiento, el que está unido por su parte superior al mecanismo de engranaje y por su parte inferior al cojinete de centraje existente en el fondo del compartimiento de aceite; ver plano EM-050, fig. 1. Los elementos de conmutación se encuentran montados directamente sobre el eje de accionamiento y están situados en el mismo nivel que los contactos fijos del compartimiento de aceite. Cada elemento está constituido por 3 contactos rodillos interrupción (11), cuya función es durante la conmutación la de contacto principal y auxiliar respectivamente (estos contactos son de cobre tungsteno).

La distancia entre los contactos rodillos de interrupción es tal, que puentean a los dos contactos fijos adyacentes durante el cambio de toma. Al aumentar la distancia de arco entre los contactos de interrupción fijos y móviles, los contactos de rodillo van deslizándose por el anillo circular accionado por la leva con resalte del soporte del contacto fijo.

Adicionalmente a estos se tienen 2 contactos de rodillo de cobre, instalados por debajo de los contactos de interrupción, uno de los cuales opera como contacto shunt (12) y el otro como contacto de salida (15) através del anillo colector. Ambos contactos están sometidos a la corriente de paso. Los conmutadores de alta capacidad de corte tienen cada contacto auxiliar conectado a una resistencia de paso o transitoria (principio de división de corriente).

c. Resistencias Transitorias.

Van montadas sobre soportes de resina epoxi y están formados por conductores de aleación al cromo níquel, aleación sumamente resistente a las altas temperaturas; los contactos rodillos de interrupción van instalados conectados a las resistencias transitorias o contacto shunt por medio de conexiones flexibles.

El aceite colindante actúa como excelente agente de refrigeración, por lo que el material de la resistencia alcanza una

temperatura inferior a la del aceite durante los cortos periodos de actividad, aún en el caso de conmutaciones seguidas.

d. Inversor.

Está montado sobre una pieza de soporte que es concéntrica exteriormente con el eje de accionamiento del ruptor selector, y su movimiento es independiente de este.

Es un elemento muy simple y compacto, puesto que el contacto central del inversor es fijo y los otros dos contactos del mismo, sean para sumar o restar tomas, están alternativamente en contacto.

5.1.2.3 Mando a Motor .

Los conmutadores bajo carga son accionados por un elemento externo al transformador, denominado mando a motor, ubicado en el costado corto del tanque y que está constituido por una cabina de metal ligero que lleva en su interior los elementos necesarios para este propósito.

El mando acciona al conmutador através de un eje vertical que sube hasta el reenvío de ángulo y se

conecta con la cabeza del conmutador por medio de un eje horizontal, ver plano EM-060.

El mando a motor cuenta con los siguientes elementos mecánicos y eléctricos:

a. Elementos Mecánicos.

Cabina.- La cabina consiste en dos partes, la caja y la tapa, ambas moldeadas de aleación ligera inoxidable.

Los orificios para salida del eje de accionamiento, mirilla, manivela y pulsadores están protegidos de forma que la cabina resulta estanca al agua.

En el fondo hay tres placas desmontables para colocación de pasacables.

Indicador de Posiciones.- Indicador mecánico de posiciones del ciclo de conmutación mediante corona indicadora de 30 divisiones.

Reductor de Velocidad.- El reductor está formado por el reductor principal y el reductor de control.

El reductor principal se encarga de accionar el Conmutador bajo carga.

El reductor de control comprende un disco de leva para accionar los interruptores de leva, la corona indicadora de conmutación y el indicador mecánico de posiciones.

Manivela.- La manivela con empuñadura aislante, se utiliza para ajuste y servicio de emergencia.

Contador.- El contador mecánico indica el número de maniobras efectuadas, para su lectura no es necesario abrir la cabina.

b. Elementos Eléctricos.

Motor Trifásico.- De 220/380 V, 1.52/0.88 A, 220 Watts, 60 Hz, 1380 rpm.; aislamiento de 25 Kv durante 60 seg. y tiempo de funcionamiento por conmutación de 30 seg.

Control Eléctrico.- Funcionamiento paso a paso, la duración del funcionamiento está controlado por una leva que da una vuelta por conmutación.

Mando local por pulsadores y mando a distancia tanto por pulsadores o por regulador automático de tensión.

Dispositivos de Seguridad.- Que son:

- * Contacto eléctrico de fin de carrera.
- * Interruptor de protección del motor con conexión para control remoto (pulsador de disparo de emergencia).
- * Arranque automático después de una caída momentánea de la tensión de control.
- * Conexión de seguridad para evitar inversión de fases y paso intempestivo de posiciones.
- * Interruptor de bloqueo que corta la alimentación del motor al colocar la manivela de accionamiento manual del mando a motor.
- * Lámpara de señalización de disparo del interruptor de protección.

Indicación de posiciones.- Cuenta con corona de contactos potenciométrica para instrumentos de bobina cruzadas ó corona de

contactos continua para cuadro de lámparas.

Los circuitos Eléctricos de estos elementos los podemos ver en el plano EM-070, y sus características técnicas son:

H₁: Lámpara indicadora de disparo del guardamotor (a₁) "desconectado", instalado en el mando a motor.

H₂: Lámpara indicadora de disparo del guardamotor (a₁) "desconectado", instalado en el panel de control.

H₃: Lámpara indicadora de la marcha del motor (m₁).

c₁: Contactor principal del mando a motor "bajar tensión" (hacia posición de servicio 19). El motor gira en un sentido, tripolar con contactos auxiliares 2NA + 2NC.

c₂: Contactor principal del mando a motor "subir tensión" (hacia posición de servicio 1), el motor gira en sentido contrario, tripolar con contactos auxiliares 2NA + 2NC.

d_{17} : Relé para maniobra paso a paso con contactos auxiliares 4NA + 4NC.

m_1 : Motor de accionamiento, jaula de ardilla de 220 v- 3 ϕ

a_1 : Interruptor termomagnético de protección del motor, tripolar con contactos auxiliares 1NA + 1NC, la bobina de disparo puede excitarse a distancia.

r_1 : Resistencia de calefacción de aprox. 1600 ohm.

b_1 : Pulsadores de mando "bajar tensión" con contactos auxiliares 1NA + 1NC.

b_2 : Pulsadores de mando "subir tensión" con contactos auxiliares 1NA + 1NC.

b_3 : Igual que b_1 pero instalado en el panel de control.

b_4 : Igual que b_2 pero instalado en el panel de control.

b_5 : Pulsador de disparo de interruptor de protección del motor a_1 con contactos 1NA + 1NC.

- b_9 : Igual que b_5 pero instalado en el panel de control.
- b_6 : Interruptor de fin de carrera para c_2 , en la posición 19; 3 ϕ - 220 V.
- b_7 : Interruptor de fin de carrera para c_2 , en la posición 1; 3 ϕ - 220 V.
- b_8 : Interruptor de bloqueo, por introducción de manivela, tripolar 220 V.
- b_{12} : Contactor de mando de levas (inversores bipolares) "subir" con contacto inversor 1NA + 1NC.
- b_{14} : Contactor de mando de levas (inversores bipolares) "bajar", con contacto inversor 1NA + 1NC.
- b_{38} : Corona potenciométrica para instrumento de bobinas cruzadas de 5 ohm. por escalón según el número de posiciones.

5.1.3 Descripción del Conmutador Bajo Carga.

El conmutador bajo carga cuenta con elementos de conexión eléctrica denominados contactos, los que se encuentran distribuidos en la

periferie de este a diferentes niveles o planos y que permiten conectar las tomas tanto del arrollamiento principal como del arrollamiento de Regulación de Alta Tensión.

En el plano EM-050, fig. 3, podemos apreciar que en la parte superior del conmutador bajo carga tenemos los contactos del inversor distribuidos en tres grupos, uno para cada fase, y ubicados a 120° uno de otro. Cada grupo a su vez está constituido por tres contactos que corresponden a los terminales (+), (-) y (o).

En los niveles inferiores siguientes encontramos los contactos del selector; cada nivel corresponde a una fase determinada y cuenta con diez contactos ubicados a 30° uno de otros en el perímetro del conmutador.

Existen dos niveles intermedios entre cada fase y en los cuales se encuentran los contactos de salida del punto neutro del conmutador.

5.1.4 Principio de Funcionamiento.

La función del conmutador bajo carga, como ya se ha explicado, es la de variar la relación de transformación sin interrumpir la corriente de servicio.

La operación del cambio de posición del conmutador se inicia al actuar el accionamiento a motor.

El par motor es transmitido al engranaje superior ubicado en la cabeza del conmutador. El mecanismo de accionamiento acoplado a este engranaje transmite este movimiento al acumulador de energía el cual realiza el cambio automáticamente.

El mismo mecanismo de accionamiento del acumulador transmite un movimiento de rotación através de un eje a una rueda de malta, que es la encargada de hacer girar al eje del ruptor selector el recorrido correspondiente a una posición.

El giro realizado por el eje del ruptor selector hace que el elemento de conmutación insertado en dicho eje se mueva desde un contacto fijo al próximo. Una vez finalizado dicho movimiento, la rueda de malta quedará bloqueada en esta posición. De esta forma el conmutador bajo carga ha alcanzado una nueva posición de servicio y el accionamiento a motor se detiene.

El conjunto Ruptor-Selector está diseñado como un interruptor giratorio de alta velocidad; el sistema de contactos del mismo opera según el ciclo de vaivén. El elemento de conmutación se desplaza desde un contacto fijo al siguiente próximo, por la rotación correspondiente a una posición del eje de accionamiento del ruptor selector.

Dos contactos exteriores de arco del elemento de conmutación están situados de tal forma que

durante el cambio de posición puentean a los dos contactos fijos correspondientes. Estos contactos rodillos hacen la función de contactos auxiliares mientras que el contacto rodillo central trabaja como contacto principal.

5.1.5 Secuencia de Operación.

El cambio de posición desde una toma a la siguiente, se realiza en siete etapas; las que explicaremos a continuación y que se muestran en la fig. 26.

En donde:

A,B :Contacto shunt ó contacto fijo de trabajo.

a,b :Contactos principales o de corte.

a_1, b_1 :Contactos auxiliares.

Ra, Rb :Resistencia de paso.

Ua, Ub :Tensiones en las tomas.

Ust :Tensión de escalón

I , U :Intensidad, Tensión de salida del conmutador.

Etapa 1:

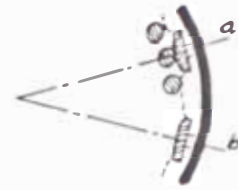
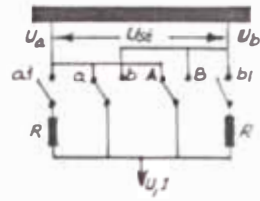
El contacto de rodillo shunt (A) está en contacto con el correspondiente contacto fijo y por el pasa la intensidad de servicio I.

Conexión.

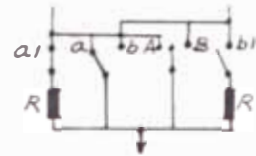
Diagrama vectorial.

Movimiento contactos.

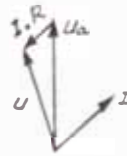
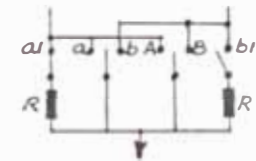
Etapa



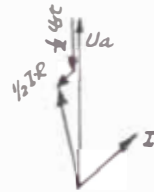
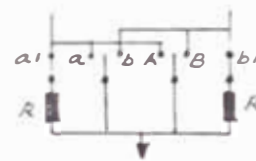
Etapa 2



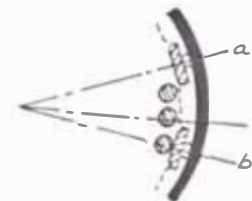
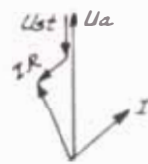
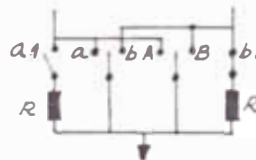
Etapa 3



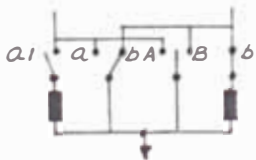
Etapa 4



Etapa 5



Etapa 6



Etapa 7

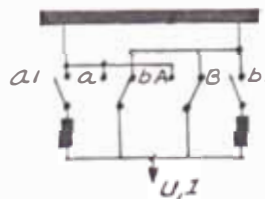


Fig : 26

Secuencia de operación del Conmutador.

Etapa 2:

El contacto de rodillo shunt (A) se desliza por el contacto fijo abriéndose (desconectándose); el contacto principal o de corte (a) está aún en el contacto fijo, el contacto auxiliar (a_1) cierra y la corriente I pasa por el contacto principal (a).

Etapa 3:

El contacto principal (a) se aleja del contacto fijo (abre) y es liberado por el resalte de leva de la pieza soporte del contacto fijo, ocasionando un arco que se extingue en el primer paso de la corriente por cero. La tensión de restablecimiento (contra corriente de ruptura) $I \times R_a$ aparece en el contacto principal de corte (a), la intensidad I pasa através del contacto auxiliar (a_1).

Etapa 4:

El contacto auxiliar (b_1) alcanza al contacto fijo de la siguiente toma (cierra). La corriente de circulación I_K através de los contactos auxiliares (a_1) y (b_1) está limitada por dos resistencias de paso R_a y R_b en serie:

$$I_K = \frac{U_{st}}{(R_a + R_b)} \quad (11)$$

La corriente de circulación al superponerse reduce la intensidad através del contacto auxiliar (b_1) y aumenta la intensidad I_{a_1} , através del contacto auxiliar (a_1):

$$I_{a_1} = \frac{I \times R_b + U_{st}}{(R_a + R_b)} \quad (12)$$

Donde $R_a = R_b$

Etapa 5:

El contacto auxiliar (a_1) abandona ahora el contacto fijo y es liberado por el resalte de leva. El arco originado se apaga al primer paso por cero de la intensidad. Aparece en (a_1) y en el contacto fijo una tensión de restablecimiento:

$$I \times R_b + U_{st} \quad (13)$$

Etapa 6:

El contacto principal de corte (b) alcanza al contacto fijo y toma la corriente de carga I.

Etapa 7:

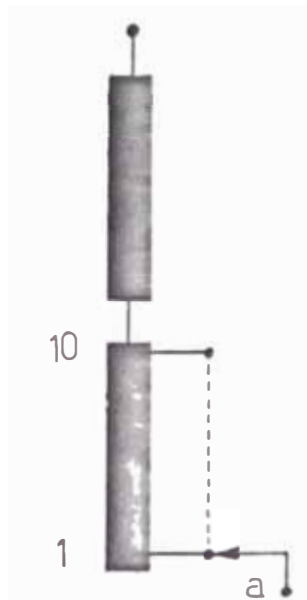
El contacto de rodillo shunt (B) alcanza al contacto fijo y porta la corriente de carga I. El cambio de posición ha sido completado.

5.1.6 Conexiones Básicas.

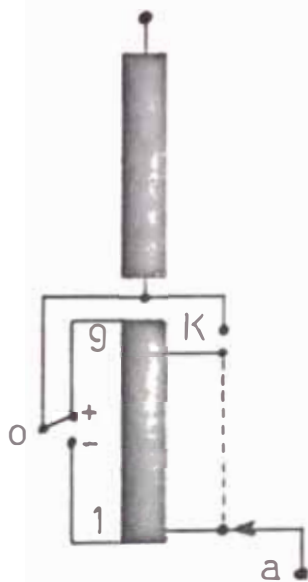
Existen tres tipos de conexiones básicas, ver fig. 27, y son:

a. Regulación Lineal de Tensión.

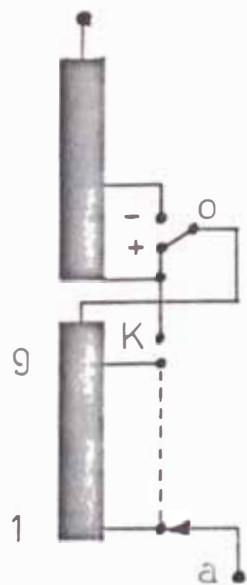
Con esta conexión solamente agregamos escalones del arrollamiento de regulación fino, 9, 11, 13, 15 ó 17 escalones, al



a) Regulación Lineal de Tensión.



b) Regulacion con Inversor.



c) Regulación con Selector de Escalón Basto.

Fig: 27

Conexiones Básicas del Conmutador Bajo Carga.

arrollamiento principal y obtenemos 10, 12, 14, 16 ó 18 posiciones en el conmutador bajo carga.

b. Regulación con Inversor (\pm).

Con esta conexión se puede duplicar el número de escalones del arrollamiento de regulación fino, es decir ± 9 , ± 11 , ± 13 , ± 15 ó ± 17 escalones, por medio de un inversor, que hace sumar o restar escalones al arrollamiento principal y obtener así 19, 23, 27, 31 ó 37 posiciones en el conmutador bajo carga.

c. Regulación con Selector de Escalón Basto.

Con esta conexión también se puede duplicar el número de escalones del arrollamiento de regulación fino, por medio de un selector de escalón basto, que conecta el arrollamiento de regulación fino al principio o al final del escalón de regulación basto ubicado en el arrollamiento principal.

5.1.7 Instalación y conexionado del Conmutador Bajo Carga .

Nuestro transformador de potencia de 7 MVA cuenta con un conmutador bajo carga tipo VIII 350Y, 60 KV, 350 Amp. para 19 posiciones y regulación con inversor, fabricado por Maschinenfabrik Reinhausen; el cual está montado en la tapa del transformador y conectado con el arrollamiento de Alta Tensión.

5.1.7.1 Características del arrollamiento de Alta Tensión.

Considerando que nuestro transformador tiene las sig. características de diseño:

Voltaje A.T. : 58000+ 9 x 650 voltios

Voltaje B.T. : 10000 voltios

Conexión : Estrella Neutro/Triángulo.

Espiras A.T. : 644± 9 x 7

Espiras B.T. : 192

Entonces, para proporcionar una tensión de servicio constante de 10000 voltios ante una tensión de alimentación que puede fluctuar entre 58000+ 9 x 650 voltios, utilizamos la regulación de tensión con inversor que nos permite sumar o restar espiras y duplicar así el número de escalones del arrollamiento de regulación.

Contamos para ello con el arrollamiento de alta tensión que está compuesto de dos bobinas o arrollamientos, uno en cada fase, denominados : arrollamiento Principal y arrollamiento de regulación de escalón fino.

a. Arrollamiento Principal o Bobina Principal.- Es el arrollamiento que

recepiona la tensión nominal principal en el transformador, que es de 58000 v. Está constituido por 644 espiras de platina de cobre perfectamente aisladas y distribuidas simétricamente a lo largo de la columna, en sentido de bobinado derecho, y con sus respectivos terminales de entrada (principio de bobina) y salida (fin de bobina).

- b. Arrollamiento de Regulación de Escalón Fino o Bobina de Regulación.- Es el arrollamiento que nos proporciona la tensión por escalón, que será sumada o restada al arrollamiento principal, según varíe la tensión de servicio del transformador.

Como el rango de regulación es de $\pm 9 \times 650$ v., en donde cada escalón necesita de siete espiras para inducir 650 voltios, utilizamos una bobina de regulación de diez platinas en paralelo y siete espiras, con sus correspondientes terminales de principio y final de bobina. Cada principio con su correspondiente final determinan una bobina de siete espiras, y al ser conectados alternativamente entre ellos conforman la bobina de regulación con sus respectivas tomas o taps.

5.1.7.2 Conexionado del Arrollamiento de Alta Tensión con el Conmutador Bajo Carga.

El conmutador bajo carga está fijado por su cabeza con la tapa del transformador y ubicado al costado izquierdo del lado de alta tensión.

El arrollamiento principal y el arrollamiento principal del escalón fino se conectan al conmutador obedeciendo al diagrama de conexiones básicas correspondiente a regulación con inversor, como se muestra en el plano EM-060.

Los terminales del conmutador y del arrollamiento de regulación están designados de acuerdo al diagrama de conexiones básicas indicado.

Los terminales del arrollamiento de regulación han sido conectados entre si e identificados como se indica a continuación:

- Terminal superior No. 10
(principio de bobina) - sale como
No. (+)

- Terminal inf. No. 10 conectado con
sup. No. 9 - sale como No.
9.

- Terminal inf. No. 9 conectado
ccn sup. No. 8 - sale como
No. 8

- Terminal inf. No. 7 conectados
ccn sup. No. 6 - sale como No.
6

- Terminal inf. No. 6 conectado
ccn sup. No. 5 - sale como
No. 5

- Terminal inf. No. 5 conectado
ccn sup. No. 4 - sale como
No. 4.

- Terminal inf. No. 4 conectado
con sup. No. 3 - sale como
No. 3

- Terminal inf. No. 3 conectado
ccn sup. No. 2 - sale como
No. 2

- Terminal inf. No. 2 conetado con
sup. No. 1 - sale como
No. 1

- Terminal inf. No. 1 (fin bobina)
sale como No. (-).

El arrollamiento principal esencialmente cuenta con dos terminales: el de entrada o superior, que sale al exterior del transformador a través del aislador de alta tensión e identificado según la fase que corresponda, y el de salida o inferior, que se le designa como terminal (K) y va conectado al conmutador bajo carga.

El conmutador, como sabemos, cuenta con cuatro niveles de terminales en toda su longitud axial. En el nivel inferior se conectan los terminales de la fase U; en el nivel intermedio, los de la fase V y en el nivel superior, los de la fase W; al cuarto nivel, que se encuentra por encima de los anteriores, le corresponden los terminales (+), (-) y (0); el terminal (0) va conectado con el terminal (K) de la misma fase. en este cuarto -

nivel se encuentran los terminales para las tres fases.

Los terminales de punto neutro de cada fase son puenteados y conectados al exterior como borne neutro de alta tensión del transformador.

5.2 El Regulador Automático de Tensión.

En todos los sistemas de tensión de transformadores, tanto en los de maniobra en vacío como en los de regulación bajo carga, el cambio de tensiones se realiza a voluntad, con mando manual o por accionamiento a motor.

Sin embargo, unas veces por la importancia de la instalación y otras por las condiciones especiales de servicio, interesa conseguir mantener la tensión a un valor constante; lo que obliga a disponer de personal especializado en estas maniobras, pero sin conseguir, por otra parte, que se realicen con la debida rapidez y precisión.

En estos casos se recurre al empleo de un regulador automático de tensión, que se encarga de dar un impulso de control a la propulsión del mando motor del conmutador bajo carga de acuerdo con las condiciones de funcionamiento de la red, y para ello debe ser alimentado por un transformador de tensión y un transformador de corriente.

El impulso de control o señal se da cuando el voltaje controlado se desvía del voltaje programado,

esta desviación se llama "Sensibilidad".

El regulador automático de tensión posee un circuito de retardo ajustable mediante el que se reduce la influencia de variaciones de tensión de poca duración, aumentando la estabilidad del circuito regulador y evitando las conmutaciones innecesarias.

La tensión en el punto de consumo se puede mantener constante independiente de la carga (magnitud y desfaseamiento de la corriente) por medio del compensador de caída de tensión de línea, que permite reproducir en amplia escala la caída de tensión en una línea conectada entre el transformador y la carga.

5.2.1. Características Generales.

Comprende las características técnicas y las características del circuito.

5.2.1.1 Características técnicas.

Tensión Nominal o de Referencia.- Es la tensión que deseamos mantener constante.

- Ajuste Basto: Comprendido entre 95 y 130 v; ajustable en escalones de 5v cada uno.

- Ajuste Fino: Comprendido entre 0 y 5 v; ajustable en escalones de 1v cada uno.

Sensibilidad.- Es la diferencia entre la tensión real y la tensión nominal o de referencia, continuamente regulable entre $\pm 0.6\%$ y $\pm 6\%$ de la tensión nominal.

Tiempo de Retardo.- El regulador de tensión dispara solamente cuando la desviación de voltaje permanece por un tiempo determinado, llamado tiempo de retardo, y comprende:

- Tiempo de Retardo Constante: Es independiente de la magnitud y duración de la variación de la regulación; es continuamente ajustable desde 10 a 180 seg.
- Tiempo de Retardo Dependiente: Por medio de un integrador inversor, el acortamiento de retardo dependerá de la magnitud y duración de la variación de regulación. Esto significa que un cortísimo tiempo de disparo obedecerá a una altísima desviación de voltaje, así como una pequeña desviación de voltaje no causará ninguna actuación a menos que permanezca allí por tiempo prolongado.

Compensador de caída de línea.-

Comprende:

- Caída de Tensión Inductiva:

Continuamente regulable entre 0 - 25 volt.

- Caída de Tensión Resistiva:
Continuamente regulable entre 0 - 25 volt.

Señal Avanzada.- Es una indicación óptica inmediata por medio de lámparas (diodos luminiscentes) tanto para la dirección "subir" como para la de "bajar", en cuanto la variación de regulación sobrepasa la sensibilidad ajustada.

Bloqueo de Tensión Reducida.- Impide que se produzca un proceso de regulación en cuanto la tensión de entrada sea inferior al valor ajustado. Continuamente regulable entre 70% y 90% de la tensión nominal.

Contactos de Salida.- Son los que permiten la actuación del circuito de alimentación del motor que acciona al conmutador bajo carga, tanto para "subir" como para "bajar", de 220 Vac.- 6 A con 1NA + 1NC.

Temperatura de Funcionamiento.- Permisible entre -20°C y $+70^{\circ}\text{C}$.

Frecuencia.- Entre 40 y 60 Hz.

Tensión de Prueba.- De 2.5 KV durante un minuto.

Caja Protectora.- Chasis de chapa de acero para instalación en panel de control, de 217 x 315 x 102 mm.

5.2.1.2 Características del Circuito.

El regulador automático de tensión está montado en un chasis de chapa de acero (adecuado para el montaje e instalación en un panel de control).

Una placa de circuito impreso lleva los elementos de control del regulador. El conexionado del regulador se hace através de bornes.

Los componentes activos del regulador de tensión con excepción de los dos reles de salida, consisten exclusivamente de semiconductores de silicio (circuitos integrados). La placa de circuito impreso contiene:

- a) La fuente de alimentación estabilizada.
- b) La transformación de valor real.
- c) La generación del valor nominal.
- d) El bloqueo a tensión reducida, ajustable del 70% - 90% del valor nominal.

- e) El amplificador regulador como amplificador de tensión continua para el ajuste sin escalones de la sensibilidad
- f) Dos etapas de valor umbral ("subir" y "bajar") para el control del tiempo de retardo y las puertas AND. Las lámparas de señalización (diodos luminosos) para la señal avanzada son controladas por las etapas de baja potencia contenidas en las etapas de valor umbral.
- g) La etapa de retardo ajustable de 10 - 180 seg., para retardar la orden de disparo entre la respuesta de la etapa de valor umbral y el cierre del relé de salida; la etapa de retardo es controlada por las etapas de valor umbral.
- h) El integrador inversor, cuya tensión de entrada se toma directamente del amplificador regulador; se puede desconectar mediante un interruptor.
- i) Dos puertas AND para "subir" y "bajar"; da un impulso a las etapas de potencia para los relés de salida únicamente cuando las tres entradas reciben señal (señales de salida de la etapa de

valor umbral, de la etapa de retardo y del bloqueo a tensión reducida).

j) Dos etapas de potencia (tiempo de actuación aproximadamente 1 seg) para el control de los relés de salida "subir" y "bajar"; las etapas de potencia son controladas por las correspondientes puertas AND.

k) Dos relés de salida "subir" y "bajar".

l) Relé de tensión reducida (el contacto cierra en caso de tensión reducida).

5.2.2 Principio de Funcionamiento.

El regulador automático de tensión no produce orden de regulación mientras la tensión a regular (valor real) coincida dentro de los límites preestablecidos con el valor nominal ajustado. En cuanto la diferencia entre el valor real y el nominal (variación de regulación) sobrepasa la sensibilidad ajustada y perdura más que durante el tiempo de retardo ajustado, es entregada una orden de regulación al control del conmutador bajo carga en dirección a "subir" o "bajar".

5.2.2.1 Funcionamiento.

El diagrama de bloques de la fig. 28

muestra la disposición principal del regulador automático de tensión y nos ayudará a explicar su funcionamiento.

La tensión alterna suministrada al transformador de medida es transformada en una tensión menor para el circuito de medida. A esta tensión se le suma en fase la tensión de corrección de la caída de tensión en línea (compensador de caída de línea), lo que nos da la tensión real.

La tensión del circuito de medición resultante es transformada en el rectificador de medida en una tensión continua proporcional para el amplificador regulador y es utilizada también para el sistema de bloqueo a tensión reducida.

El transformador de alimentación alimenta la fuente estabilizada, la que suministra la tensión auxiliar que se emplea para constituir el valor nominal (valor de referencia).

La tensión de referencia (+6.5) producida por el generador de valor nominal es comparada con la tensión de la tensión de salida del rectificador de medida (tensión real). La diferencia de tensión es llevada a través del amplificador regulador ajustable (sensibilidad $\pm 0.6\% \dots \pm 6\%$ de

la tensión nominal o de referencia) a las etapas de valor umbral, de retardo y de bloqueo a tensión reducida.

Cuando la variación de regulación sobrepasa la sensibilidad ajustada hacia arriba o hacia abajo la tensión del amplificador regulador es mayor de 0.8 v, la etapa de valor umbral correspondiente responde, la señal avanzada se ilumina, una entrada de la puerta AND recibe tensión y la etapa de retardo es atacada. Igualmente se encuentra en otra entrada de la puerta AND la señal de liberación del bloqueo a tensión reducida.

De esta manera tenemos en las tres entradas de la puerta AND las señales de salida de la etapa de valor umbral, de la de retardo y del sistema de bloqueo a tensión reducida. Si después de haber pasado el tiempo de retardo aún está presente la variación de regulación, un impulso de control llega a la última entrada de la puerta AND. De esta forma se abre y se ataca la etapa de potencia del relé de salida pertinente.

El relé de salida pertinente queda atraído aproximadamente durante 1 seg. y pone en marcha el sistema motriz del conmutador bajo carga.

5.2.2.2 Etapas de Funcionamiento.

Como hemos explicado, el funcionamiento del regulador automático de tensión obedece al cumplimiento de diferentes etapas, que a continuación pasaremos a definir.

a. Etapa del Compensador de Caída de Tensión en Línea.

El compensador de caída de tensión en la línea sirve para reproducir la caída de tensión resistiva e inductiva de la línea que sale del transformador de potencia y cuya tensión en el otro extremo (carga) se pretende mantener constante.

La caída de tensión resistiva o inductiva respectiva es reproducida mediante resistencias y reactancias alimentadas por un transformador de intensidad intermedio incorporado. La tensión que cae en esta reproducción es superpuesta al circuito de valor real del regulador de tensión como tensión de corrección en fase.

El compensador de caída de tensión es adecuado para la conexión al transformador de intensidad con una corriente de trabajo secundaria de 0.2 A, 1 A, 3 A y 5 A.

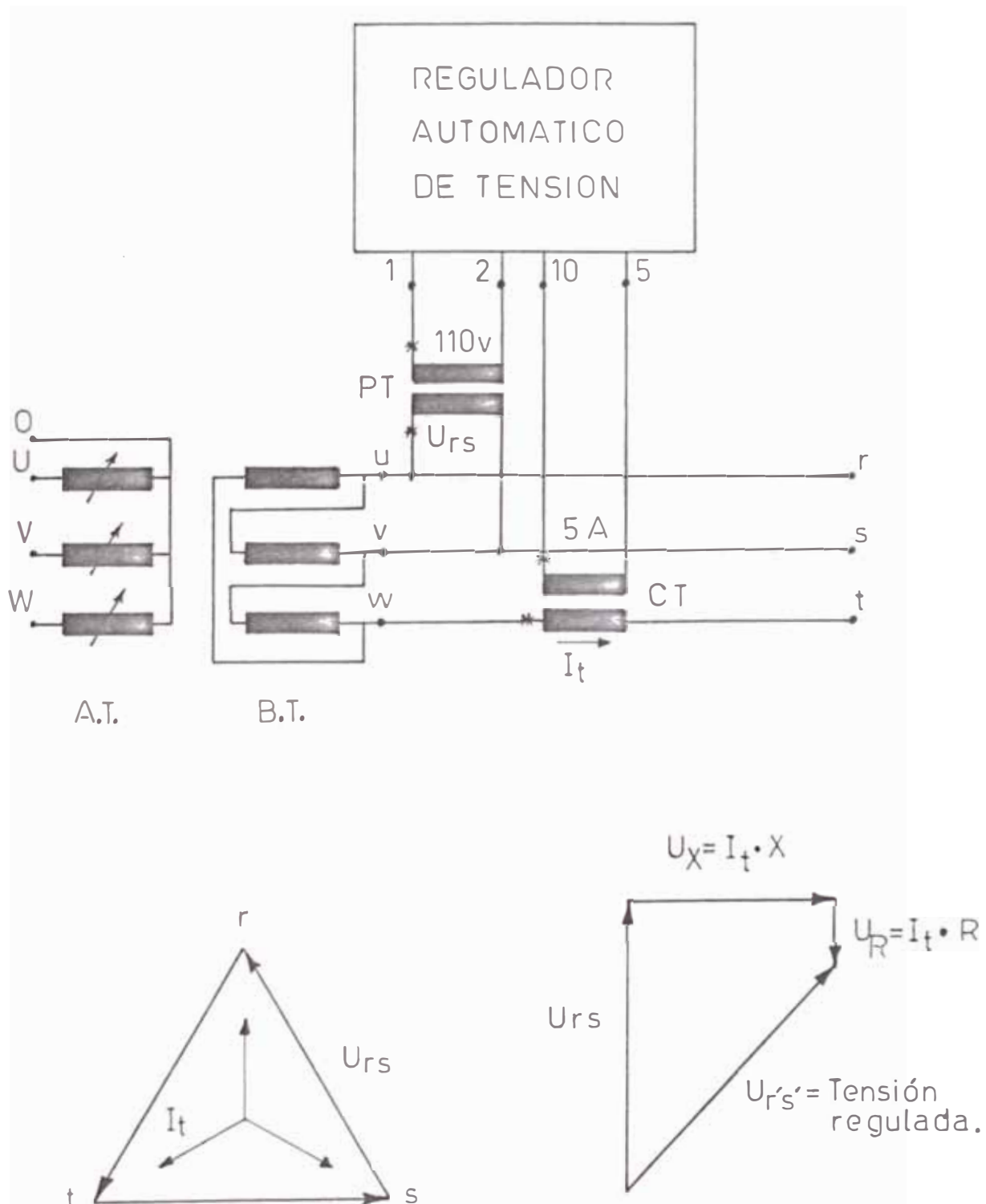
Las tensiones resistivas e inductivas parciales se pueden ajustar entre 0 y 25 Volt.

Para ajustar el compensador de caída de tensión en línea se tienen que conocer la relación de transformación del transformador principal de intensidad y del transformador principal de tensión, que alimentan al regulador de tensión, así como las características de los conductores de línea. Además, para conseguir un efecto en fase del compensador de caída de tensión en línea, es decir para garantizar una compensación a lo largo de la línea independiente de la carga de la red, es necesario fijar el ángulo entre la tensión de entrada del regulador de tensión y la corriente de entrada al mismo, mediante un circuito adecuado; ver fig. 29.

b. Etapa Amplificador Regulador.

Las tensiones Real y Nominal (referencia) son convertidas en tensiones continuas y opuestas entre sí.

Su diferencia es llevada al amplificador regulador. Ajustando



U_R y U_X intercambiados en el regulador de tensi3n.

Fig: 29

Circuito para la conexi3n de los transformadores de medida. Diagrama vectorial para $\cos \phi = 1$.

la sensibilidad, 0.6%....6% del valor nominal (tensión nominal), el factor de amplificación de ésta varía de tal forma que al alcanzar el límite de sensibilidad la salida del amplificador da justamente una tensión de ± 0.8 V (según el sentido de la variación de la regulación).

c. Etapa de Valor Umbral.

Cuando a la entrada de la etapa de valor umbral llega una tensión de 8.0 V como mínimo, esta responde y entrega tensión a la entrada de la puerta AND. Al mismo tiempo se produce la señal avanzada mediante la lámpara indicadora y el ataque de la etapa de retardo.

Si la variación de regulación decae por debajo del límite de sensibilidad antes de que actúe el relé de salida la etapa de valor umbral vuelve a su posición inicial, la señal avanzada se apaga y el ataque a la puerta AND desaparece.

d. Etapa de Retardo e Integrador Inversor.

El integrador inversor proporciona una corriente de control para la etapa de retardo, la cual es

proporcional a la variación de regulación.

Esta corriente carga el condensador de la etapa de retardo de forma que se establece una tensión que corresponde a la integral de tiempo de la tensión de salida del amplificador regulador.

Cuando la tensión alcanza su valor límite se produce la señal de salida de la etapa de retardo. Esta etapa ataca a la segunda entrada de la puerta AND. El integrador inversor sirve para acortar automáticamente el tiempo de retardo ajustado cuando las variaciones de regulación sobrepasan, durante corto tiempo, la sensibilidad ajustada.

La magnitud y duración de la variación de regulación son determinantes en este caso para el acortamiento (comportamiento de tiempo inverso); ver fig. 30.

e. Bloqueo a Tensión Reducida.

El sistema de bloqueo a tensión reducida impide que se produzca un proceso de regulación en cuanto la tensión de entrada sea inferior al valor de bloqueo ajustado. Cuando

la tensión de entrada esté por encima de la tensión mínima ajustada (ajustable de 70%.... 90% del valor nominal de tensión), siempre está presente la señal de liberación en la entrada de la puerta AND. El bloqueo de tensión acciona al contacto de un relé cuando existe la tensión reducida ajustada.

f. Etapa de Potencia y Relé de Salida.

La orden de disparo es liberada únicamente cuando en las tres entradas de la puerta AND están simultáneamente presentes las señales de salida de la etapa de valor umbral, de la etapa de retardo y del bloqueo a tensión reducida; sólo así, la orden de disparo será pasada a la etapa de potencia.

La etapa de potencia hace actuar al relé de salida (contactos lNA + lNC); el impulso para el relé de salida se produce aproximadamente durante un segundo.

CAPITULO VI

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, CONMUTACION Y REGULACION DE TENSION BAJO CARGA

Los elementos de protección incorporados y los elementos de conmutación y regulación de tensión bajo carga son sometidos a exigentes pruebas de control de calidad final que garantizan su correcto funcionamiento.

Estas pruebas son complementarias a las protocolares y se dividen en:

- Pruebas de funcionamiento de los elementos de protección incorporados.
- Pruebas de conmutación y regulación de tensión bajo carga.

6.1 Pruebas de Funcionamiento de los Elementos de Protección Incorporados.

En las pruebas de funcionamiento se simulan los requerimientos de operación que hacen actuar a los elementos de protección. Para el efecto, contamos con un tablero de ensayos, cuyo circuito mostramos en la fig. 31, y al cual se conectan eléctricamente todos estos elementos. De modo tal que cuando actúe el que está bajo prueba se reciba una señal de alarma o desconexión, según el caso, comprobándose así su funcionamiento.

El tablero también permite el mando de arranque y parada de los electroventiladores ante señal manual o automática del relé de imagen térmica. La tensión de alimentación es de 220 Vac., 60 Hz.

El resultado de las pruebas que se efectuaron figuran en la tabla 6.01 (protocolo de pruebas).

6.1.1 Prueba del Indicador de Nivel de Aceite.

Para las pruebas de los indicadores de nivel de aceite tanto del transformador como del conmutador bajo carga se siguió el mismo procedimiento.

a. Control del Nivel Máximo.

Se efectúa el llenado del aceite dieléctrico en el conservador hasta que el contacto de máxima actúe (cerrando), dando la señal de desconexión en el tablero de pruebas.

b. Control del Nivel Mínimo.

Se hace descender el nivel de aceite dieléctrico del conservador hasta que el contacto de mínima actúe (cerrando), dando la señal de desconexión en el tablero de pruebas.

6.1.2 Prueba de la Válvula de Seguridad.

Simulamos su operación accionando manualmente el swich de apertura y cierre

(rearme de disparo); permitiendo así el cierre del contacto normalmente abierto, que da la señal de desconexión en el tablero de pruebas.

6.1.3 Prueba del Indicador de la Temperatura del Aceite.

El Indicador de la temperatura del aceite es del tipo a distancia de dos contactos normalmente abiertos, uno para alarma y el otro para desconexión.

El contacto de alarma actúa cuando se alcanza la temperatura programada de 85°C , mientras que el contacto de desconexión lo hace cuando se alcanza la temperatura programada de 95°C .

Para realizar estas pruebas tenemos que alcanzar las temperaturas programadas, y lo hacemos introduciendo el tubo capilar o elemento sensor del termómetro en un recipiente lleno de aceite que se va calentando lentamente por medio de resistencias eléctricas.

Apenas el termómetro detecte la temperatura programada, dará la señal correspondiente (alarma o desconexión) al tablero de pruebas.

6.1.4 Pruebas del Indicador de la Temperatura de los Arrollamientos.

El indicador de la temperatura de los

arrollamientos o relé de imagen térmica es del tipo a distancia de tres contactos normalmente abiertos y que tienen cada uno de ellos doble regulación de temperatura.

El contacto de mando de los electroventiladores se regula a las temperaturas de 85°C y 70°C ; de tal manera, que si se alcanza la temperatura de 85°C se ordenará el ARRANQUE y si luego esta temperatura desciende a 70°C se ordenará la PARADA.

El contacto de alarma es accionado cuando la temperatura alcanza los 95°C .

El contacto de desconexión es accionado cuando la temperatura alcanza los 100°C .

Independientemente de la regulación o ajuste de los contactos es necesario regular la resistencia de calefacción del relé de imagen térmica; resistencia que al ser recorrida por una corriente proporcional a la corriente de carga del transformador de potencia, calienta y produce una temperatura proporcional a la diferencia entre la temperatura del arrollamiento y la temperatura del aceite en su punto más caliente.

Esta resistencia de calefacción trabaja en shunt con una resistencia de ajuste, con la que se controla la circulación de corriente a un valor determinado.

Así tenemos:

En el transformador de potencia (B.T.):

$$I_n = 404.2 \text{ Amp.}$$

En el transformador de corriente que alimenta al relé de imagen térmica:

$$R_t = 500 / 5 \text{ Amp.}$$

La corriente que ingresará al circuito eléctrico del instrumento será I_p .

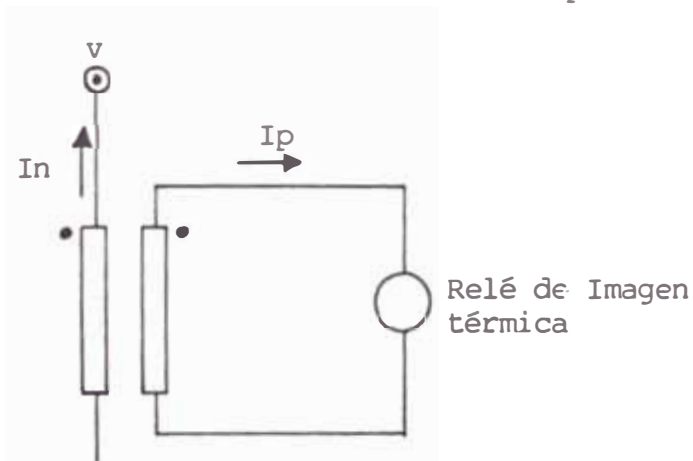


fig. 32

$$R_t = \frac{I_n}{I_p} \quad (14)$$

De la ecuación (14) obtenemos:

$$I_p : 4.042 \text{ Amp.}$$

Si sabemos que la resistencia de calefacción soporta 1.5 Amp., entonces, regulamos la

resistencia de ajuste para obtener una circulación de corriente, en la resistencia de calefacción, capaz de producir un incremento de temperatura de 18.5°C constante (diferencia de temperaturas entre el arrollamiento y el aceite correspondiente a nuestro transformador de potencia).

Para ello utilizamos el siguiente circuito:

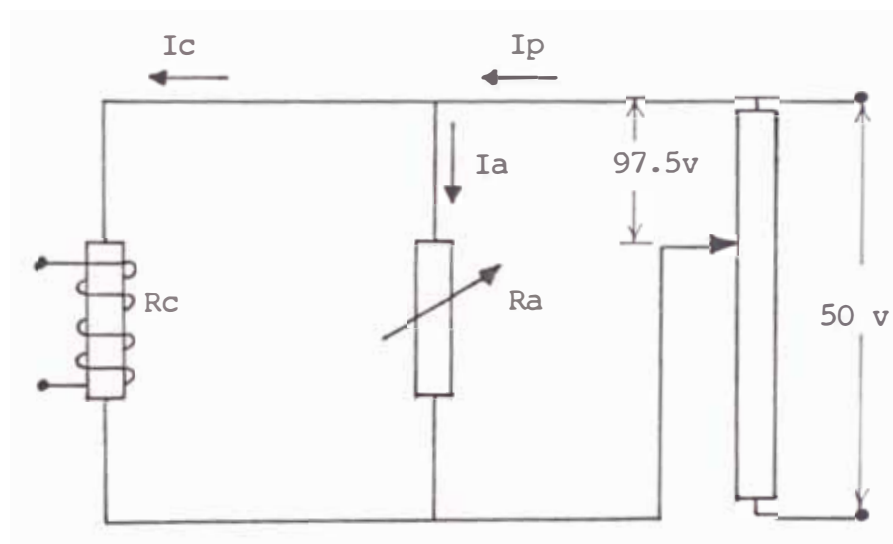


fig. 33

En donde:

$I_p = 4.04 \text{ Amp.}$ (corriente en el instrumento)

$I_c = 1.50 \text{ Amp.}$ (corriente en resist. calef.)

$I_a = 2.54 \text{ Amp.}$ (corriente en resist. ajuste)

$R_c = 6.50 \text{ Amp.}$ (resist. de calefacción)

$R_a = \text{Resistencia de ajuste.}$

Luego de regulada la resistencia de ajuste se procede a obtener las temperaturas programadas para que actúen los diferentes contactos del indicador de temperatura del arrollamiento, siguiendo para el efecto el mismo procedimiento de prueba que para el indicador de temperatura del aceite.

6.1.5 Prueba del Relé Buchholtz.

Se realiza, simulando el efecto que produce el desplazamiento del aceite por medio del ingreso de aire; para esto, se cierran las válvulas de entrada y salida al relé, procediéndose a sacar el aceite, retenido en él, por un orificio de vaciado ubicado en la parte inferior a la vez que, por la válvula de purga, ingresa aire al compartimiento; originando con ello, primero el cierre del contacto de alarma y posteriormente el cierre del contacto de desconexión.

Esta prueba también se puede efectuar por medio del pulsador de disparo manual, que al ser presionado gradualmente hará actuar a los contactos de alarma y desconexión respectivamente.

En ambos casos las señales serán recepcionadas por el tablero de prueba.

6.1.6 Prueba del Relé de Protección del Conmutador

Este relé sólo puede ser probado por medio del pulsador de disparo manual de

desconexión, ya que su actuación obedece a la circulación brusca del aceite. Para lograrlo, se presiona gradualmente el pulsador hasta que su contacto normalmente abierto cierre y de la señal de desconexión en el tablero de pruebas.

6.1.7 Prueba de los Electroventiladores.

La prueba de los electroventiladores comprenden el control manual y el control automático de funcionamiento; y para el efecto, se alimentan trifásicamente cada uno de ellos.

a. Control Manual.

Local.- Se procede a accionar el guardamotor de cada uno de los electroventiladores, verificándose: arranque, parada, sentido de giro y circulación del flujo de aire hacia los radiadores.

Remoto.- El guardamotor de cada electroventilador en posición de arranque.

Desde el tablero general incorporado se procede a accionar el pulsador de arranque el contactor de alimentación cierra, produciéndose el encendido de los electroventiladores.

b. Control Automático.

El guardamotor de cada electroventilador

en posición de arranque.

El indicador de temperatura del arrollamiento detecta la temperatura programada de 85°C , cierra su contacto de arranque y permite la actuación del contactor de alimentación de los electroventiladores; produciéndose el arranque del conjunto.

Luego de un tiempo prudencial de funcionamiento la temperatura desciende a 70°C , valor programado; el indicador de temperatura cierra su contacto de desconexión, desconectando al contactor de alimentación, produciéndose la parada de los electroventiladores.

Esta prueba se efectúa paralelamente a la del indicador de la temperatura de los arrollamientos

6.1.8 Prueba de Aislamiento.

Esta prueba nos permite detectar cualquier posible daño ocasionado en el aislamiento de los conductores durante el cableado y conexionado de los elementos de protección incorporados.

En el tablero general incorporado se efectúa la medida del aislamiento de los circuitos, aplicando por medio de un megómetro $2500\text{ V}_{\text{DC}}$ entre cada uno de los bornes y tierra.

TABLA: 6.01

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION.

DESCRIPCION		SE CONTROLA	V.B.	OSERV.
INDICAD. NIVEL ACEITE.	TRANSFOR MADOR.	Nivel Máximo.	X	
		Nivel Mínimo.	X	
	CONMUTA DOR.	Nivel Máximo	X	
		Nivel Mínimo	X	
VALVULA SEGURIDAD		Disparo	X	
INDICADOR TEMPERA - TURA ACEITE		Cierre ccontacto de alarma.	X	85°C
		Cierre ccontacto de desconexión	X	90°C
INDICADOR TEMPERATURA ARROLLAMIENTO.		Cierre ccnt. arranque electroventiladores	X	85°C
		Cierre ccnt. parada electrcventiladores	X	70°C
		Cierre ccontacto de alarma.	X	95°C
		Cierre ccontacto de desconexión	X	100°C
RELE BUCHHOLTZ		Cierre para alarma	X	Bajando nivel de aceite.
		Cierre para disparo	X	
RELE CCNMUTADOR		Cierre ccnt. disparo.	X	Accionadc Mec.
ELECTRO- VENTILA DORES.	MANUAL	Arranque.	X	
		Parada	X	
	AUTOMAT.	Arranque.	X	
		Parada	X	
AISLAMIENTO.		Circuito de Control	X	V _{DC} : 2500 v

6.2 Pruebas de Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga.

Son aquellas que permiten verificar el correcto funcionamiento de los elementos que participan en el proceso de conmutación y regulación de tensión bajo carga del transformador de potencia; proceso que se efectúa, cuando el regulador automático de tensión, después de haber comparado las señales de tensión y corriente, da una orden al elemento motriz del conmutador para que accione y transmita movimiento, produciéndose el cambio de posición o toma en el arrollamiento de alta tensión.

Estas pruebas se dividen en:

- Accionamiento electromecánico del conmutador bajo carga.
- Acoplamiento eléctrico del regulador automático de tensión con el conmutador bajo carga.
- Ajuste del regulador automático de tensión con el conmutador bajo carga.
- Simulación teórica de conmutación y regulación de tensión bajo carga.

Los resultados de las pruebas que se efectuaron figuran en el protocolo de prueba de la tabla 6.02.

Para realizar estas pruebas se utiliza un Panel de control para mando a distancia, según plano EM-070, en el cual se instalan los equipos que se indican a continuación:

- Regulador Automático de Tensión
- Indicador de Posiciones del Conmutador Bajo Carga
- Voltímetro; escala 0 - 12 Kv.
- Conmutador Voltimétrico
- Conmutador Manual - Automático
- Pulsador para mando manual
- Lámpara de Indicación de Posiciones

Alimentación de los circuitos de prueba:

- Circuito del Panel de Control:
(Línea 03)
Transformador de Tensión de 10 Kv / 110 v.
Transformador de Corriente de 500 / 5 A.

- Circuito del Mando a Motor:
(Línea 17 a 38)

Circuito del Motor:
380 v - 3 Ø - 60 Hz.

Circuito de Control:
220 v - 1 Ø - 60 Hz.

6.2.1 Accionamiento Electromecánico del conmutador Bajo Carga.

La prueba de accionamiento electromecánico comprende dos fases: la primera, verifica el funcionamiento del mando a motor o elemento motriz, y la segunda, comprueba el correcto acoplamiento y operación del conjunto mando a motor - conmutador bajo carga.

6.2.1.1 Funcionamiento del Mando a Motor.

El mando a motor sigue el principio de "paso a paso", esto significa que para pasar, el conmutador, de una posición de servicio a otra adyacente, el motor se pone en marcha por una simple señal y el cambio se realiza sin interrupción.

El impulso que inicia la maniobra se da mediante un pulsador situado en la tapa de la cabina del accionamiento a motor; también puede ser gobernado a control remoto por pulsadores o por el regulador automático de tensión.

El paso del conmutador más allá de las posiciones extremas se evita con fines de carrera eléctricos y mecánicos.

El plano EM-070 nos permitirá explicar y comprobar el funcionamiento del mando a motor, así como controlar los diferentes circuitos con que cuenta.

a. Circuito del Motor.

(Líneas 21 y 22).

Los bornes U, V y W del motor 3 \emptyset están conectados a través de los contactores c_1 / c_2 , los fines de carrera b_6 / b_7 , el interruptor de

bloqueo por interrupción de manivela b_8 y el interruptor termomagnético a_1 a la red de servicios auxiliares de 380 v. por los terminales 2, 3 y 4.

b. Circuito de Caldeo.

(Línea 23)

El circuito de caldeo se encuentra alimentado por la red RS, unida a los terminales 8 y 9. La resistencia de caldeo r_1 está siempre conectada.

c. Circuito de Control.

(Línea 24 a 31)

El circuito está alimentado por la red RS, unida a los bornes 12 y 13 a través de los contactos del interruptor de protección a_1 y del interruptor de bloqueo b_8 , de manera que en caso de abrir los contactos de a_1 ó de b_8 , la tensión de control, desaparece.

El circuito de disparo del interruptor a_1 (Líneas 30 a 31) está interconectado con el circuito de control.

El interruptor de protección del motor a_1 , tiene una bobina de disparo que se energiza a través del

pulsador b_5 (en el mando motor ó b_9 en el panel de control) ó através de la conexión de seguridad (Líneas 30, 31).

Esta conexión de seguridad está formada por contactos auxiliares de los contactores principales c_1 y c_2 .

El mando a motor sigue el principio "paso a paso", es decir, que después de recibir un impulso, la maniobra comienza y continua automáticamente hasta el final, con independencia de que durante el funcionamiento se actúe sobre los pulsadores $b_1 \dots b_4$.

Otra orden sólo puede darse hasta que, después de cumplirse la anterior, todos los elementos han quedado en reposo.

El mando a motor se encuentra listo para actuar, cuando la red de alimentación de servicios auxiliares tiene 380 v - 3 Ø, y la red RS tiene 220 v - 1 Ø - 60 Hz.

Para accionar el mando a motor manualmente e **ir** a una posición determinada, se procede así:

Se presiona el pulsador b_1 , que cierra 3-4 y alimenta c_1 , y abre

1-2 para bloquear b_2 ; c_1 queda energizado y cierra sus contactos 1-2, 3-4 y 5-6 que alimentan al motor, abriendo a la vez 41-42 para bloquear c_2 y se autoexcita por 13-14, cerrando además 23-24, autoexcitando también d_{17} de tal manera que el motor m_1 arranca.

El microinterruptor b_{14} , cuyo funcionamiento depende del sentido de giro, es accionado por leva y cierra sus contactos NO-C.

El microprocesador b_{13} , también mandado por leva, cierra sus contactos NO-NO y abre NC-NC.

El contactor d_{17} se alimenta, abre 51-52, 61-62, 71-72 y cierra 13-14, 23-24, 33-34 (autoalimentándose) y 43-44.

La apertura de 71-72 de d_{17} , hace que el contactor c_1 quede solo alimentado por el microinterruptor b_{14} .

Antes de parar el motor, el microinterruptor b_{13} , mandado por leva, abre sus contactos NO-NO y cierra los NC-NC, así como b_{14} que abre también sus contactos NO-C.

El contactor c_1 se desexcita, abre 1-2, 3-4 y 5-6 en el circuito del motor, y 13-14, 23-24 en el circuito de control, y cierra 31-32 y 41-42.

Al abrir el contactor c_1 , 23-24, el contactor d_{17} se desexcita, cerrando 51-52, 61-62 y 71-72, abriendo 13-14, 23-24, 33-34 y 43-44; esto siempre y cuando b_1 ó b_2 no están accionados, de estarlo, se reiniciará de nuevo el proceso hacia la siguiente posición.

Si deseamos ir en dirección contraria, osea a la posición 1, se deberá accionar b_2 , energizando así c_2 . El motor arranca, accionándose el microinterruptor b_{12} que verifica el sentido de giro, continuándose el ciclo como se indicó anteriormente.

Cuando la posición que buscamos es extrema el interruptor b_6 (para posición n) ó b_7 (para posición 19) respectivamente, abre sus contactos 1-2, interrumpiendo los circuitos de mando de los contactores principales c_1 ó c_2 respectivamente

Al llegar a la posición extrema,

b_6 ó b_7 abre los contactos R-u y T-w interrumpiendo el circuito de autoalimentación de los contactores principales c_1 ó c_2 .

Si queremos accionar el mando a motor por medio de una manivela, la introducción provoca la apertura del interruptor de bloqueo b_8 cortando la alimentación del motor y del control.

Al final del accionamiento a mano retirar la manivela, el eje volverá a su posición inicial y el interruptor b_8 se cerrará.

d. Circuito Indicador de Disparo del Interruptor a_1

(Línea 35).

El circuito está alimentado por la red RS unida a los bornes 16 y 17. La lámpara de señalización H_1 enciende cuando a_1 dispara (en el panel de control enciende H_2).

e. Circuito Indicador de Funcionamiento.

(Línea 36).

Los terminales 19 y 20 están conectados en paralelo con los

del motor y tendrán tensión sólo cuando el motor esté funcionando, alimentando así a la lámpara H₃.

f. Circuito para Teleindicador de Posiciones.
(Línea 32 a 34).

La corona de contactos para cuadro de lámparas, pasa bruscamente de un contacto al siguiente.

El contacto móvil, así como los contactos fijos, están cableados a una regleta de bornes independiente.

6.2.1.2 Acoplamiento del Conmutador Bajo Carga con el Mando a Motor.

En esta prueba se verifica que el acoplamiento se haya efectuado en la posición de ajuste exacta, tanto del accionamiento a motor como del conmutador bajo carga.

El impulso para el control inicial se da por medio de una señal manual (botón pulsador) y el conmutador es operado por el accionamiento a motor.

La transmisión del movimiento se realiza por medio de un eje vertical

(alineado con el eje del accionamiento a motor) hasta el reenvío de ángulo ubicado en la tapa del transformador y desde allí al conmutador bajo carga por medio de un eje horizontal (alineado con el eje de salida de la cabeza del conmutador).

El accionamiento a motor realiza todo el proceso de cambio de una posición a la siguiente sin ninguna interrupción, dicha acción está encomendada a un reductor de control, el cual realiza una revolución por cada cambio de posición del accionamiento a motor. Esta acción del reductor hace que el conmutador bajo carga actúe siempre antes de que el accionamiento a motor pare. La condición se cumple, ya que el punto de conmutación del RUPTOR SELECTOR es claramente anterior al final de todo proceso de una conmutación en el mando a motor.

La diferencia de tiempo entre ambos accionamientos debe ser el mismo en cualquiera de los dos sentidos de giro del mando a motor, así como la igualdad de vueltas, cuando el acoplamiento se ha efectuado en la posición de ajuste exacta.

6.2.2 Acoplamiento Eléctrico del Regulador Automático de Tensión con el Conmutador Bajo Carga.

En esta prueba, el conmutador bajo carga es accionado por el mando a motor obedecido a una señal proporcionada por el regulador automático de tensión, la que es ejecutada por mando manual (local o remoto) y por mando automático, para cambiar la posición de servicio del transformador (dependiendo esta de las condiciones simuladas en la sala de pruebas).

6.2.2.1 Regulación Manual de Tensión.

- a) El regulador de tensión con el selector de modalidad de funcionamiento en posición manual, recibe las señales de tensión y corriente en los bornes 1 y 2.
- b) Se encienden las lámparas de señalización para subir (bajar) Hs (Hb), dando la orden de cambio de posición en el conmutador bajo carga.
- c) El mando a motor con el selector de modalidad de funcionamiento en posición manual.
- d) Se ejecuta la orden en:

El mando a motor: Presionando los

botones de arranque del motor de accionamiento b_1 (b_2); local.

El panel de control: El selector en posición manual, se presionan los botones de arranque del motor de accionamiento b_3 (b_4); remoto.

- e) Se repite este proceso, tantas veces como sea necesario, hasta encontrar la posición de servicio adecuada en el transformador de potencia.

6.2.2.2 Regulación Automática de Tensión.

- a) El mando a motor con el selector de modalidad de funcionamiento en posición "automático".
- b) El Panel de Control con el selector de modalidad de funcionamiento en posición "automático".
- c) El Regulador de tensión con el selector de modalidad de funcionamiento en posición "automático", recibe las señales de tensión y corriente en los bornes 1 y 2.
- d) Se encienden las lámparas de señalización para subir (bajar) Hs

(H_b), dando la orden de cambio de posición en el conmutador bajo carga.

e) Los relés de salida del regulador de tensión actúan permitiendo la alimentación del motor de accionamiento del mando a motor, produciéndose el cambio automático en el conmutador bajo carga.

f) Si se da una orden manual al mando a motor, este no actuará.

6.2.3 Ajuste del Regulador Automático de Tensión con el Conmutador Bajo Carga.

El regulador automático de tensión y el conmutador bajo carga son sometidos a ajustes de funcionamiento.

Estos ajustes se efectúan como prueba final previa a la puesta en servicio del transformador de potencia, y se dividen en: ajuste del mando a motor y ajuste del regulador automático de tensión.

6.2.3.1 Ajuste del Mando a Motor.

Antes de aplicar tensión deberá comprobarse que los circuitos de alimentación del motor, control y auxiliares, sean de la capacidad y frecuencia necesarios para el accionamiento.

Verificar si la secuencia de fases u, v, w corresponden al sentido de giro del motor.

a) Mando Local.

Accionar uno de los pulsadores b_1 o b_2 , lo cual permite el control de marcha "paso a paso", y mantenerlo pulsando durante el período de funcionamiento. Después de efectuarse la maniobra el motor, para automáticamente.

b) Mando a Distancia.

Colocar el selector en posición REMOTO (en el panel de control) y ahí accionar uno de los pulsadores b_3 ó b_4 ; el mando del motor deberá accionar.

Estando el selector en posición remoto, si pulsamos b_1 ó b_2 en el mando motor (local), el motor no deberá accionar.

c) Bloqueo Eléctrico.

Al introducir la manivela en el mando a motor, quedará bloqueada la alimentación del motor. Presionando b_1 ó b_2 (local o remoto) el motor no accionará.

d. Bloqueo Mecánico Extremos.

Llevar el mando hasta la penúltima posición, pasar mediante manivela a la posición extrema. Si se continúa girando la manivela, el reductor desembragará el eje de salida y la manivela no seguirá girando. Al girar en sentido inverso, el eje de salida volverá a embragar.

e. Bloqueo Eléctrico Extremos.

Llevar el mando hasta la última posición extrema y dar una nueva orden de avanzar una posición en el mismo sentido. El mando no actuará porque será desconectado eléctricamente.

Solo arrancara cuando se de una orden en sentido contrario.

f. Indicador de Posiciones Remoto.

Colocar el selector en posición remoto (mando a distancia) en el panel de control.

Accionar el pulsador b_3 ó b_4 para que accione el motor. El indicador de posiciones remoto actuará y deberá coincidir con

el indicador de posiciones del mando a motor.

6.2.3.2 Ajuste del Regulador Automático de Tensión.

El regulador automático de tensión está diseñado para ser montado en un panel de control, el cual tiene que ser ubicado en un lugar fácilmente accesible.

Antes de la puesta en operación se recomienda controlar el circuito de conexión y las tensiones de medida y de trabajo, por medio de un instrumento que registre la tensión de transformación mencionadas.

a. Regulación Manual de Tensión.

a₁) En el regulador automático de tensión, colocar el selector en posición "manual".

a₂) Medir la tensión del transformador (valor real) en los bornes de medida 1 y 2 con un voltímetro de precisión (clase 1) y ajustar manualmente el conmutador bajo carga, hasta que el voltímetro marque el valor de tensión nominal o de referencia correcto (110 v).

a₃) Ajustar el valor nominal o de referencia del regulador de tensión al valor de medida que se quiere mantener (110 v).

a₄) Ajuste del equilibrio de regulación:

Ajustar la máxima sensibilidad $\pm 0.6\%$ (u otro valor). Se recomienda utilizar la siguiente relación: (15)

$$S (\pm\%) = (0.75 \dots 1.0) \times 100 \frac{U_e}{U_n}$$

S : Sensibilidad

U_e : Tensión por escalón

U_n : Tensión Nominal

Si el regulador de tensión ya está equilibrado, osea que la diferencia de tensiones está comprendida en el rango que indica la sensibilidad, no habrá señal de avanzada (no actúa el mando a motor).

a₅) Avanzar el conmutador bajo carga manualmente un escalón **hacia** "subir" (pos.19). Se tiene que encender la señal avanzada "bajar".

Una vez que se ha alcanzado la

posición de equilibrio (original), la señal avanzada se apaga.

b. Regulación Automática de Tensión.

b₁) El regulador de tensión se encuentra equilibrado y la máxima sensibilidad está ajustada en $\pm 0.6\%$.

b₂) En el regulador de tensión colocar el selector en posición "manual". Ajustar la temporización en 10 segundos.

Avanzar el conmutador bajo carga manualmente un escalón hacia "subir" (pos.19).

b₃) Ahora colocar el selector en posición "automático".

Posición del selector del tiempo de retardo en "Lin" o sea integrador inversor desconectado.

Se encenderá la señal avanzada "bajar", y después de 10 segundos aproximadamente el regulador dará la orden para que accione el conmutador bajo carga y alcanzar la posición

de trabajo original. La señal de avanzada se apaga.

b₄) Secuencias b₁ y b₂ idénticas.

b₅) Posición del selector del tiempo de retardo en "INT", osea integrador inversor conectado.

Selector en modalidad "automático".

Se encenderá la señal avanzada "bajar", el regulador dará la orden para que accione el conmutador bajo carga y alcanzar la posición de trabajo original en un tiempo que obedece a la curva de acortamiento del tiempo de retardo, por el integrador inversor, y para 10 seg. (tiempo inverso) según fig. 30

c. Ajuste del Compensador de Caída de Tensión de Línea

Si : $U_x = 0$ y $U_r = 0$

Entonces:

- Si sube U_r , la señal de avanzada será "subir".

- Si baja U_r , la señal de avanzada será "bajar".
- Si sube U_x , la señal de avanzada será "subir".
- Si baja U_x , la señal de avanzada será "bajar".

En donde:

$$U_r = I_n \cdot \frac{r_{CT}}{r_{PT}} \cdot R \cdot L \text{ (volt.)} \quad (16)$$

$$U_x = I_n \cdot \frac{r_{CT}}{r_{PT}} \cdot X \cdot L \text{ (volt.)} \quad (17)$$

U_r : Caída de tensión resistiva.

U_x : Caída de tensión inductiva.

I_n : Corriente nominal de la toma elegida del transf. de corriente.

r_{CT} : Relación de transformación del transf. de corriente - 500 / 5 A.

r_{PT} : Relación de transformación del transf. de tensión 10000 / 110 v.

R : Resistencia óhmica específica de la línea (ohm / Km).

X : Inductancia específica de la línea. (ohm / km).

L : Longitud de la línea (Km).

d. Bloqueo a Tensión Reducida

Para evitar el proceso de regulación a mayores caídas de tensión, el bloqueo para tensión reducida ha de ser ajustado a un porcentaje del valor nominal.

- Ajustar el bloqueo de tensión al 90% del valor nominal o de referencia.
- Si la tensión nominal (110 v) disminuye a 99 v. no habrá señal de avanzada (no actúa el mando a motor).

6.2.4 Simulación Teórica de Conmutación y Regulación de Tensión Bajo Carga.

Para la prueba de simulación teórica creamos en la Sala de Pruebas las condiciones que generan el proceso de conmutación y regulación de tensión bajo carga. Para ello, utilizamos como referencia el circuito de la fig. 34, en donde, eliminamos el uso de los transformadores de tensión (PT) y de corriente (CT), alimentando directamente al regulador automático de tensión con 110 v provenientes de los bornes uv (BT) del transformador de potencia de 7 MVA, a quien se le ha suministrado una tensión variable de 638.50 v en los bornes UV (AT).

De esta manera, conforme variamos la tensión

de alimentación en A.T., obtendremos una señal del regulador automático de tensión para accionar al conmutador bajo carga del transformador; comprobándose así el funcionamiento de todos los elementos que participan en este proceso.

a. Condiciones Iniciales.

a₁) Del transformador de potencia en vacío

Posición del conmutador : 10

Tensión primaria (A.T.): $U_{UV} = 638.5v.$

Tensión secundaria (B.T.): $U_{uv} = 110 v.$

Relación transf. (tab.3.03): $r_t = 3.355$

a₂) Del regulador automático de tensión.

Tensión Nom. Programada: $U = 110 v$

Tensión Real (regulada): $U_{r's'} = 110 v$

Caida Resistiva : $U_r = 0$

Caida Inductiva : $U_x = 0$

Sensibilidad Ajustada : $S = 0.85\%$

Tiempo de Retardo : $t = 10 \text{ seg.}$

b. Condiciones para la operación.

b₁) En el transformador de potencia.

Elevamos la tensión de alimentación en A.T. a un valor cualquiera (ejm. 659.20v).

Posic. conmut. : 10

$$U_{UV} = 659.20 \text{ v}$$

$$U_{uv} = \frac{U_{UV}}{1.73 \times r_t} \quad (18)$$

entonces :

$$U_{uv} = 113.58 \text{ v}$$

b₂) En el regulador automático de tensión.

Obtendremos:

$$U = 110 \text{ v (programada).}$$

$$U_{r's'} = 113.58 \text{ v}$$

Evaluando la Sensibilidad:

$$S = \frac{U - U_{r's'}}{U} \times 100 \quad (19)$$

entonces :

$$S = - 3.25 \%$$

c. Operación.

Para que se produzca la orden de conmutación, se debe cumplir lo siguiente:

- Si Sensibilidad ≤ -0.85 , orden de "subir" (ir hacia posic. 01).

- Si Sensibilidad < 0.85 , orden de "no actuar".
- Si Sensibilidad ≥ 0.85 , orden de "bajar" (ir hacia posic. 19).

Como:

$$- 3.25 < - 0.85$$

Entonces, el Regulador Automático de Tensión da una orden al Conmutador Bajo Carga para "subir" una posic. Este proceso se repite sucesivamente hasta conseguir el equilibrio entre los valores de tensión.

La tabla 6.03 muestra los resultados obtenidos en la prueba de simulación teórica de conmutación y regulación de tensión.

TABLA : 6.02

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE CONMUTACION Y REGULACION DE TENSION BAJO CARGA.

DESCRIPCION	SE CCNTROLA	V.B.	OBSERV.
1. ACCIONAMIENTO ELECTROMECHANICO DEL CONMUTADOR BAJO CARGA			
	Circ. del Motor.	X	
	Circ. de Control	X	
	Circ. disparc Interruptor	X	
	Circ. Indicador Función.	X	
	Circ. Indicador Posición	X	
ACOPLAMIENTO CONMUTADOR-MANDO A MOTOR.	Accionamiento "paso a paso".	X	
2. ACOPLAMIENTO REGULADOR DE TENSION-CONMUTADOR BAJO CARGA			
REGULACION MANUAL DE TENSION.	Subir.	X	
	Bajar.	X	
REGULACION AUTOMATICA DE TENSION	Subir	X	
	Bajar	X	
3. AJUSTE REGULADOR DE TENSION-CONMUTADOR BAJO CARGA.			
AJUSTE DEL MANDO A MOTOR.	Mandc Local.	X	
	Mandc a Distancia	X	
	Bloqueo Eléctricc	X	
	Bloqueo Mecánico Extrem.	X	
	Bloqueo Eléctrico Extrem.	X	
	Indicador Posic. Remoto.	X	
AJUSTE DEL REGULADOR DE TENSION.	Regulación Manual	X	
	Regulación Automática	X	
	Compensador Caída Tens.	X	
	Bloqueo Tensión Reduc.	X	

TABLA : 6.03

SIMULACION TEORICA DE CONMUTACION Y REGULACION DE TENSION BAJO CARGA.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA				REGULADOR AUTOMATICO TENSION			M. MOTOR
Posición servicio	r_t	U_{UV} (AT) vclt.	U_{uv} (BT) vclt.	U_r ' s' volt.	Sensib. %	Señal	Operación
10	3.355	659.20	113.58	113.58	-3.25	Subir	Subir
09	3.391	659.20	112.36	112.36	-2.15	Subir	Subir
08	3.428	659.20	111.16	111.16	-1.05	Subir	Subir
07	3.464	659.20	110.00	110.00	0.00	Alto	Alto
En la posición 07 se ha conseguido el equilibrio; si se continua conmutando (pero manualmente) la señal será en sentido contrario.							
06	3.501	659.20	108.84	108.84	1.05	Bajar	Bajar

CONCLUSIONES

1. Las pérdidas en el fierro obtenidas de la prueba en vacío (tabla 3.19) presentan a tensión nominal, un incremento del 10% con respecto al valor teórico y un decremento del 2.5% con respecto al valor máximo garantizado; resultados muy satisfactorios, en los que han influido considerablemente tanto la calidad de la plancha magnética como la buena construcción del núcleo magnético, y que obedeció a las siguientes consideraciones:
 - a) Corte de la plancha magnética a 90° , con mínimo de rebaba y evitando los esfuerzos mecánicos que pudieran deformarla y alterar su estructura interna.
 - b) Ensamble por entrelaminación, con especial cuidado en las "juntas" entre yugos y columnas.
 - c) Buen ajuste y correcto aislamiento entre planchas magnéticas y tierra.
2. Las pérdidas en el cobre y la tensión de cortocircuito obtenidas de la prueba en cortocircuito (tabla 3.19), presentan con respecto a los valores calculados una muy buena aproximación del orden del 2%; disminuyendo así, considerablemente, las pérdidas totales y con ello las pérdidas adicionales. Una eficiente fabricación de los arrollamientos y correcto montaje y conexión de los mismos han permitido obtener estos excelentes resultados.
3. Los valores obtenidos en la medida de la relación de transformación para las 19 posiciones (tabla 3.03)

están comprendidos dentro de la tolerancia establecida de $\pm 0.005\%$ del valor teórico; es un buen resultado, que se vió influenciado por los siguientes factores:

- a) Correcta disposición de las espiras y transposiciones de los arrollamientos.
 - b) Empalmes de las conexiones bien soldados, con soldadura de plata, y perfecto contacto entre cada toma del conmutador bajo carga.
4. La medida de la resistencia de los arrollamientos por el método voltamperimétrico permite contrarrestar el efecto de inducción de los arrollamiento, obteniéndose así mayor precisión en las lecturas de los instrumentos y exactitud en los cálculos efectuados.
 5. Durante la prueba de tensión aplicada el transformador de potencia se comporta como un gran condensador, debido al efecto capacitivo de los arrollamientos, produciéndose en él sobretensiones que exceden al valor de prueba establecido (tabla A.1); haciendo necesario por lo tanto la utilización de un divisor capacitivo de tensión que nos permita leer directamente, através del voltímetro de pico, el máximo nivel de tensión de prueba alcanzado.
 6. la prueba de tensión inducida se efectúa al triple de la frecuencia nominal con la finalidad de aumentar el valor de la impedancia equivalente del transformador de potencia, limitando la corriente de excitación y evitando así la saturación del núcleo magnético. Una brusca y excesiva circulación de corriente durante la prueba significará que se ha producido una falla en

el arrollamiento; pudiendo ser ésta por :

- a) Deficiente aislamiento de los conductores y/o conductores en cortocircuito.
- b) Distancias mínimas inadecuadas entre espiras para el nivel de tensión.
- c) Deficiente impregnación del aceite dieléctrico en el material aislante.

7. El éxito de las pruebas de aislamiento, tanto protocolares como tipo, son resultado de un cuidadoso montaje de los arrollamiento, de un exigente tratamiento térmico de la parte activa y de un eficiente montaje final del transformador; como fue:

- a) Secado de la parte activa a 100°C de temperatura durante 8 días ininterrumpidos, eliminado así la humedad por completo.
- b) Ajuste de la parte activa y montaje en el tanque durante un período máximo de 4 horas, para evitar absorber humedad del medio ambiente.
- c) Proceso de vacío extracción del aire - del transformador de potencia por un período de 6 horas, e inmediatamente después llenado del aceite dieléctrico a 80°C de temperatura mientras, simultáneamente, se continúa haciendo el vacío.
- d) Reposo del transformador durante 8 días, para permitir una buena impregnación del aceite en la parte activa, antes de someterlo a las pruebas de tensión

8. De la curva de la prueba de calentamiento (fig. 10) podemos concluir lo siguiente:

a) Hay un rápido incremento de la temperatura del aceite conforme transcurre el tiempo debido a que el calor producido se acumula tanto en los arrollamientos como en el núcleo magnético; este aumento de temperatura provoca al mismo tiempo una disipación de energía térmica por radiación, convección y conducción a través de la superficie del cuerpo.

Luego, estos incrementos de temperatura ($\Delta\theta$) decrecen linealmente a medida que sigue aumentando la temperatura, produciéndose diferencias estacionarias, es decir, aquellas para la cual todo el calor producido es cedido al medio ambiente sin provocar ulteriores incrementos de temperatura en el transformador.

b) La constante de tiempo (T) del aceite dieléctrico es de 2.1 horas y se da a una temperatura de 63.2% de la temperatura máxima.

9. En las curvas de temperatura, obtenidas de la medida de la resistencia de los arrollamientos de B.T. (fig. 12) y A.T. (fig. 13) de la prueba de calentamiento, apreciamos que la sobretemperatura del cobre decrece progresivamente siguiendo una ley asintótica, disminuyendo linealmente los decrementos de la diferencia de temperatura ($\Delta\theta_{cu}$) y no alcanzándose teóricamente la temperatura ambiente hasta transcurrido un tiempo (t) infinito. El valor de la resistencia en el momento inicial se obtiene gráficamente, proyectando la curva e intersectándola

con la ordenada $\Delta\theta_{cu}$ y calculando su valor, ya que en la práctica es imposible efectuar la medición en el momento de desconexión del transformador de potencia.

10. Si en la prueba de impulso atmosférico, las características del transformador de potencia no permite obtener la forma de onda normalizada de 1.2/50 microsegundos debido a una baja inductancia o elevada capacidad de los arrollamientos, debemos regular los parámetros de prueba bajo una tensión reducida para obtener una onda con tolerancias mayores; tomándose luego los registros en el osciloscopio para verificar la forma de onda y junto con los registros de corriente ayudar a la interpretación de los resultados de prueba.
11. Evidencia una falla de aislamiento, durante la prueba de impulso atmosférico, la variación significativa de la forma de onda (cambio de amplitud) entre los registros (fotos) de voltaje y corriente aplicados a onda completa, tanto a tensión de ensayo como a tensión reducida; generalmente va acompañado de un ruido claramente perceptible dentro del transformador.
12. La actuación de los elementos de protección incorporados obedecen a fallas de orden térmico y a sobrecargas en el transformador; es así que:
 - a) El indicador de temperatura de los arrollamientos actúa inmediatamente ante una falla de orden térmico, por encontrarse detectando una temperatura muy próxima a la que lo produce.
 - b) El indicador de temperatura del aceite por lo

general actúa ante sobrecargas, ya que su funcionamiento depende del tiempo que tarda el aceite en tomar temperatura.

c) El relé buchholtz y la válvula de seguridad son de acción inmediata ante fallas de orden térmico, producto de la combustión interna de materiales aislantes de la parte activa, las que originan gases y sobrepresiones en el aceite dieléctrico.

13. Un excesivo calentamiento de las resistencias y conexiones eléctricas del interior del conmutador bajo carga, producto de innecesarias y repetidas conmutaciones en el transformador de potencia, originan variaciones de temperatura y presión en el aceite que generan un flujo de este hacia el conservador con la consiguiente actuación del relé de protección.

Por esta razón, es muy importante que el ajuste de "sensibilidad" del regulador automático de tensión se efectúe adecuadamente y obedeciendo a un estudio de las perturbaciones de tensión en la red; así mismo, es recomendable una característica de tiempo dependiente (integrador inversor) ante una altísima desviación de voltaje para obtener un cortísimo tiempo de disparo.

14. Nuestro transformador de potencia de 7 MVA con conmutación y regulación de tensión bajo carga ha cumplido amplia y satisfactoriamente todas las pruebas de control de calidad a que ha sido sometido y, por lo tanto, está garantizado su funcionamiento y operación ante cualquier exigencia de la red.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- IEEE Power Engineering Education Committee:
"APPLICATION OF DISTRIBUTION AND POWER
TRANSFORMERS", IEEE, USA. 1976.
- 2.- James C. Johns: "BASICS OF INSTRUMENT
TRANSFORMERS", Allis Chalmers, Pennsylvania, 1969.
- 3.- Juan Corrales Martín: "CALCULO INDUSTRIAL DE
MAQUINAS ELECTRICAS", publicaciones Reunidas S.A.,
España, 1976.
- 4.- José Ramírez Vásquez: "ESTACIONES DE TRANSFORMACION
Y DISTRIBUCION", Enciclopedia CEAC de Electricidad,
España, 1974.
- 5.- Allis Chalmers: "INSTRUMENT TRANSFORMERS", A.Ch.,
Pennsylvania, 1969.
- 6.- IEEE No. 93: "IEEE GUIDE FOR TRANSFORMER INPULSE
TESTS", IEEE, USA, 1968.
- 7.- ITINTEC, Norma 370.002: "TRANSFORMADORES DE
POTENCIA", ITINTEC, Perú, 1967.
- 8.- Carlos Luca: "MAQUINA ELECTRICA", Edit.
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.,
México, 1974.
- 9.- M.P.Kostenko: "MAQUINAS ELECTRICAS", Edit. MIR,
Moscú, 1975.
- 10.- Trafo Union: "ON LOAD TAP CHANGERS", AEG -
Telefunken, Milano, 1979.

- 11.- Víctor Ortega Polo: "PROTECCION DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA", UNI, Perú, 1978.
- 12.- Pedro Camarena M.: "TRANSFORMADORES ELECTRICOS INDUSTRIALES", Edit. Continental S.A., México, 1980.
- 13.- H.P. Moser: "TRANSFORMERBOARD", Weidmann, USA, 1979.
- 14.-Maschinenfabric Reinhausen: "TEHHNICAL DATA ON LOAD TAP CHANGER", MR, Germany, 1982.