

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



**"PRUEBAS DE ENTREGA
DE TRANSFORMADOR DE
POTENCIA, 30 MVA, 60/6.3 KV"**

INFORME DE INGENIERIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

VICTOR TORIBIO GUTIERREZ RODRIGUEZ

**PROMOCION 1980 - II
LIMA-PERU
2000**

A Jesús, cuyo espíritu invencible vive.

A Marina, madre abnegada.

A Mary, Jesulín y Mariana a quienes
tengo siempre en mi corazón.

**"PRUEBAS DE ENTREGA DE TRANSFORMADOR DE
POTENCIA, 30 MVA, 60/6.3 KV"**

SUMARIO

El presente informe es la recopilación, ordenamiento y sustentación de los ensayos de fabricación del transformador de potencia de 25/30 MVA, ONAN/ONAF, $60 \pm 10 \times 1\% / 6.3$ Kv en la Sala de Pruebas de Tubos Trans Electric S.A.I.C.F. y A. en la ciudad de Córdoba (Argentina), a la que asistí como supervisor nombrado por el cliente Cementos Norte Pacasmayo S.A., en Octubre de 1,993.

Estos ensayos se realizaron bajo las normas IEC-76 y los resultados fueron satisfactorios.

INDICE

	Pág.
PROLOGO	01
CAPITULO I	
GENERALIDADES	02
1.1 Antecedentes preliminares	02
1.2 Datos de fabricación del transformador	04
1.3 Resumen de ensayos realizados	05
1.4 Pruebas en transformadores	06
CAPITULO II	
MEDICION DE RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO	09
2.1 Fundamento del ensayo	09
2.2 Instrumentos utilizados	10
2.3 Tensión de prueba utilizada	10
2.4 Temperatura del aceite	10
2.5 Mediciones efectuadas	11
2.6 Aislamiento mínimo admisible	15
2.7 Conclusiones	15'

CAPITULO III

VERIFICACION DE GRUPO DE CONEXIÓN	16
3.1 Fundamento del ensayo	16
3.2 Grupo de conexión YNd5	19
3.3 Esquema de conexión para efectuar el ensayo.	19
3.4 Mediciones obtenidas	20
3.5 Esquema fasorial experimental.	21
3.6 Diagrama fasorial horario	23
3.7 Conclusiones.	23

CAPITULO IV

MEDICION DE RELACION DE TRANSFORMACION	24
4.1 Fundamento del ensayo	24
4.2 Instrumentos utilizados	25
4.3 Esquema de conexión típico entre bornes 1U-1N/2w-2u	25
4.4 Relación de transformación teórica	26
4.5 Mediciones obtenidas experimentalmente	28
4.6 Conclusiones	29

CAPITULO V

MEDICION DE RESISTENCIAS DE ARROLLAMIENTOS	30
5.1 Fundamento del ensayo	30
5.2 Instrumentos utilizados	31
5.3 Fuente de tensión empleada	31
5.4 Medición en el lado de alta tensión	32

5.5	Medición en el lado de baja tensión	33
5.6	Gráfica de resistencias entre bornes alta tensión	34
5.7	Gráfica de resistencias entre bornes baja tensión	35
5.8	Conclusiones	36

CAPITULO VI

	MEDICION DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE	37
6.1	Fundamento del ensayo	37
6.2	Muestra tomada	38
6.3	Equipo utilizado	38
6.4	Mediciones efectuadas	39
6.5	Conclusiones	39

CAPITULO VII

	ENSAYO CON ONDA DE IMPULSO	40
7.1	Fundamento del ensayo	40
7.2	Instrumentos y equipos utilizados	46
7.3	Datos climáticos	46
7.4	Factor de corrección	46
7.5	Tensión aplicada en bornes de baja tensión	47
7.6	Tensión aplicada en borne neutro	49
7.7	Tensión aplicada en bornes alta tensión	50
7.8	Conclusiones	53

CAPITULO VIII

	ENSAYO TENSION APLICADA	54
8.1	Fundamento del ensayo	54

8.2	Tensión aplicada en lado baja tensión	55
8.3	Tensión aplicada en el neutro	56
8.4	Tensión aplicada en bornes de alta tensión	57
8.5	Observaciones	59
8.6	Conclusiones	60

CAPITULO IX

ENSAYO DE DESCARGAS PARCIALES	61	
9.1	Fundamento del ensayo	61
9.2	Instrumentos empleados	64
9.3	Condiciones del ensayo	64
9.4	Esquema eléctrico de conexiones	64
9.5	Pruebas efectuadas	65
9.6	Conclusiones	65

CAPITULO X

MEDICION DE CAPACIDAD Y TANGENTE δ	66	
10.1	Fundamento del ensayo	66
10.2	Esquema de conexiones de baja tensión/Alta tensión - Cuba	69
10.3	Esquema de conexiones de alta tensión/Baja tensión - Cuba	70
10.4	Esquema de conexiones de alta tensión/Baja tensión - Cuba	71
10.5	Conclusiones	72

CAPITULO XI

MEDICION DE PERDIDAS Y CORRIENTE EN VACIO	73	
11.1	Fundamento del ensayo	73
11.2	Esquema eléctrico de conexión	75

11.3	Instrumentos utilizados	75
11.4	Cálculo de constantes y relaciones	76
11.5	Procedimientos de cálculo	76
11.6	Tabla de pérdidas	77
11.7	Cuadro de resultados	79
11.8	Conclusiones	82
CAPITULO XII		
ENSAYO DE NIVEL DE RUIDO		83
12.1	Fundamento del ensayo	83
12.2	Condiciones del ensayo	84
12.3	Instrumentos utilizados	84
12.4	Mediciones obtenidas	84
12.5	Cálculos efectuados	85
12.6	Conclusiones	86
CAPITULO XIII		
ENSAYO DE CORTOCIRCUITO		87
13.1	Fundamento del ensayo	87
13.2	Procedimiento	90
13.3	Para tap 11 (Temperatura de los devanados 21°C)	91
13.4	Pérdidas por efecto Joule a 21°C	92
13.5	Correcciones para la temperatura de los devanados de 75°C	93
13.6	Para tap 21 (temperatura de los devanados 21°C)	94
13.7	Cálculo de la tensión de cortocircuito $U_{cc\ 75\%}$ a 75°C	95
13.8	Conclusiones	97

CAPITULO XIV

PRUEBA DE CALENTAMIENTO	99
14.1 Fundamento del ensayo	99
14.2 Procedimiento del ensayo, condiciones ONAF, 30MVA, posición del tap: 21	106
14.3 Condiciones de calentamiento del transformador	110
14.4 Ensayo de calentamiento condición ONAN, 25MVA, posición del tap. 21	118
14.5 Conclusiones	121

CAPITULO XV**PRUEBA DE CIRCUITOS AUXILIARES Y VERIFICACION****DE ACCESORIOS** 123

15.1 Accesorios de los transformadores	123
15.2 Pruebas realizadas en accesorios del transformador	125

CONCLUSIONES 127**ANEXO A****PLACA DEL TRANSFORMADOR** 136**ANEXO B****IMAGEN TÉRMICA ANTISISMICA AKM 35** 138**ANEXO C****REGULADOR ELECTRONICO DE TENSION MK 30** 141**ANEXO D****PROTOCOLO DE ENSAYOS** 146

ANEXO E**ACTA DE INSPECCION EN FABRICA** 175**ANEXO F****ARCHIVO FOTOGRAFICO** 177**BIBLIOGRAFIA** 204

PROLOGO

Los transformadores son considerados la máquina eléctrica más simple. En su funcionamiento se resume la teoría electromagnética.

Desde su invención hasta la fecha, los transformadores han sido sometidos a modificaciones por diversas razones sea por su disminución en costo, o por optimización de espacio, o por medidas de seguridad.

Su utilización en las diferentes etapas desde la generación hasta su empleo por los usuarios domésticos o industriales es imprescindible.

En este informe expongo la experiencia que tuve como supervisor de la Empresa Cementos Norte Pacasmayo S.A. (hoy Cementos Pacasmayo S.A.A.) a los ensayos exigidos al fabricante Tubos Trans Electric S.A.I.C.F. y A. de Córdoba (Argentina), en el año de 1993.

Este tema va dirigido a todos los profesionales de ingeniería que no hayan tenido la oportunidad de asistir a un evento de ensayos de fabricación de un transformador, como una manera de ilustrar la aplicación de las normas, las que alguna vez estudiamos en las aulas de la Universidad.

La supervisión de ensayos de transformadores es una importante experiencia que permite aplicar diferentes temas y que requiere un análisis de los resultados obtenidos y un meticuloso cuidado de los procedimientos empleados.

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1 Antecedentes preliminares

En 1993 como parte del Proyecto "Interconexión del Sistema Eléctrico de Cementos Pacasmayo con el Sistema Centro Norte", se mandó fabricar el transformador de potencia de 25/30 MVA ONAN/ONAF, $60 \pm 10 \times 1\% / 6.3$ Kv, YNd5. Por razones técnicas y económicas se escogió la propuesta del fabricante TUBOS TRANS ELECTRIC S.A.I.C.F. y A. de la ciudad de Córdoba (Argentina).

La interconexión con el Sistema Centro Norte implicaba la toma de energía de la S.E. Guadalupe, cercana a la población de Limoncarro (Provincia de Pacasmayo), en una tensión de 60Kv y el transporte de la misma a través de una línea de 30Mw de capacidad, con una longitud de 14 Kms, hasta llegar a la S.E. de Transformación Cementos Pacasmayo (60/6.3 Kv), ubicada dentro de la misma fábrica, Km 667 de la Panamericana Norte (Provincia de Pacasmayo). En barras de media tensión (6.3Kv) se implementó un banco de condensadores de 8 MVAR con regulación automática del factor de potencia.

Anteriormente a la ejecución del Proyecto de Interconexión se autogeneraba energía a través de las centrales térmicas, con una potencia instalada de 26 Mw.

El proyecto de Interconexión demandó una inversión de aproximadamente tres millones de dólares americanos, los cuales se recuperaron en el tiempo de nueve meses con el ahorro en la facturación.

Como está establecido, el fabricante del transformador tiene la obligación de mostrarles los ensayos al cliente de acuerdo al contrato; con este motivo Cementos Pacasmayo nombró a los Ingenieros José Luis Arévalo, Jorge Pacón y Sr. Víctor Gutiérrez para que asistan a presenciar las pruebas al transformador de 25/30 MVA, éstas se realizaron en la ciudad de Córdoba (Argentina) en el mes de Octubre de 1,993.

A continuación algunos valores garantizados por el fabricante:

Sobretemperatura con carga continua

En el aceite: 60°C

En los arrollamientos: 65°C

Pérdidas con carga a 75°C y a potencia nominal

(En toma central)

91 Kw.

Pérdidas en el fierro al 100% de la tensión nominal y a 60Hz

16Kw.

Corriente en vacío al 100% de la tensión nominal y 60 Hz

1.2 Amp.

**Tensión de cortocircuito a 75°C, potencia nominal
(tap central)**

10%

Nivel de ruido

75 db.

El resultado de los ensayos fue satisfactorio, de acuerdo a las normas IEC-76.

El transformador entró en servicio en Enero de 1,994 y desde esa fecha está trabajando en óptimas condiciones con un buen rendimiento.

1.2 Datos de fabricacion del transformador

FABRICADO POR	: TUBOS TRANS. ELECTRIC S.A.I.C.F. y A. (Argentina)
BAJO LICENCIA	: SIEMENS
TIPO	: TATBA 30000/60
POTENCIA NOMINAL	: 25/30/MVA
Nº FABRICACIÓN	: A-3972
Nº APARATO	: 340792
NORMAS IEC	: 76-1976
FRECUENCIA	: 60 Hz
AÑO DE FABRICACIÓN	: 1993
SERVICIO	: CONTINUO

IMPEDANCIA HOMOPOLAR	: 10%
GRUPO DE CONEXIÓN	: YNd5
TENSIÓN	: $60,000 \pm 10 \times 1\%$ /6,300 V

1.3 Resumen de ensayos realizados

Todos los ensayos se realizaron en la sala de pruebas del fabricante del transformador TUBOS TRANS ELECTRIC S.A.I.C.F. y A. en la ciudad de Córdoba (Argentina).

Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo este rol:

1er. Día: Miércoles 20-10-93.

Primer ensayo	Medición de las resistencias de aislamiento.
Segundo ensayo	Verificación del grupo de conexión.
Tercer ensayo	Medición de la relación de transformación.
Cuarto ensayo	Medición de las resistencias de los arrollamientos.
Quinto ensayo	Medición de la rigidez dieléctrica del aceite.

2do. Día: Jueves 21-10-93.

Sexto ensayo	Ensayo con onda de impulso.
Séptimo ensayo	Ensayo con tensión aplicada.
Octavo ensayo	Ensayo de descarga parciales.

3er. Día: Viernes 22-10-93.

Noveno ensayo	Medición de capacidad y tangente δ
Décimo ensayo	Medición de pérdidas y corriente en vacío.

Décimo primer ensayo Ensayo de nivel de ruido.

Décimo segundo ensayo Ensayo de cortocircuito.

4to. Día: Lunes 25-10-93.

Décimo tercer ensayo Prueba de calentamiento (se calentó previamente el transformador desde el 24-10-93 a las 21:00 horas).

5to. Día: Martes 26-10-93.

Décimo cuarto ensayo Prueba de circuitos auxiliares y verificación de accesorios.

Para estos ensayos estuvieron presentes:

Por **Cementos Norte Pacasmayo S.A.**

- Ing°. José L. Arévalo Vega.
- Ing°. Jorge Pacón Yuijan
- Sr. Víctor Gutiérrez Rodríguez

Por **Tubos Trans Electric S.A. I.C.F. y A.**

- Ing°. Miguel Marioli
- Sr. Miguel Falcone

Todos los ensayos resultaron satisfactorios de acuerdo a normas IEC 76.1.

1.4 Pruebas en transformadores

Para la aceptación o no de un transformador recién fabricado o reparado; se somete dicha máquina a un conjunto de ensayos.

Estos ensayos están especificados en Normas Internacionales, tales como:

La IEC Pub 76

La ANSI C57.12.00/12.90

Se clasifican en:

Pruebas de rutina

Medida de la resistencia óhmica de los bobinados

Medida de la relación de transformación y polaridad

Medida de las pérdidas en carga y de la impedancia de cortocircuito.

Medida de las pérdidas sin carga y de la corriente de excitación.

Ensayo de tensión aplicada con fuente independiente a cada bobinado.

Ensayo de tensión inducida .

Ensayo de descargas parciales (para tensiones nominales mayores de 115 Kv).

Control y funcionamiento de todos los accesorios del transformador.

Pruebas tipo

Ensayo de calentamiento

Ensayo de impulso

Pruebas especiales

Medida de la capacitancia de los bobinados

Medida de la impedancia de secuencia cero.

Medida de armónicos durante la medida de pérdidas sin carga.

Medida de la resistencia de aislamiento

Medida de la tangente δ ó factor de potencia.

Adicionalmente a las pruebas eléctricas mencionadas como rutina, tipo y especiales también se realizan pruebas mecánicas a la cuba del transformador que son:

Ensayo de presión de vacío.

Ensayo de sobrepresión.

CAPITULO II MEDICION DE RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO

2.1 Fundamento del ensayo

Norma IEC 76.1

La medición de la resistencia de aislamiento a tierra de los devanados es un valor referencial para comparación con mediciones posteriores en el campo. No existen limitaciones de valores.

Los métodos de ensayo no están presentes en esta norma y están sujetos al acuerdo entre fabricante y cliente.

La resistencia de aislamiento es una medida de la corriente de disipación a través del aislamiento y sobre la superficie.

La resistencia del aislamiento varía con la temperatura del devanado y la duración del tiempo y del voltaje que es aplicado, de tal modo que estos factores deberían de ser registrados cuando se hagan las pruebas.

La relación de la resistencia aparente del aislamiento a diez minutos, con respecto a la de un minuto después de la aplicación del voltaje de prueba en DC, se considera como una guía para la condición de aislamiento, y un indicador de si es seguro la aplicación de una prueba de sobrevoltaje.

La resistencia resultante de esta medición es igual al voltaje aplicado, dividido por la corriente de fuga y es expresada en megohmios. Los instrumentos comerciales para este propósito suministran un voltaje constante (es más común 500 V).

Las curvas de Resistencia vs. Tiempo y los índices de polarización representan chequeos valiosos.

Una reducción repentina o drástica, en la resistencia al aislamiento casi siempre es una indicación del deterioro del aislamiento.

Corrientemente los valores mínimos recomendados de la resistencia en el aislamiento, son de 1 megaohmio / Kv. + 1 megaohmio.

2.2 Instrumentos utilizados

Megóhmetro electrónico ELECTRODATA mod. MG 5100 AS.

Clase de exactitud 1.0

Clase de precisión 1.5

2.3 Tensión de prueba utilizada 500 V. DC

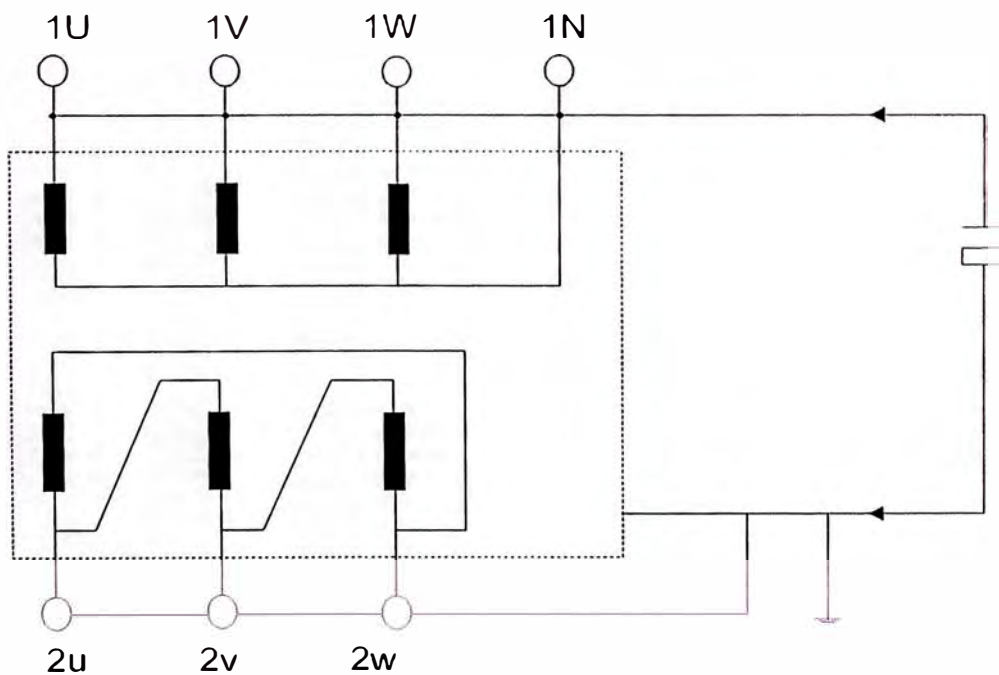
2.4 Temperatura del aceite 22 °C

2.5 Mediciones efectuadas

2.5.1 Entre bornes de alta tensión (en cortocircuito) / bornes de baja tensión (en cortocircuito) conexión a tierra.

Tiempo (seg.)	30	60	180	300	600
Resistencia de Aislamiento (M Ω)	1,600	2,900	4,300	5,100	6,200

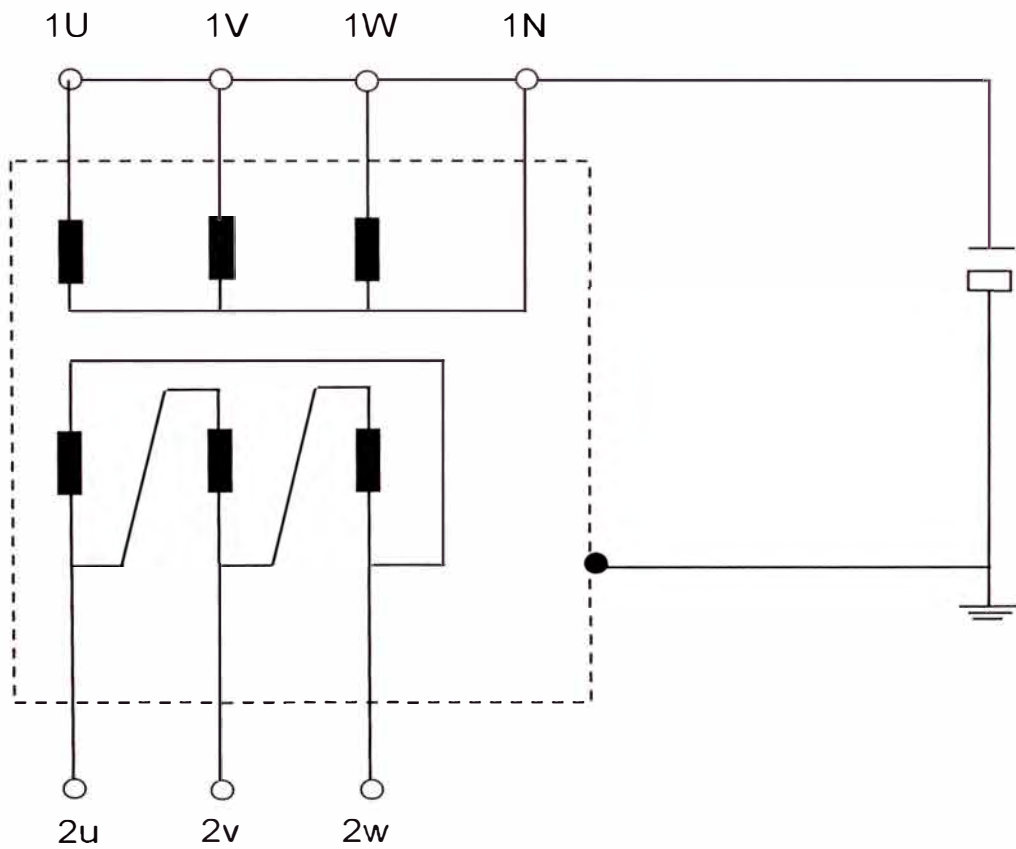
Indice de polarización	2.14
Indice de absorción	1.81



2.5.2 Entre bornes de alta tensión (en cortocircuito) / masa

Tiempo (seg.)	.30	60	180	300	600
Resistencia de Aislamiento (M Ω)	1,800	3,000	5,300	6,300	7,300

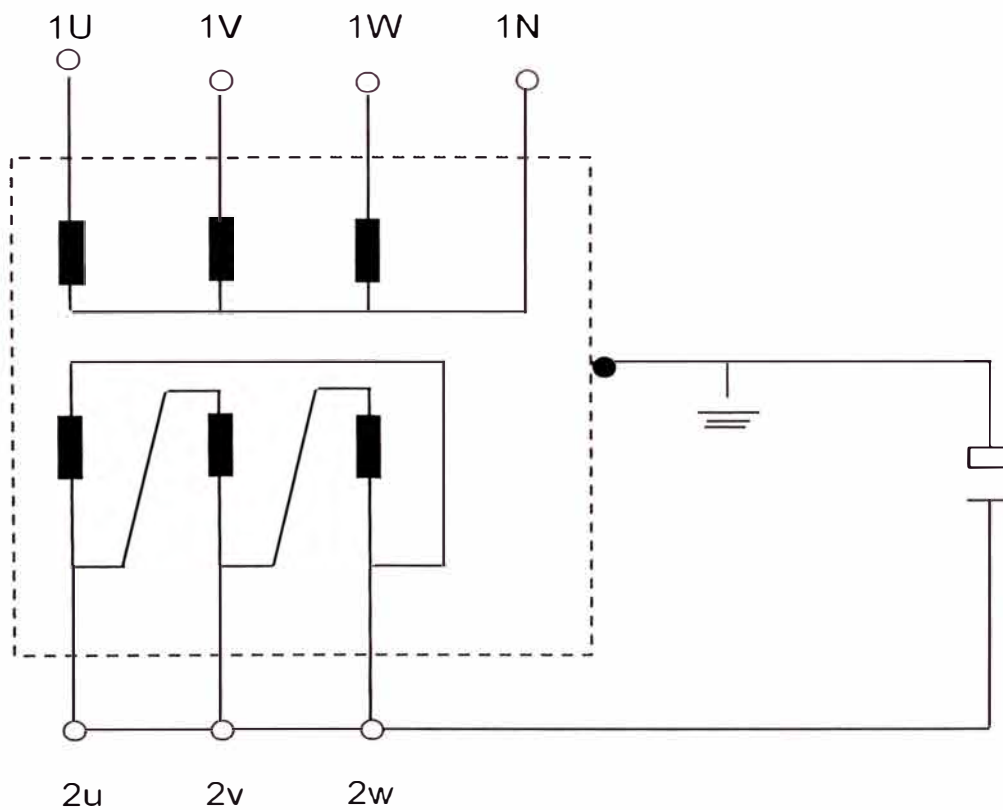
Indice de polarización	2.43
Indice de absorción	1.67



2.5.3 Entre bornes de baja tensión (en cortocircuito) / Masa conexión a tierra.

Tiempo (seg.)	30	60	180	300	600
Resistencia de aislamiento (M Ω)	1,750	2,600	5,100	7,000	10,300

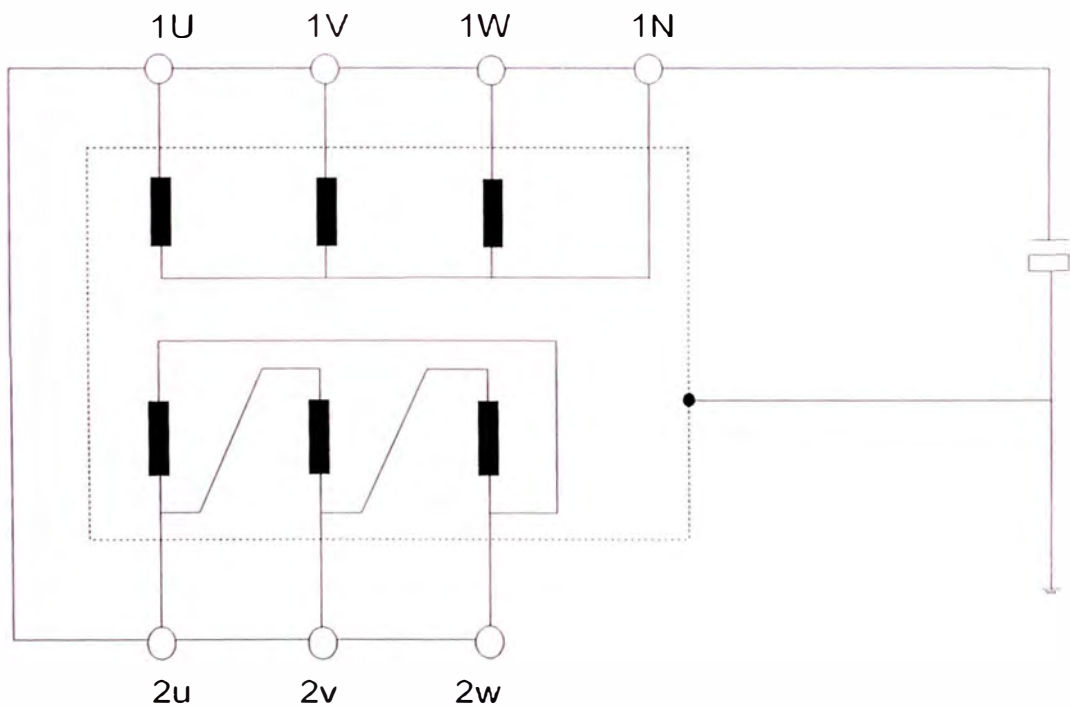
Indice de polarización	3.96
Indice de absorción	1.49



2.5.4 Entre bornes de alta tensión (en cortocircuito) en conexión con bornes de baja tensión (en cortocircuito) / Masa.

Tiempo (seg.)	30	60	180	300	600
Resistencia de aislamiento (M Ω)	1,950	2,700	4,300	5,100	6,100

Indice de polarización	2.26
Indice de absorción	1.39



2.6 Aislamiento mínimo admisible

2.6.1 Para el lado de alta tensión (60 Kv de tensión nominal) se tiene una tensión admisible de 72 Kv. Si aplicamos la regla de que el mínimo aislamiento admisible es $1\text{M}\Omega/\text{Kv} + 1\text{M}\Omega$ necesitamos un aislamiento.

$$R_{\text{aislam AT}} = 1\text{M}\Omega + 1 \times 72 \text{M}\Omega = 73 \text{M}\Omega$$

(al cabo de 1 minuto)

2.6.2 Para el lado de baja tensión 6.3 Kv de tensión nominal en vacío se tiene una tensión admisible de 7.2 Kv.

Si aplicamos la regla de que el mínimo admisible es $1\text{M}\Omega/\text{Kv} + 1\text{M}\Omega$ necesitamos un aislamiento.

$$R_{\text{aislam MT}} = 1\text{M}\Omega + 1 \times 7.2\text{M}\Omega = 8.2 \text{M}\Omega$$

(al cabo de 1 minuto)

2.6.3 El índice de polarización debe ser mayor que 2. Si fuera menor que este valor, entonces no se considera bueno el aislamiento.

2.7 Conclusiones

Se ha realizado satisfactoriamente el ensayo de resistencia de aislamiento debido a que se ha obtenido valores del índice de polarización mayores que 2.

CAPITULO III VERIFICACION DE GRUPO DE CONEXION

3.1 Fundamento del ensayo

En los transformadores trifásicos, los arrollamientos pueden estar conectados en estrella, en triángulo, o en zigzag. Con diferente conexión del arrollamiento en el lado de alta tensión y en el de baja tensión.

Los vectores de baja tensión se giran con relación a la tensión superior. Las conexiones corrientes en la práctica están normalizadas en grupos. El grupo de conexión caracteriza el circuito de dos arrollamientos y la fase de las tensiones subordinadas a ellos. La fase se fija mediante una cifra característica que, multiplicada por 30° indica el ángulo de retraso entre el sistema de corriente trifásica de la baja tensión y el de alta tensión.

La designación de los diversos tipos de conexiones se hace tomando letras mayúsculas (D,Y,Z) para el lado de alta tensión y letras minúsculas (d,y,z) para el lado de baja tensión.

Para elegir el grupo de conexión más apropiado en cada caso particular, una de las condiciones más importantes que se debe tener en cuenta es la determinación previa de si el arrollamiento de baja

tensión ha de trabajar con carga desequilibrada y corriente en el neutro (esto último solo resulta posible en las condiciones y ó z). Desde el punto de vista del equilibrio magnético y atendiendo, por lo tanto, a la dispersión y a las pérdidas adicionales, si no existe neutro en el lado de alta, la carga desequilibrada solamente será admisible dentro de ciertos límites.

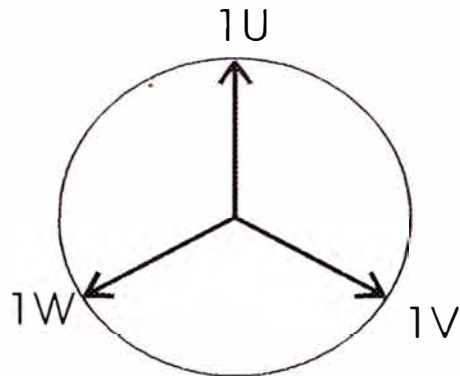
A continuación un cuadro donde aparecen las diferentes conexiones posibles.

3.1.1 Grupos de conexión usuales según VDE 0532/11.71

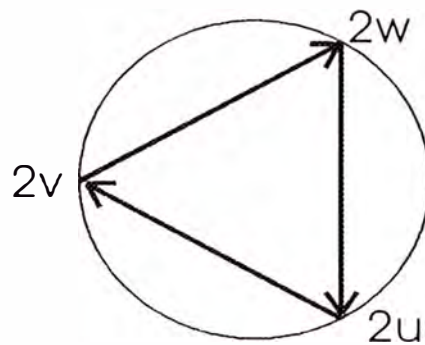
INDICE δ	GRUPO DE CONEXION CEI	DIAGRAMA		ESQUEMA DE CONEXIONES		RELACION DE TRANSFORMACION	GRUPO DE CONEXION VDE
		ALTA TENSION	BAJA TENSION	ALTA TENSION	BAJA TENSION		
0 $\delta = 0^\circ$	Dd0					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$	A1
	Yy0					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$	A2
	Dz0					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{2N_1}{3N_2}$	A3
5 $\delta = 150^\circ$	Dy5					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$	C1
	Yd5					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$	C2
	Yz5					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$	C3
6 $\delta = 180^\circ$	Dd6					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$	B1
	Yy6					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$	B2
	Dz6					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{2N_1}{3N_2}$	B3
11 $\delta = 330^\circ$ $= -30^\circ$	Dy11					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$	D1
	Yd11					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$	D2
	Yz11					$\frac{U_1}{U_2} = \frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$	D3

3.2 Grupo de conexión YNd5

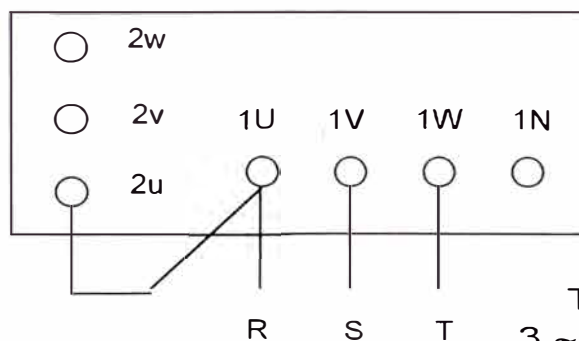
3.2.1 Bobinado alta tensión



3.2.2 Bobinado baja tensión



3.3 Esquema de conexión para efectuar el ensayo



Tensión aplicada en lado AT
3 ~, 400V, 50 HZ.

Es importante usar la secuencia RST

3.4 Mediciones obtenidas:

BORNES	TENSION MEDIDA (Voltios)
1U – 1V	403
1V – 1W	404
1W – 1U	404
1V – 2v	440
1V – 2w	440
1W – 2v	406
1W – 2w	441

3.5 Esquema fasorial experimental

3.5.1 Procedimiento

Se inicia el ensayo conectando el borne 1U (lado de alta tensión), con el borne 2u (lado de baja tensión). Ver 3.3

Se conecta una tensión de 404 V. 50 Hz. trifásica en secuencia RST a los bornes 1U - 1V - 1W (lado de alta tensión). Ver 3.3

Se mide las tensiones en los diferentes bornes de alta tensión y baja tensión. Ver tabla en 3.4

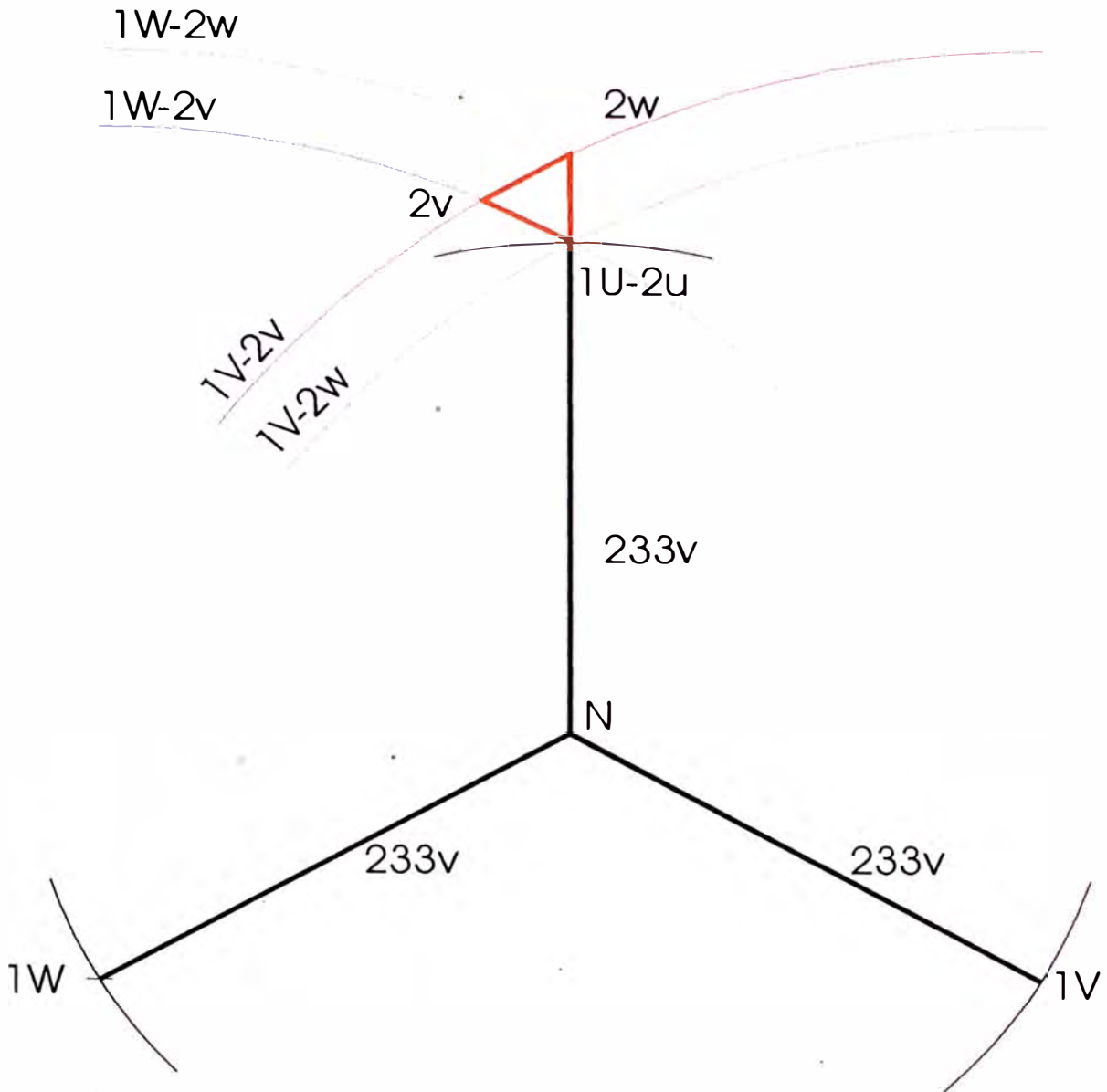
Tomando como referencia el neutro N, se elabora la disposición Y del lado de alta tensión, de acuerdo a las mediciones obtenidas en 3.4

Con centros en 1V y 1W se trazan arcos de circunferencia con radios que representen la escala 1V-2v, 1V-2w, 1W-2v y 1W-2w, hallando los puntos 2v y 2w.

De antemano, por condiciones del ensayo el punto 1U es el mismo que el punto 2u.

De tal manera que se tiene definidos los puntos 2u, 2v y 2w del lado de baja tensión y por tanto la disposición del triángulo lo cual confirma el grupo de conexión YNd5. Ver diagrama fasorial horario 3.6

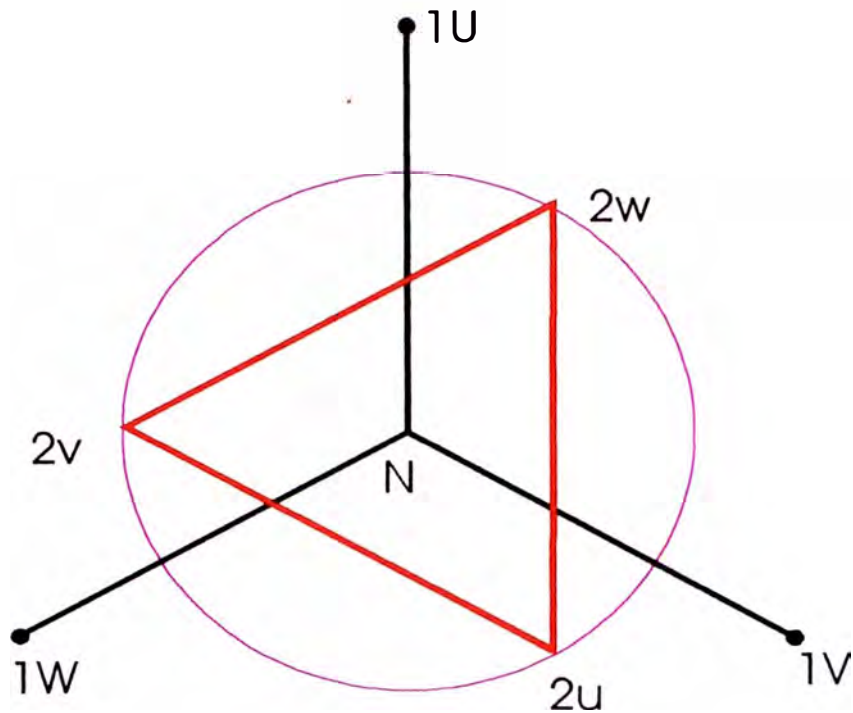
3.5.2 Gráfico



Secuencia RST

Grupo determinado YNd5

3.6 Diagrama fasorial horario



Se obtiene desplazamiento del triángulo fasorial de tensiones del lado de baja tensión, tomando un neutro ficticio N' de tal manera de hacerlo coincidir con el neutro del lado de alta tensión.

3.7 Conclusiones:

Ensayo satisfactorio, se ha logrado comprobar experimentalmente el grupo de conexión de YNd5 con un desfase de 150° entre las tensiones del lado de alta tensión y las inducidas en el lado de baja tensión.

CAPITULO IV MEDICION DE RELACION DE TRANSFORMACION

4.1 Fundamento del ensayo

Norma IEC 76-1

La tolerancia para la relación de transformación en el tap principal para un par específico de devanados debe ser el menor de los siguientes valores:

- a) El ± 0.5 % de la relación de transformación de tensión declarada.
- b) El $\pm 1/10$ de la tensión de cortocircuito porcentual declarada en el tap principal.

La tolerancia para la relación de transformación en otros taps del mismo par debe ser acordada entre cliente y fabricante pero no debe ser menor que los valores mencionados en el párrafo anterior.

La tolerancia para la relación de transformación para un par cualquiera debe ser acordada entre cliente y fabricante pero no debe ser menor que los valores mencionados en el primer párrafo.

4.2 Instrumentos utilizados

Medidor de relación de transformación Hartmann & Braun

Fabricación : Alemania.

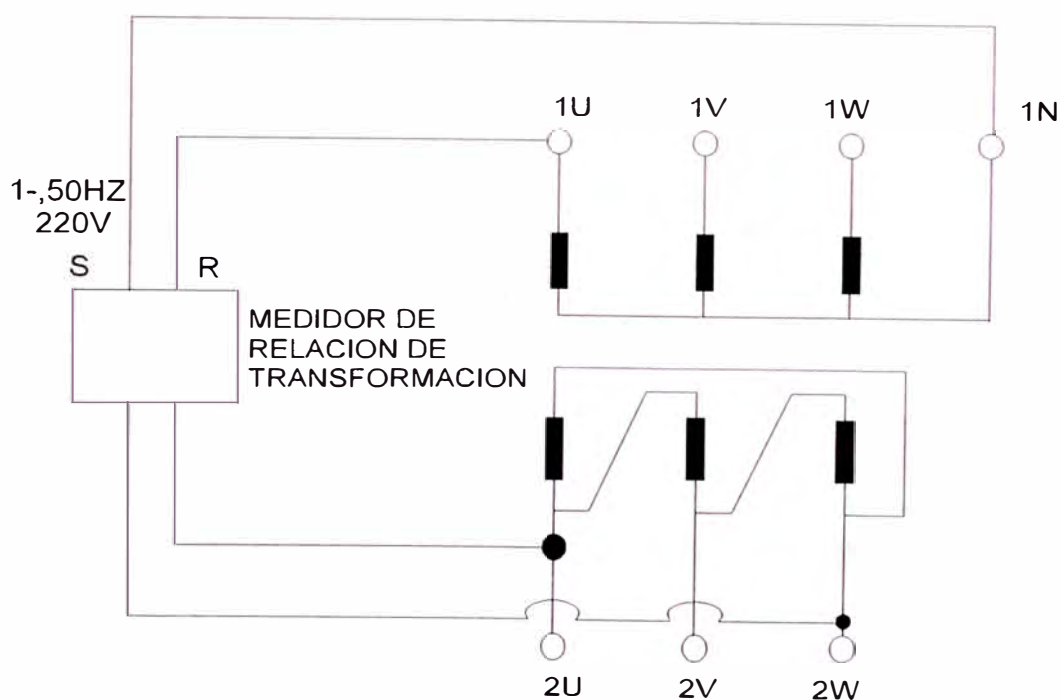
Tensión : 220 V.

Frecuencia : 50 Hz.

El puente Hartmann & Braun es un transformador patrón, cuya relación es ajustable con el cual se compara la relación que se obtiene del transformador en prueba.

El transformador patrón es monofásico por lo que si se quiere determinar la relación de transformación de un transformador trifásico se procede fase por fase.

4.3 Esquema de conexión típico entre bornes 1U-1N/2w-2u



4.4 Relación de transformación teórica

Tomando en consideración las tolerancias especificadas en 4.1 para el tap principal que es el tap 11, tenemos que escoger como tolerancia entre el menor de los siguientes valores

- a. El $\pm 0.5\%$ del valor especificado de la relación de transformación
- b. El $\pm 1/10$ de la tensión de cortocircuito porcentual declarada por el fabricante (para nuestro caso específico, el fabricante declara 10%), en este caso:

$$\pm(1/10) \times 10\% = \pm 1\%$$

Por tanto la menor de ambas condiciones es $\pm 0.5\%$

POS. CONMUTADOR	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN EXACTA	MIN. RELACIÓN ADMISIBLE - 0.5 %	MAX. RELACIÓN ADMISIBLE + 0.5 %
1	6.0482	6.0179	6.0784
2	5.9932	5.9632	6.0231
3	5.9382	5.9085	5.9678
4	5.8833	5.8538	5.9127
5	5.8283	5.7991	5.8574
6	5.7733	5.7444	5.8021
7	5.7183	5.6897	5.7468
8	5.6633	5.6349	5.6916
9	5.6083	5.5802	5.6363
10	5.5534	5.5256	5.5811
11	5.4985	5.4710	5.5259
12	5.4434	5.4161	5.4706
13	5.3884	5.3614	5.4153
14	5.3334	5.3067	5.3600
15	5.2784	5.2520	5.3047
16	5.2234	5.1972	5.2495
17	5.1685	5.1426	5.1934
18	5.1135	5.0879	5.1390
19	5.0585	5.0332	5.0837
20	5.0035	4.9784	5.0285
21	4.9485	4.9237	4.9732

4.5 Mediciones obtenidas experimentalmente.

Pos		% DE		% DE		% DE
TAP	1U-1N/2W-2U	ERROR	1U-1N/2U-2V	ERROR	1W-1N/2V-2W	ERROR
1	6.024	-0.40	6.024	-0.40	6.024	-0.40
2	5.971	-0.37	5.971	-0.39	5.971	-0.37
3	5.917	-0.36	5.917	-0.37	5.917	-0.36
4	5.863	-0.35	5.863	-0.35	5.863	-0.35
5	5.809	-0.33	5.809	-0.33	5.809	-0.33
6	5.755	-0.32	5.755	-0.32	5.755	-0.32
7	5.701	-0.30	5.701	-0.30	5.701	-0.30
8	5.648	-0.27	5.648	-0.29	5.648	-0.27
9	5.594	-0.25	5.594	-0.25	5.594	-0.25
10	5.540	-0.24	5.540	-0.24	5.540	-0.24
11	5.486	-0.23	5.486	-0.23	5.486	-0.23
12	5.432	-0.21	5.432	-0.21	5.432	-0.21
13	5.378	-0.19	5.378	-0.19	5.378	-0.17
14	5.325	-0.16	5.325	-0.18	5.325	-0.16
15	5.271	-0.14	5.271	-0.14	5.271	-0.14
16	5.217	-0.12	5.217	-0.12	5.217	-0.12
17	5.163	-0.11	5.163	-0.11	5.163	-0.11
18	5.110	-0.07	5.110	-0.07	5.110	-0.07
19	5.056	-0.05	5.056	-0.05	5.056	-0.05
20	5.001	-0.05	5.001	-0.05	5.001	-0.03
21	4.948	-0.01	4.948	-0.01	4.948	-0.01

4.6 Conclusiones:

Las normas exigen una desviación del valor de relación de transformación teórico exacto en $\pm 0.5\%$, los márgenes admisibles como mínimo y como máximo están expuestos en el ítem 4.4

Todos los valores obtenidos experimentalmente están dentro de los límites admisibles.

Por lo tanto se considera satisfactorio este ensayo.

CAPITULO V

MEDICION DE RESISTENCIAS DE ARROLLAMIENTOS

5.1. Fundamento del ensayo

La medida de la resistencia de los arrollamientos es necesaria para:

El cálculo de la componente de pérdidas I^2R

El cálculo de la temperatura de los arrollamientos al final de la prueba de calentamiento.

Como referencia para evaluar fallas en los transformadores.

NORMA IEC 76-1

La resistencia de cada devanado, los terminales entre los cuales es medido y la temperatura del devanado debe ser registrado.

Se debe usar corriente D.C. para la medición.

En toda medición de resistencias debe tenerse en cuenta que sean minimizados los efectos de autoinducción.

Para transformadores en baño de aceite:

Para hacer las mediciones de las resistencias de los arrollamientos, es necesario que los transformadores estén desexcitados por lo menos tres horas.

Inmediatamente se determina la temperatura promedio del aceite; la temperatura de los devanados se considera la misma que la del aceite promedio. La temperatura promedio del aceite se considera como la media aritmética entre las temperaturas superior e inferior del aceite.

5.2 Instrumentos utilizados

Puente Wheatstone portátil

Marca : YEW

Type : 2755

Fabricante : YOKOGAWA ELECTRIC WORKS

TOKYO. JAPAN.

5.3 Fuente de tensión empleada.

Batería de 12V dc.

5.4 Medición en lado de alta tensión.

POS. CONMUTADOR	RESISTENCIA ENTRE BORNES (Ohm)			
	1U-1N	1V-1N	1W-1N	PROMEDIO
1	0.279	0.281	0.279	0.280
2	0.276	0.278	0.276	0.277
3	0.273	0.275	0.273	0.274
4	0.270	0.272	0.270	0.271
5	0.027	0.269	0.268	0.188
6	0.264	0.266	0.265	0.265
7	0.261	0.264	0.262	0.262
8	0.258	0.261	0.259	0.259
9	0.256	0.258	0.257	0.257
10	0.253	0.255	0.254	0.254
11	0.250	0.252	0.251	0.251
12	0.254	0.255	0.254	0.254
13	0.257	0.250	0.257	0.255
14	0.259	0.026	0.259	0.181
15	0.262	0.264	0.262	0.263
16	0.265	0.266	0.265	0.265
17	0.268	0.269	0.268	0.268
18	0.270	0.272	0.270	0.271
19	0.273	0.275	0.273	0.274
20	0.276	0.277	0.276	0.276
21	0.279	0.280	0.279	0.279

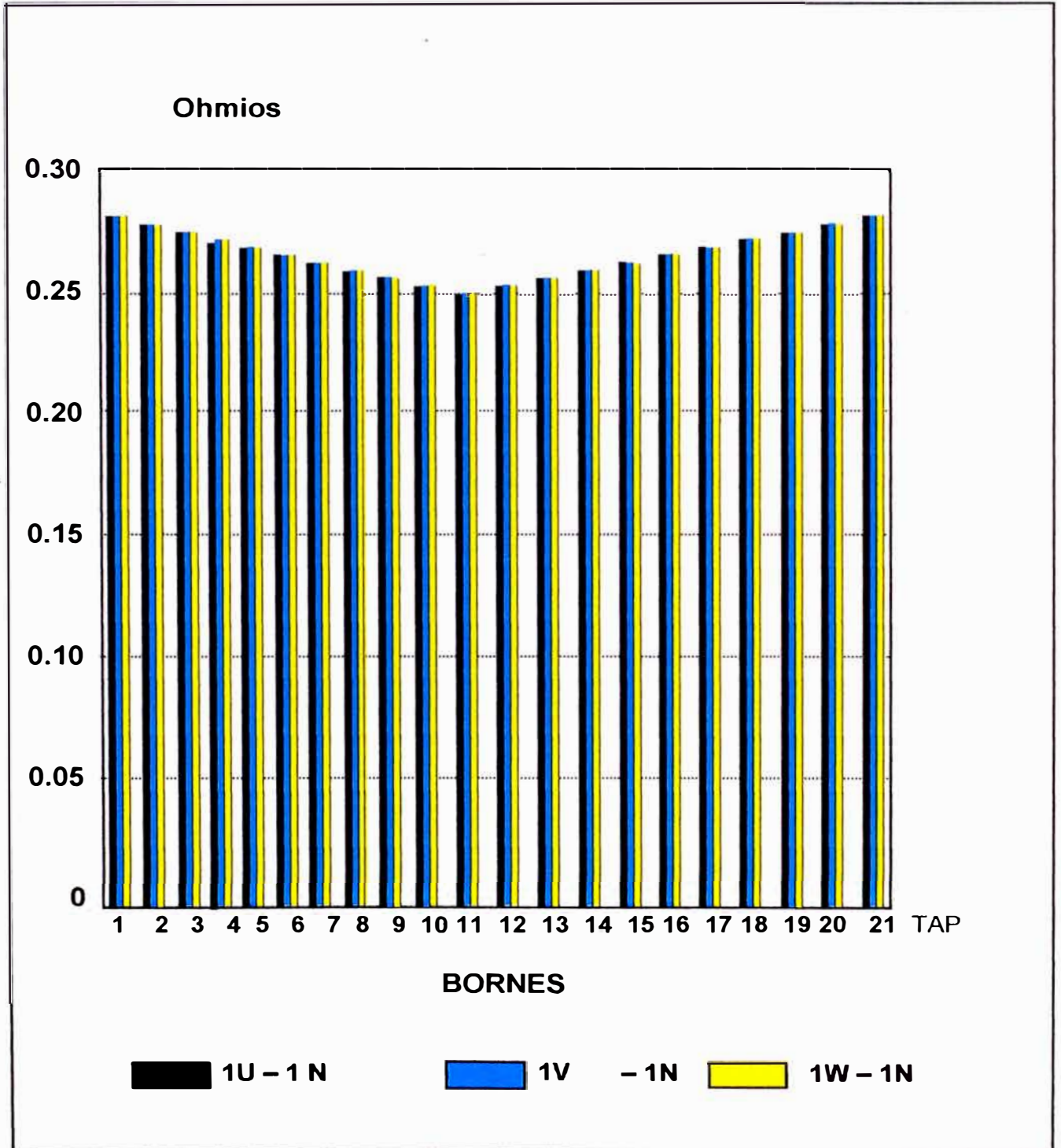
Temperatura promedio del aceite: 21° C

5.5 Medición en el lado de baja tensión.

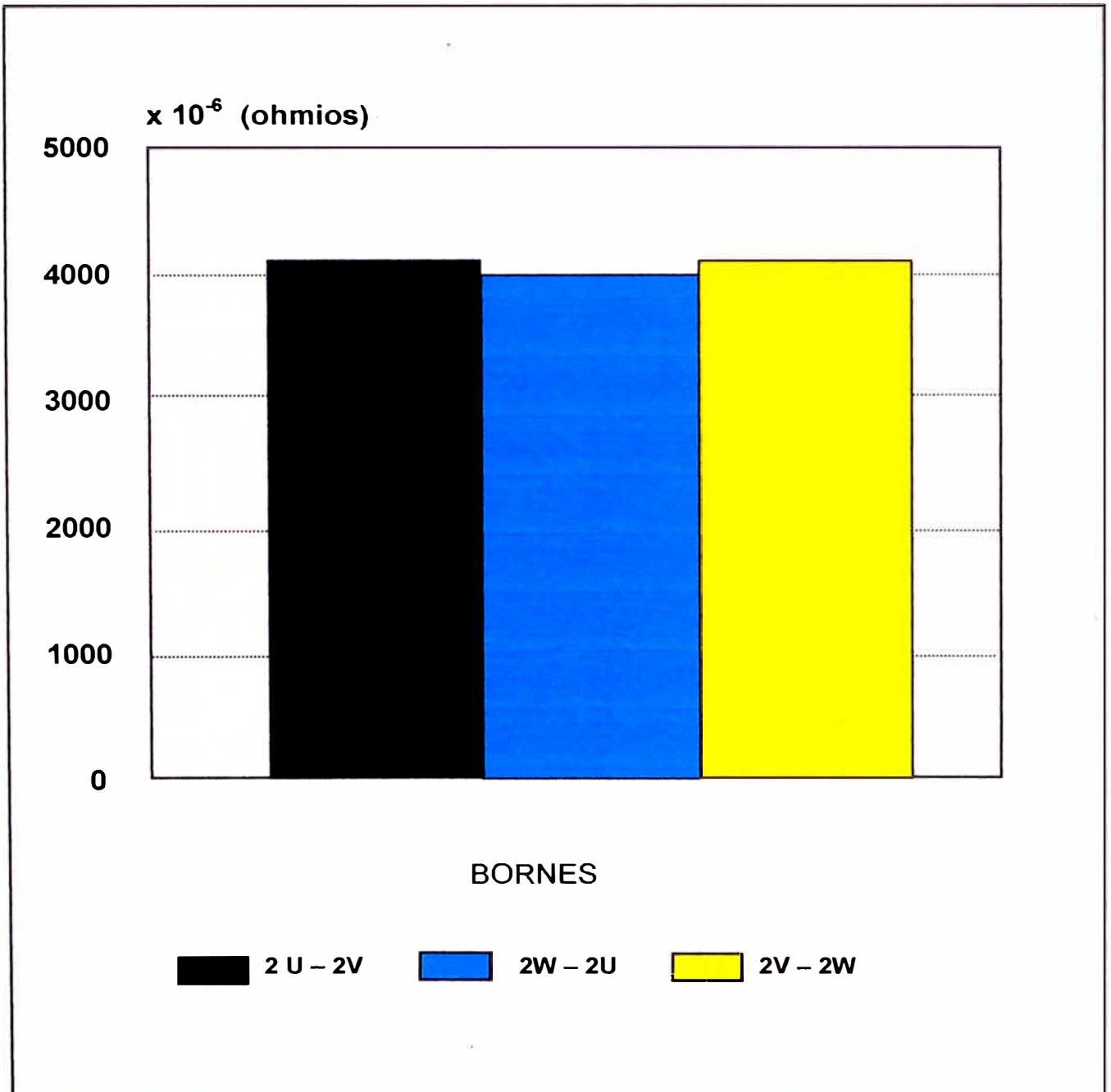
RESISTENCIA ENTRE BORNES (Ω)		
2U – 2V	2W - 2U	2V - 2W
40.50×10^{-4}	40.02×10^{-4}	40.70×10^{-4}

Temperatura promedio del aceite 21 °C.

5.6 Gráfica de resistencias entre bornes de alta tensión



5.7 Gráfica de resistencia entre bornes de baja tensión.



5.8 Conclusiones.

La resistencia en el tap central N° 11 (lado de alta tensión) es un promedio de 0.251Ω , en el tap N° 1 la resistencia promedio es de 0.280Ω , lo cual da una diferencia porcentual de 11.6%; en el tap N° 21, la resistencia promedio es de 0.279Ω , lo cual da una diferencia porcentual de 11.2%.

Tanto el tap N° 1 y N° 21 representan a la tensión + 10% y - 10% respectivamente y tienen casi el mismo valor de resistencia.

Los valores experimentales de resistencias tomadas en este ensayo servirán en el futuro para la calibración de los taps si fuera necesario.

CAPITULO VI MEDICION DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

6.1 Fundamento del ensayo

El transformador es una máquina que apenas necesita conservación. El elemento que mayor atención requiere es el aceite. Los aceites minerales tienden a alterarse (envejecimiento), es decir, a oxidarse y a polimerizarse.

Estas alteraciones merman las cualidades electrotécnicas del aceite. El "envejecimiento" es activado por la temperatura, la humedad y el contacto con el oxígeno del aire, formando lodo y productos ácidos.

La función del aceite es doble, actúa como aislante y como agente refrigerante (por convección) . Su bajo índice dieléctrico relativo (2.4), motiva a que tienda a rebajar los gradientes de tensión de los aislantes sólidos con los que trabaja en serie.

La rigidez dieléctrica de los aceites usados es del orden de los 200 Kv / cm.

Pequeñas cantidades de agua (humedad) o de impureza, hacen descender aquel valor a una décima parte y aún a menos. De ahí la importancia de su cuidado y conservación.

Características principales de un aceite nuevo

De acuerdo a la recomendación VDE 0370/10.66 son:

Densidad	A 15°C. valor máximo 0.890 A 20°C. valor máximo 0.887
Viscosidad	A 20 °C. valor máximo 30 cst A -30 °C. valor máximo 1800 cst
Punto de inflamación	Valor mínimo 140 °C
Cenizas	Inapreciables
Azufre corrosivo	Excento
Indice de neutralización	Inapreciable
Indice de saponificación	Valor máximo 0.10 mg KOH / g de aceite
Tensión de perforación	Valor medio mínimo 60 Kv Rigidez dieléctrica \approx 240 Kv / cm
Factor de pérdidas (a 90 °C)	Tg δ . valor máximo 4×10^{-3}

La tensión de perforación se entiende realizada según prescripciones VDE 0370/10.66 § 13, con distancia entre electrodos de 2.5 mm.

6.2 Muestra tomada

2 lts. del aceite del transformador.

6.3 Equipo utilizado

Espinterómetro de electrodos semiesféricos de 25 mm. Ø.

Distancia entre electrodos : 2.5 mm.

Frecuencia del ensayo : 50 Hz.

Temperatura ambiente : 21 °C.

6.4 Mediciones efectuadas

1 > 70 Kv.

2 > 70 Kv.

3 > 70 Kv.

4 > 70 Kv.

5 > 70 Kv.

6 > 70 Kv.

A la muestra tomada de aceite se le hacen seis mediciones de la tensión de ruptura dieléctrica y se elimina la primera medición ; las cinco últimas se toman en cuenta para obtener el promedio

Descarga dieléctrica promedio:

$$U_p = \frac{70 + 70 + 70 + 70 + 70}{5} = 70Kv$$

Rigidez dieléctrica: $RD = KU_p$

$K = 10 \text{ mm.} / 2.5 \text{ mm.}$

$K = 4$

$RD = 4 \times 70$

$= 280 \text{ Kv/cm.}$

6.5 Conclusiones

El aceite debe tener como norma una rigidez dieléctrica de 240 Kv/ cm como mínimo.

Por tanto el aceite muestreado del transformador supera largamente la condición mínima de rigidez dieléctrica.

CAPITULO VII ENSAYO CON ONDA DE IMPULSO

7.1 Fundamento del ensayo

Esta prueba es realizada para la comprobación de la capacidad de soporte de cada terminal de línea (o del terminal neutro), con respecto a tierra y a los otros devanados y a lo largo del propio devanado ante una onda de choque que simula el impulso atmosférico.

El generador de impulso debe ser ajustado de tal manera de suministrar un voltaje correspondiente al nivel de ensayo de onda completa de los terminales de línea del transformador.

Un transformador puede estar sometido a fuertes sobretensiones momentaneas que hagan saltar el aislamiento . Las causas son casi siempre impulsos de voltaje equivalentes a ondas de elevada frecuencia, cuya propagación por lo mismo es difícil a lo largo de los devanados dando origen con ello a una concentración anormal de las diferencias de potencial sobre zonas determinadas.

Onda de Choque

Se trata de impulsos de tensión cuyo crecimiento es muy rápido decreciendo luego, también con mayor o menor rapidez.

Estas ondas se propagan con velocidad elevada, pero finita, hasta incidir finalmente sobre los devanados de los transformadores.

La causa de aquella perturbación puede ser una descarga atmosférica, la interrupción de una sección importante de la línea, arcos a tierra, cortocircuitos, accidentes en líneas próximas, transmitidas por efecto inductivo o electrostático, etc.

La figura siguiente muestra dos ondas típicas **a** y **b** debidas a descargas atmosféricas, sus valores de cresta son 800 y 1,000 Kv, alcanzados en 5 y 2 μ s respectivamente y a razón de 160 Kv por microsegundo la primera y 500 Kv por microsegundo la última.

Para identificar la forma de estas ondas, se les designa según las normas generales, con su valor de cresta y polaridad seguido de dos números: por ejemplo 4/27, el primero está relacionado con el tiempo en microsegundos, que tarda la onda en alcanzar su valor máximo o de cresta y el segundo con el que necesita para llegar a la mitad de dicho valor en la zona descendiente o cola, contados ambos desde un instante ligado al comienzo de la perturbación.

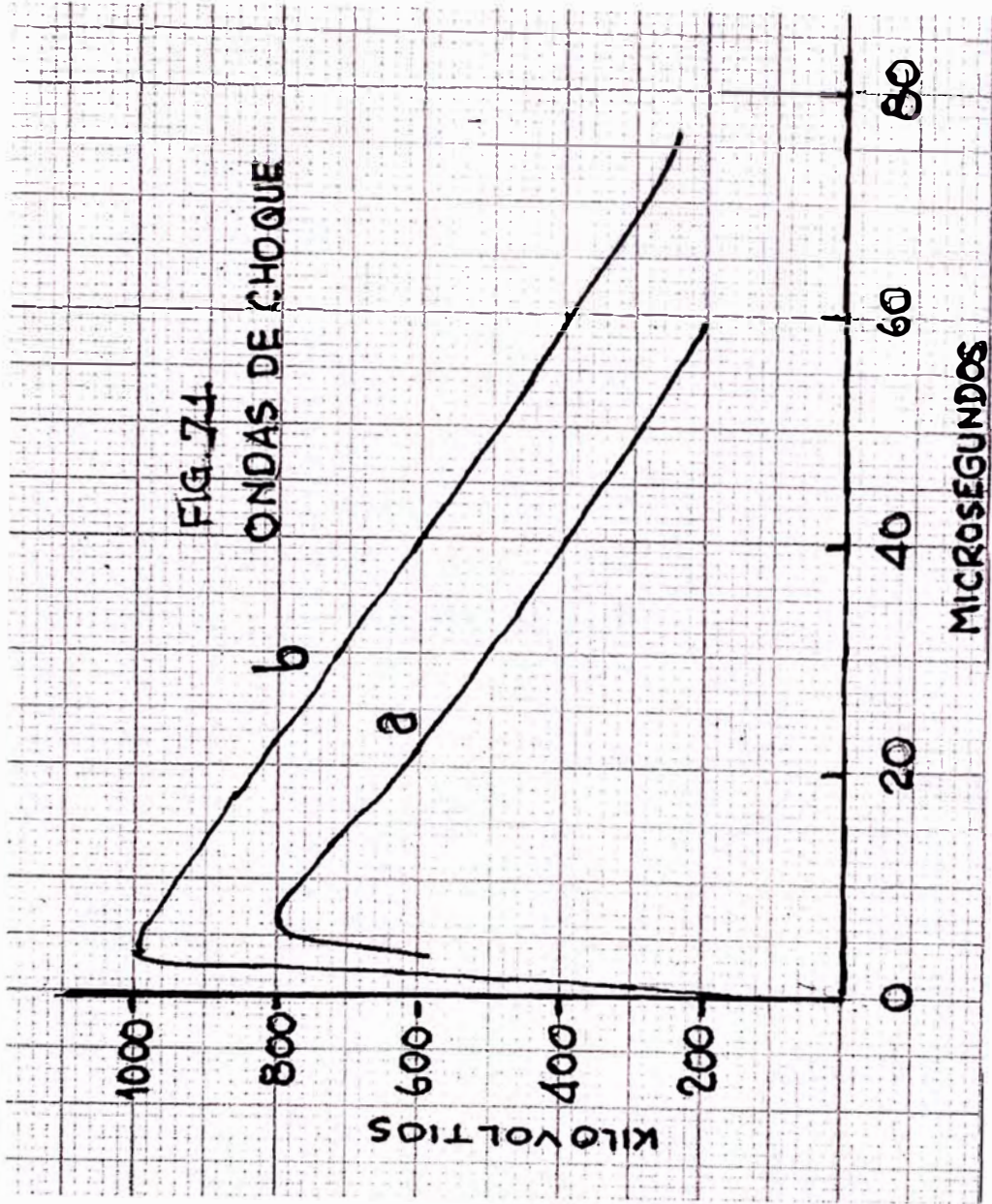


Fig. 7.1 Onda de Choque

La siguiente figura muestra gráficamente la definición de los tiempos de frente T_f y tiempo de cola T_c , U_{cr} indica el valor de cresta.

La curva **a** de la figura anterior viene a representar pues un impulso 5/40 de 800 Kv y la curva **b** otra de 2/46 de 1,000 Kv, ambos positivos cuando un impulso de voltaje en forma de onda de choque incide de sobre los terminales de un transformador, la diferencia de potencial a que se ven sometidos los devanados no solamente es excesiva, si no que tampoco se distribuye uniformemente a lo largo del conductor. Cada elemento del mismo ha de recibir un cierto incremento de carga eléctrica antes de elevar su propio potencial, mediante el cual puede transmitirlo al elemento siguiente, y esto tras el mismo proceso, al sucesivo y así hasta el extremo opuesto del arrollamiento. La propagación de la carga no es instantánea, contribuye a retrasarla la autoinducción de las espiras y acelerarla, la capacidad entre ellas ya que estas funcionan como condensadores, formados por cada dos elementos a potencial distinto, separados por el dieléctrico aislante del conductor, y los condensadores así formado se presenta en derivación sobre la inductancia de las espiras mismas, facilitando el desplazamiento de las descargas eléctricas. Sin embargo el retraso de la propagación de la onda de potencial es inevitable, y como consecuencia se acumula ésta en las espiras de entrada, dando origen a una diferencia de potencial entre espiras que excede en mucho a la normal.

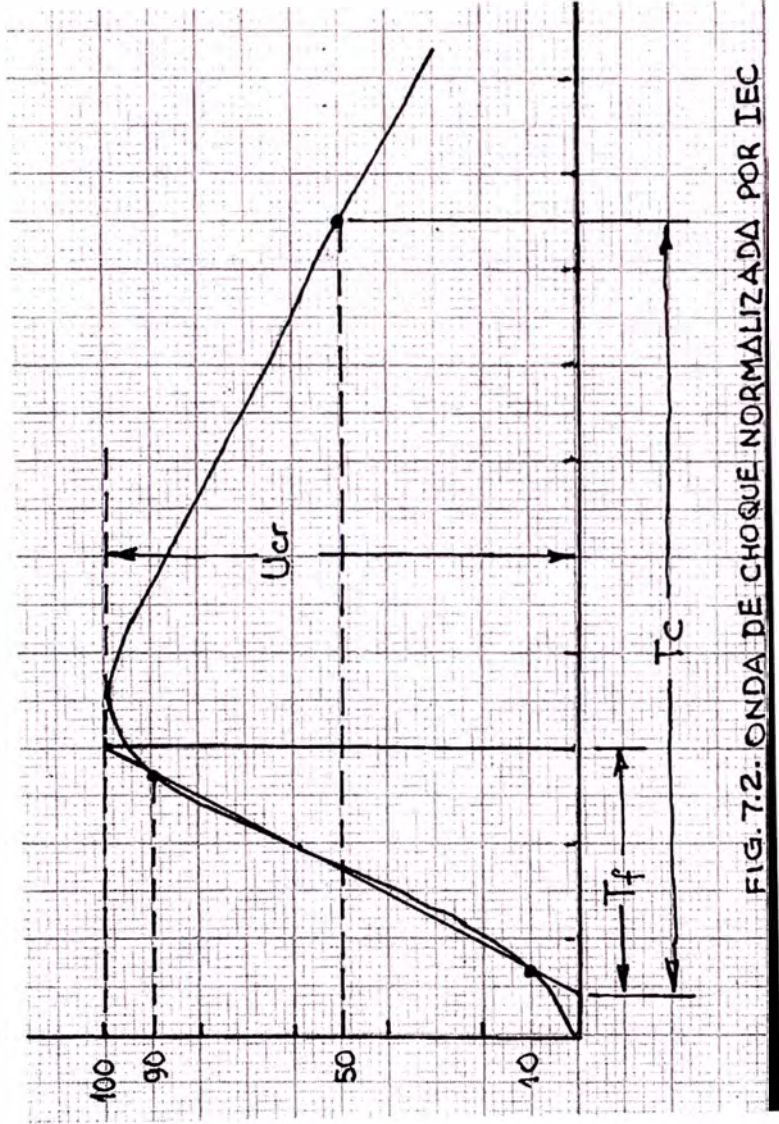


FIG. 7.2. ONDA DE CHOQUE NORMALIZADA POR IEC

Fig. 7.2 Onda de Choque Normalizada por IEC

Aparecen también solicitaciones cuando se produce una descarga en las conexiones próximas al transformador, siendo éstas sobretensiones, Ondas de Impulso Cortadas (que son las que no logran completarse por la actuación de algún descargador o por falla del sistema las cuales hacen que la tensión caiga y oscile alrededor de cero con un valor más reducido).

Se usarán las normas IEC- 76

El ensayo de impulso atmosférico aplicado a los terminales de líneas es considerado un ensayo tipo.

El ensayo de impulso atmosférico aplicado al terminal del neutro es considerado un ensayo especial.

Para transformadores en baño de aceite, la tensión de prueba se efectúa con polaridad negativa, porque esto reduce el riesgo de descarga eléctrica disruptiva errática externa en el circuito de pruebas.

Los aisladores pasatapas deben ser acomodados de tal forma de evitar descargas disruptivas durante la prueba.

La onda de choque para el ensayo tendrá la forma $1.2 \pm 30\% / 50 \pm 20\% \mu \text{ seg.}$

Se toman registros oscilográficos de la tensión aplicada entre el terminal bajo ensayo y tierra así como la corriente suministrada o de la tensión correspondiente a la misma

La secuencia del ensayo consiste de una onda de choque de valor pico entre el 50% al 75% de la plena tensión (onda plena

reducida); y tres subsecuentes ondas de choque a plena tensión (onda plena).

El circuito de ensayo y las conexiones de medición deben permanecer inalterables durante la calibración y los ensayos en si.

Una variación significativa de la forma de onda entre los registros de tensión y corriente aplicadas a plena tensión evidenciará una falla de aislamiento y por tanto se desaprobará el ensayo.

7.2 Instrumentos y equipos utilizados

- Un osciloscopio HAEFELY Mod. 72 de doble haz.
- Un voltímetro HAEFELY.
- Un generador de impulso N.R. 1,000 Kv. 32 KJ. tipo descubierto, disparo controlado.
- Un divisor de tensión.
- Dos explosores de esfera de 250 mm, de diámetro.
- Un shunt para registro de corriente.

7.3 Datos climáticos

Temperatura ambiente	19 °C.
Humedad relativa	90%
Presión atmosférica	725 mm Hg.

7.4 Factor de corrección

Para los valores de temperatura y presión atmosférica aplicar factor de corrección.

$$f_c = 0.386 \times \frac{P}{273 + T_a}$$

Donde : P : presión atmosférica existente. (725 mm Hg)

T_a : temperatura ambiente existente. (19 °C.)

$$f_c = 0.386 \times \frac{725}{273 + 19}$$

$$f_c = 0.958$$

7.5 Tensión aplicada en bornes de baja tensión

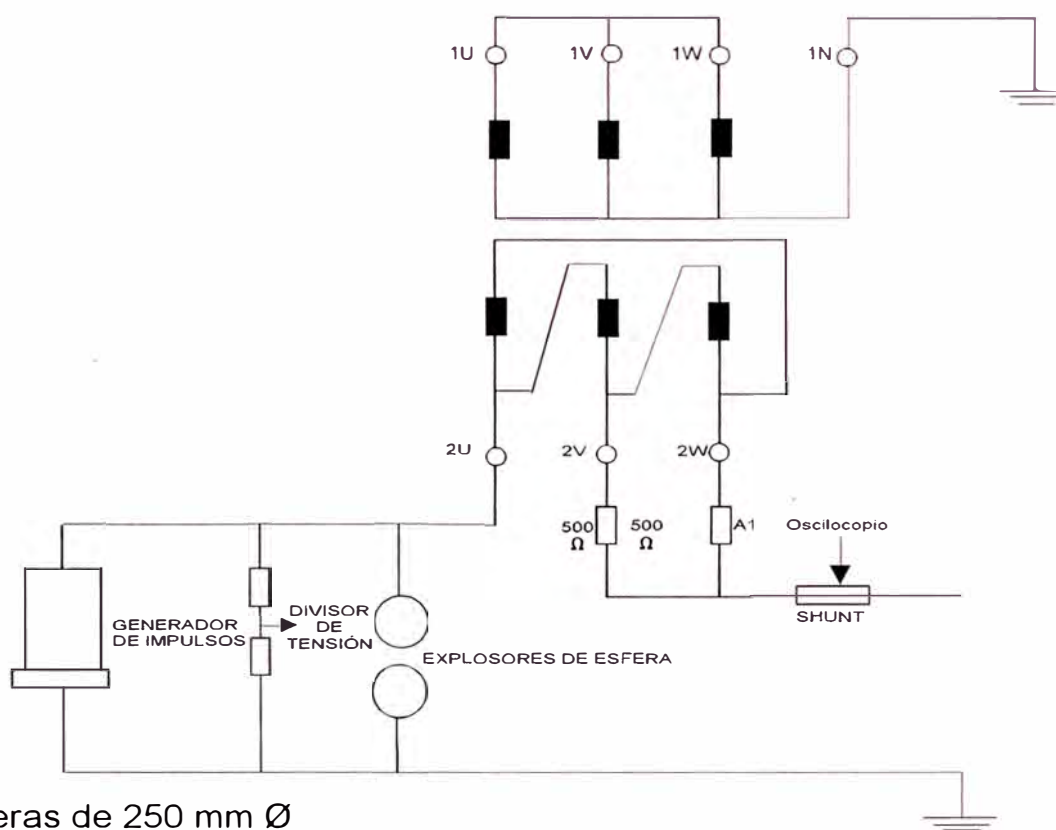
Para onda reducida : 37.5 Kv.

Para onda plena : 75 Kv.

Para onda cortada reducida : 44 Kv.

Para onda cortada plena : 88 Kv.

7.5.1 Esquema eléctrico de conexión para ensayo de onda de impulso.



7.5.2 Pruebas efectuadas.

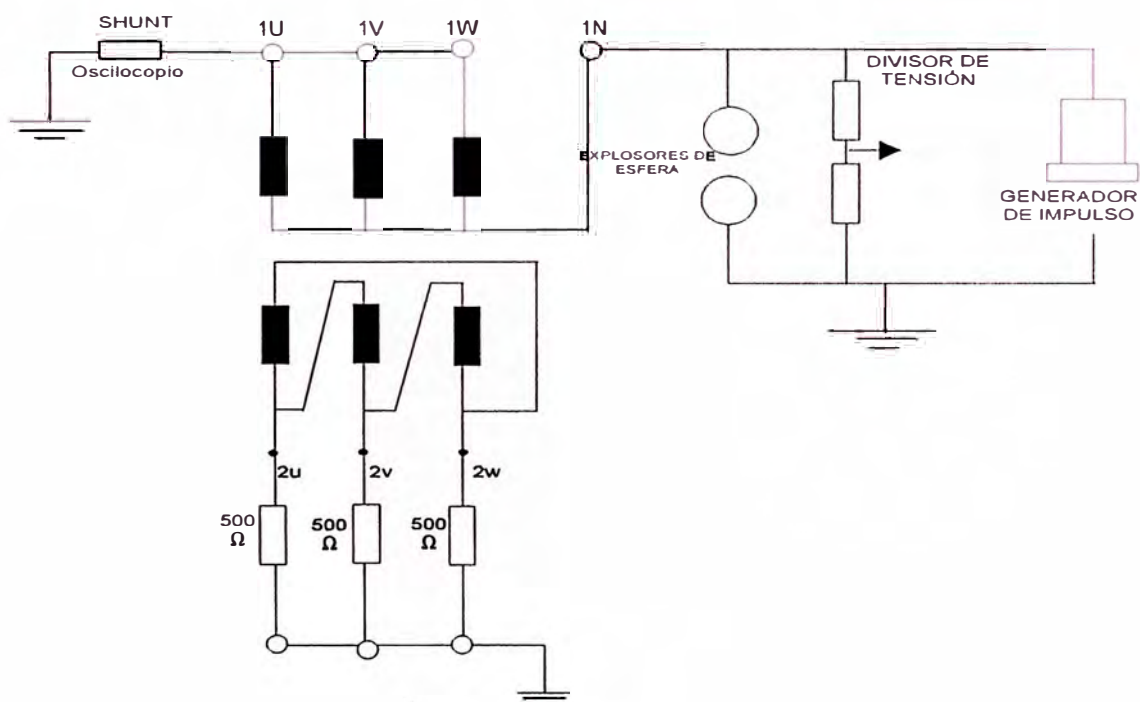
BORNE	ONDA	TIEMPO DE BARRIDO (μ s)		TENSION DE CRESTA (Kv)
2u	Onda reducida	1	50	37.5
	Onda plena	1	50	75.0
	Onda cortada reducida	1		44.0
	Onda cortada reducida	1		44.0
	Onda cortada plena	1		88.0
	Onda cortada plena	1		88.0
	Onda plena	1	50	75.0
	Onda plena	1	50	75.0
2v	Onda reducida	1	50	37.5
	Onda plena	1	50	75.0
	Onda cortada reducida	1		44.0
	Onda cortada reducida	1		44.0
	Onda cortada plena	1		88.0
	Onda cortada plena	1		88.0
	Onda plena	1	50	75.0
	Onda plena	1	50	75.0
2w	Onda reducida	1	50	37.5
	Onda plena	1	50	75.0
	Onda cortada reducida	1		44.0
	Onda cortada reducida	1		44.0
	Onda cortada plena	1		88.0
	Onda cortada plena	1		88.0
	Onda plena	1	50	75.0
	Onda plena	1	50	75.0

7.6 Tensión aplicada en borne neutro.

Para onda plena 95 Kv.

Para onda reducida 47.5 Kv

7.6.1 Esquema eléctrico de conexión para ensayo de onda de impulso.



Esferas de 250 mm Ø

Distancias entre esferas: 20 mm

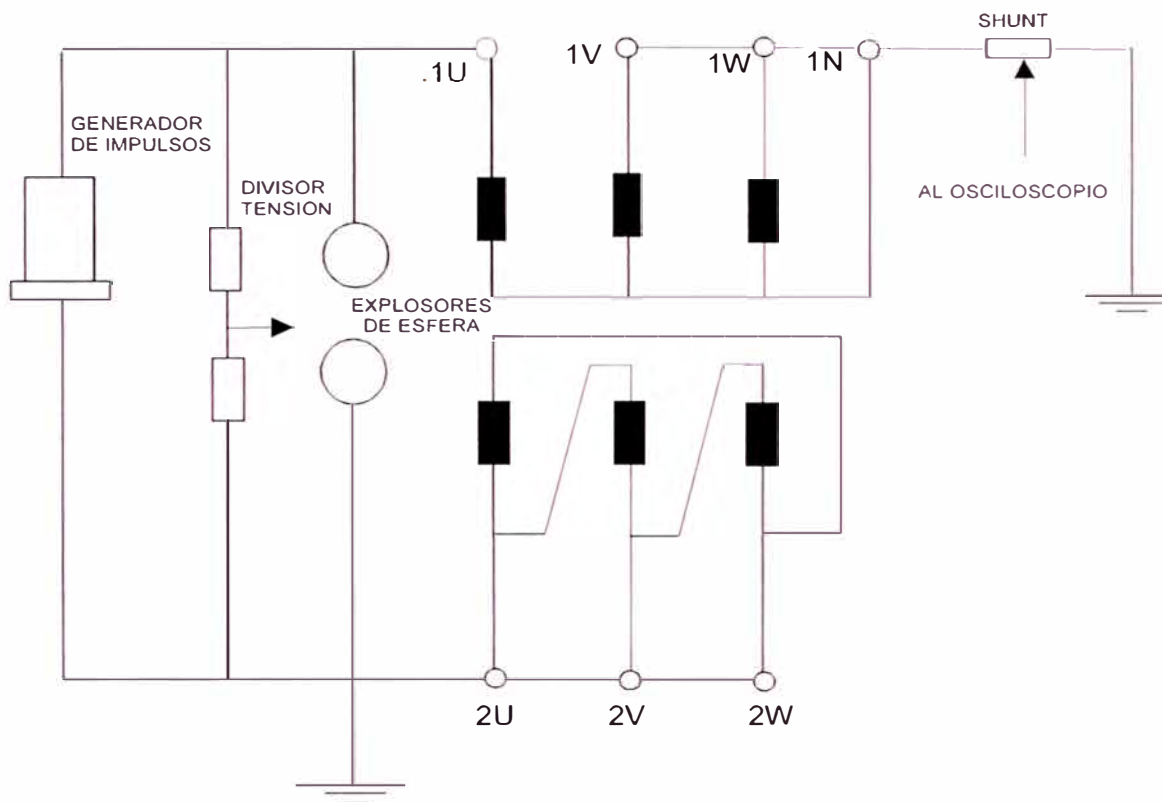
7.6.2. Pruebas efectuadas

BORNE	ONDA	ESCALA DE BARRIDO (μ s)		TENSIÓN DE CRESTA (Kv)
2U	Onda reducida	1	50	47.5
	Onda plena	1	50	95.0
	Onda plena	1	50	95.0
	Onda plena	1	50	95.0

7.7 Tensión aplicada en bornes alta tensión

Para onda reducida	162.5 Kv.
Para onda plena	325 Kv.
Para onda cortada reducida	200 Kv.
Para onda cortada plena	400 Kv.

7.7.1 Esquema eléctrico de conexión para ensayo de onda de impulso.



7.7.2 Pruebas efectuadas

BORNE	ONDA	TIEMPO DE BARRIDO (μ s)	TENSION DE CRESTA (Kv)
1U	Onda reducida	1 50	162.5
	Onda plena	1 50	325.0
	Onda cortada reducida	1	200.0
	Onda cortada reducida	1	200.0
	Onda cortada plena	1	400.0
	Onda cortada plena	1	400.0
	Onda plena	1 50	325.0
	Onda plena	1 50	325.0
1V	Onda reducida	1 50	162.5
	Onda plena	1 50	325.0
	Onda cortada reducida	1	200.0
	Onda cortada reducida	1	200.0
	Onda cortada plena	1	400.0
	Onda cortada plena	1	400.0
	Onda plena	1 50	325.0
	Onda plena	1 50	325.0
1W	Onda reducida	1 50	162.5
	Onda plena	1 50	325.0
	Onda cortada reducida	1	200.0
	Onda cortada reducida	1	200.0
	Onda cortada plena	1	400.0
	Onda cortada plena	1	400.0
	Onda plena	1 50	325.0
	Onda plena	1 50	325.0

7.8 Conclusiones:

Con este ensayo se simulan las sobretensiones de origen atmosféricos.

Son ondas de amplitud muy grande pero de una duración muy corta.

Se superó satisfactoriamente este ensayo.

CAPITULO VIII

ENSAYO TENSION APLICADA

8.1 Fundamento del ensayo

El objeto de este ensayo es asegurar que el aislamiento entre los arrollamientos y el aislamiento entre los arrollamientos y las partes conectadas a tierra soporten las sobretensiones temporarias y de maniobras que puedan ocurrir cuando están en servicio.

Se usará la norma IEC- 76.

Este ensayo es considerado de rutina.

El ensayo de tensión aplicada es realizado con una tensión alterna monofásica tan cercanamente posible a la forma senoidal y con una frecuencia no menor que el 80% de la frecuencia nominal.

El valor de pico de la tensión aplicada debe ser medido. Este valor dividido entre $\sqrt{2}$ será igual al valor de prueba.

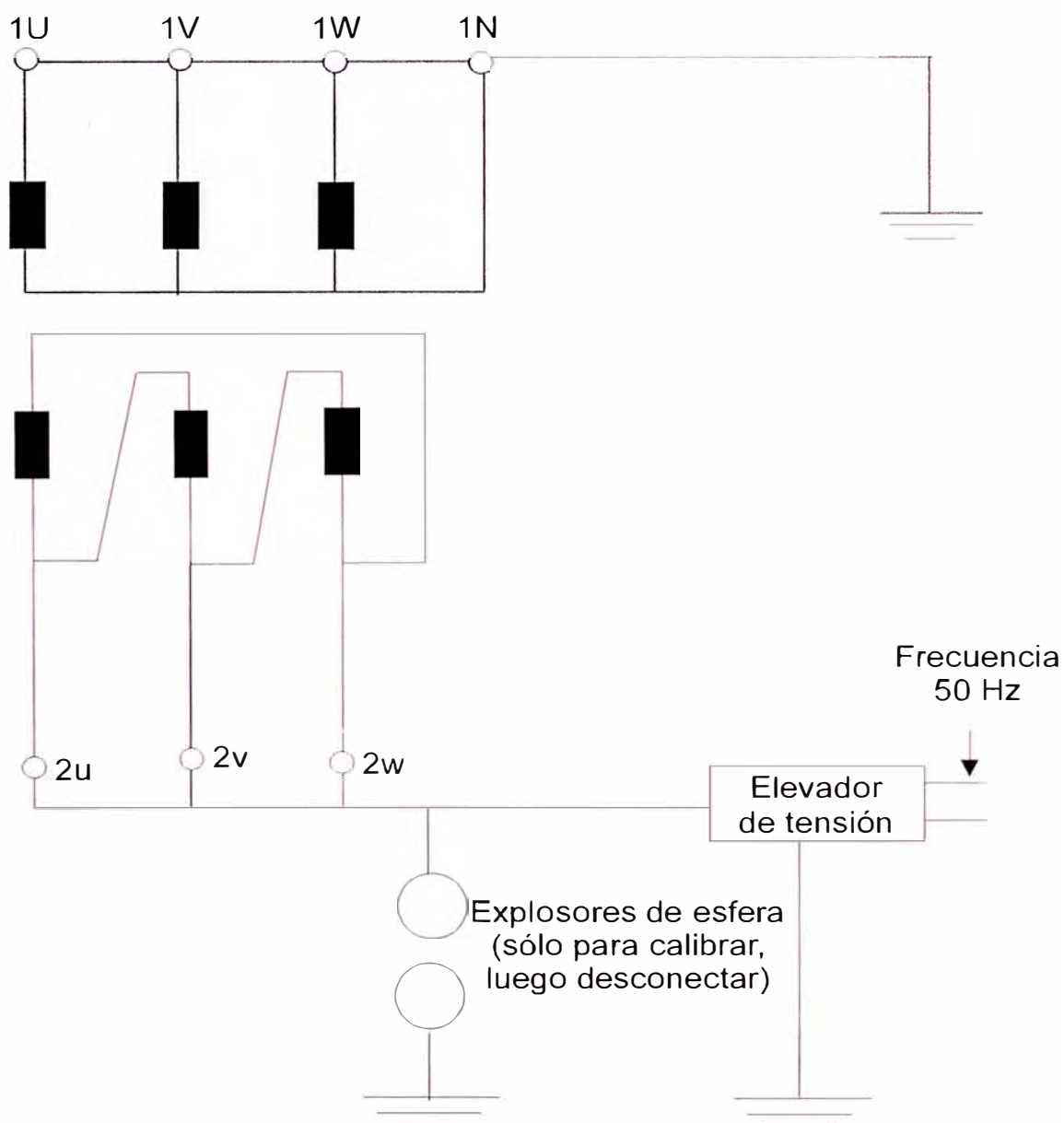
El ensayo se comenzará con una tensión no mayor que 1/3 del valor especificado y será incrementado tan rápidamente como pueda ser medido. Al final de la prueba la tensión se reducirá a menos de 1/3 del valor de prueba antes de la desconexión.

La tensión plena de prueba será aplicada durante 60 seg. entre el arrollamiento bajo prueba y todos los terminales de los restantes

arrollamientos, la carcasa, el tanque del transformador conectados juntos a tierra.

El ensayo es exitoso si ningún colapso ocurre al aplicar la tensión.

8.2 Tensión aplicada en lado de baja tensión



ESFERA DE 250 mm Ø

DISTANCIA ENTRE ESFERAS: 10 mm

8.2.1 Condiciones del ensayo

Tensión de ensayo	28 KV eff.
Frecuencia	50 Hz.
Tiempo del ensayo	60 seg.

8.2.2 Condiciones atmosféricas

Ver item 7.3

8.2.3 Factor de corrección

Ver item 7.4

8.2.4 Pruebas efectuadas

La descrita en el item 8.2.1

8.3 Tensión aplicada en el neutro**8.3.1 Condiciones del ensayo**

Tensión de ensayo	30 Kv eff
Frecuencia	50 Hz.
Tiempo	60 Seg.

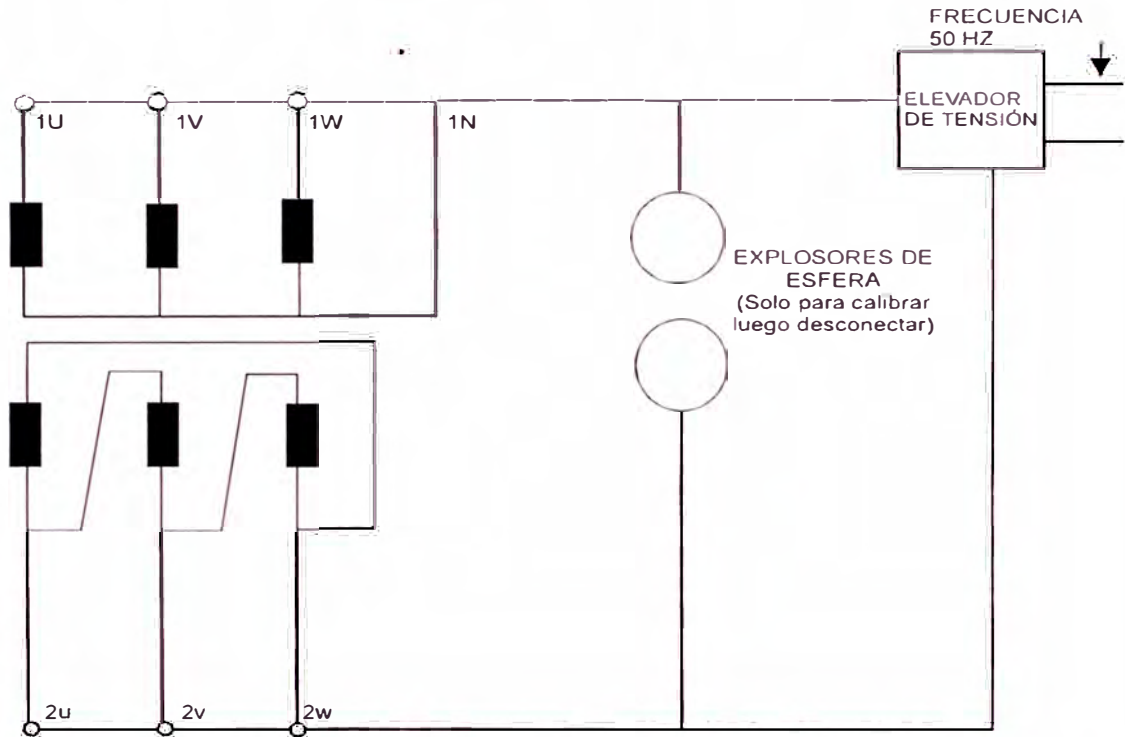
8.3.2 Condiciones atmosféricas

Ver item 7.3

8.3.3 Factor de corrección

Ver item 7.4

8.3.4 Esquema eléctrico de conexión para ensayo de tensión aplicada al neutro.



ESFERA DE 250 mm \varnothing

DISTANCIA ENTRE ESFERAS: 10 mm

8.3.5 Pruebas efectuadas

Son descritas en el ítem 8.3.1 y 8.3.4

8.4. Tensión aplicada en bornes de alta tensión

8.4.1 Condiciones del ensayo

Tensión de ensayo	140 Kv.
Frecuencia	125 Hz.
Tiempo	58 Seg.

Para esto se conectan 14.7 Kv a 125 Hz en 2 bornes del lado de baja tensión y se va a inducir los 140 Kv en las bobinas de alta tensión.

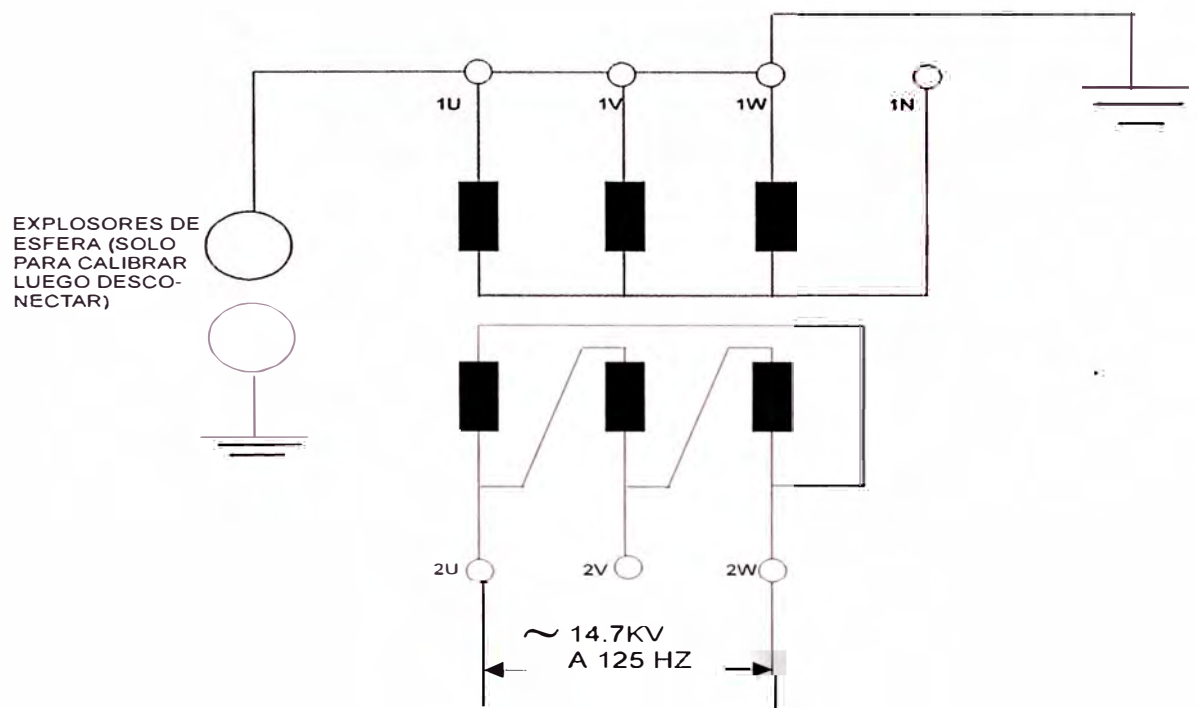
8.4.2 Condiciones atmosféricas

Ver ítem 7.3

8.4.3 Factor de corrección

Ver ítem 7.4

8.4.4 Esquema eléctrico de conexión para ensayo de tensión aplicada en alta tensión (este ensayo es la combinación de las pruebas de tensión aplicada y tensión inducida).



ESFERAS DE 250 mm \varnothing

DISTANCIA ENTRE ESFERAS: 40 mm

8.4.5 Pruebas efectuadas

Son descritas en el ítem 8.4.1 y 8.4.4

Arrollamiento fase	Tensión de ensayo (Kv)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (seg)	Bornes de alimentación
1U	140	125	58	2u - 2w
1V	140	125	58	2v - 2u
1W	140	125	58	2w- 2v

8.5 Observaciones:

Esta prueba de tensión aplicada en bornes de alta tensión se podría considerar como una prueba combinada entre el ensayo de tensión aplicada y el ensayo de tensión inducida.

Al alimentar con tensión por los bornes de baja tensión, la inducción en los bobinado de alta tensión está determinado por:

$$U = 4.44 \times f \times B \times N_1 \times S_1$$

- f : Frecuencia de la red
- B : Densidad de flujo magnético
- N₁ : Número de espiras del primario
- S₁ : Sección del Fo. del transformador

Como N₁ y S₁ son constantes (dependen de la construcción del transformador), si queremos una tensión en alta tensión de 140

Kv, usando la frecuencia de 50 Hz, se va a requerir una densidad de flujo magnético B muy alta que va a saturar el fierro magnético, es por esto que se usa una frecuencia de red de 125 Hz.

8.6 Conclusiones

Con este ensayo se comprueba que el aislamiento entre los arrollamientos y las partes conectadas a tierra soportan las sobretensiones temporarias y de maniobras que puedan ocurrir cuando está en servicio.

La prueba resultó satisfactoria.

CAPITULO IX ENSAYO DE DESCARGAS PARCIALES

9.1 Fundamento del ensayo

Norma IEC 270

Esta norma se aplica a la medición de descargas parciales durante ensayos con tensión alterna, pero en términos generales, las definiciones y requerimientos son a menudo aplicables para mediciones de las descargas parciales durante los ensayos con tensión directa.

Las mediciones de las descargas parciales son hechas para los siguientes propósitos:

- Para verificar que el objeto ensayado, no presenta descargas parciales mayores que una determinada magnitud, a una tensión especificada.
- Para determinar la amplitud del voltaje, a la cual las descargas parciales de una especificada baja magnitud comienzan a incrementarse con el paralelo incremento de tensión o cesan con la disminución de tensión.
- Para determinar la magnitud de una específica cantidad de descarga a un voltaje específico.

Las descargas parciales las cuales son consideradas en esta norma son descargas eléctricas localizadas en el aislamiento intermedio, restringida a solamente una parte del dieléctrico bajo ensayo y que solamente puentean parcialmente el aislamiento entre conductores. Las descargas ocurren mayormente en forma de pulsos individuales, los cuales pueden ser detectados como pulsos eléctricos en un circuito externo conectado al objeto ensayado. Sin embargo una forma continua puede ocurrir llamada también descarga de pulsos. Esta forma normalmente no es detectada por los métodos de medición descritos en esta norma.

Las descargas parciales pueden ocurrir en cavidades en aislamientos sólidos, en burbujas de gases en aislamientos líquidos o entre placas de aislamiento con características dieléctricas diferentes. Ellas también pueden ocurrir en límites de bordes filudos o puntas de superficies metálicas.

Aún si las descargas parciales involucran una pequeña cantidad de energía, pueden progresivamente deteriorar las propiedades dieléctricas de los materiales aislantes.

El objetivo de la norma es:

Definir los términos usados.

Definir las cantidades relevantes a ser medidas.

Describir el ensayo y los circuitos a ser usados.

Recomendar algunos tipos de medición y los instrumentos adecuados para aplicaciones particulares.

Recomendar métodos de calibración.

Describir el procedimiento del ensayo.

Dar alguna ayuda concerniente a la discriminación de las descargas parciales de las interferencias externas.

A continuación algunas definiciones:

Descarga parcial: Es una descarga eléctrica que solamente puentea parcialmente el aislamiento entre conductores. La descarga puede ocurrir adyacente a un conductor como también puede no ocurrir.

En general el término " ionización " no debería ser usado para denotar un caso particular de descarga parcial.

- **Cantidades relacionadas a las descargas parciales:**

En general las descargas parciales que ocurren en algún objeto en ensayo bajo determinadas condiciones pueden ser caracterizadas por diferentes cantidades medibles tales como carga, repetitibilidad, etc.

Carga aparente: La carga aparente para una descarga parcial es la carga que si fuera inyectada instantáneamente entre los terminales del objeto en ensayo, debería momentáneamente cambiar el voltaje entre sus terminales en la misma cantidad que la descarga parcial propia. La carga aparente es expresada en pico coulombios.

Nota : La carga aparente no es igual a la cantidad de carga localizada en el sitio de la descarga, la cual no puede ser directamente medida.

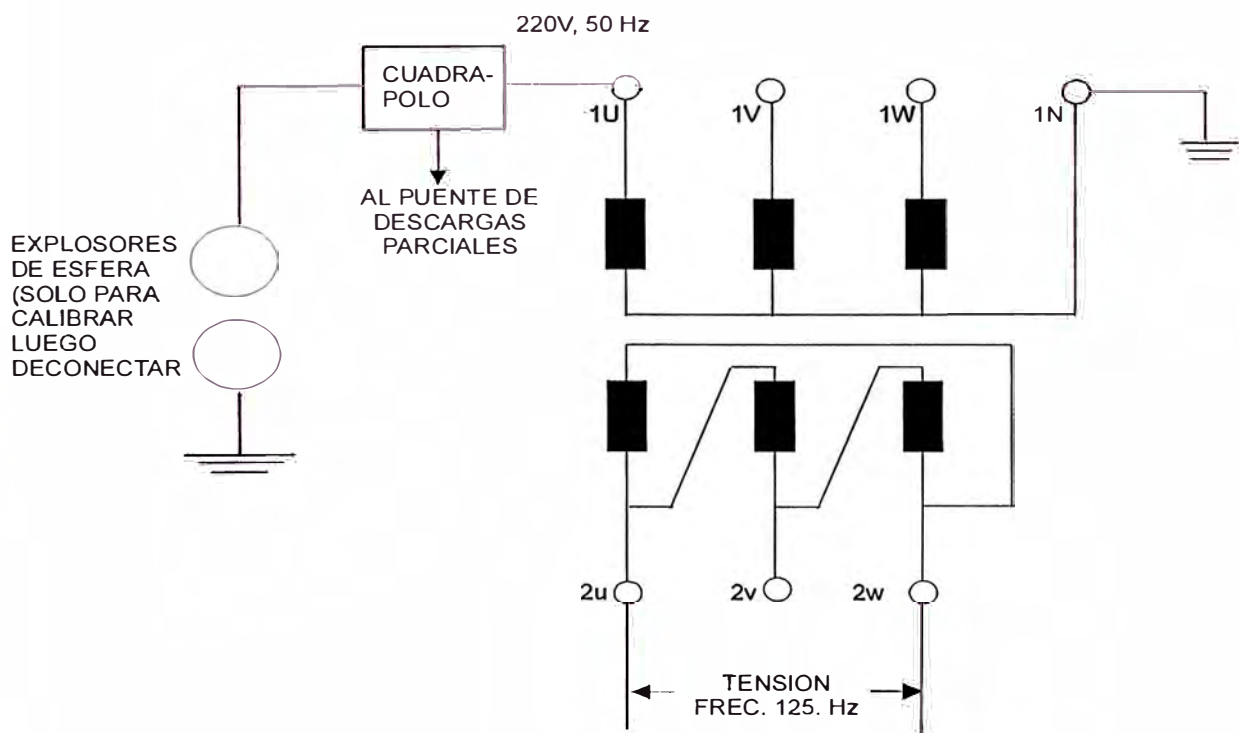
9.2 Instrumentos empleados

- Puente de descargas parciales HAEFELY type 562.
- PD detector type 561
- Cuadripolo HAEFELY.

9.3 Condiciones del ensayo

Arrollamiento alta tensión :	60 Kv.
Máxima tensión de línea :	72.5 Kv eff.
Tensión de pre stress :	$\frac{72.5}{\sqrt{3}} \times 1.5 = 62.8\text{Kv}$
Tensión de stress :	72.5 Kv.
Tensión de medición :	62.8 Kv.
Frecuencia :	125 Hz.

9.4 Esquema eléctrico de conexiones.



9.5 Pruebas efectuadas

	BORNES 1U	BORNES 1V	BORNES 1W
TENSIÓN DE PRE STRESS (Kv) Durante 5'	62.8	62.8	62.8
TENSION DE STRESS (Kv) Durante 5'	72.5	72.5	72.5
TENSION DE MEDICIÓN (Kv) Durante 30'	62.8	62.8	62.8
FRECUENCIA (Hz)	125	125	125
NIVEL DESCARGA PARCIAL (pc)	< 105	< 108	< 130

9.6 Conclusiones

Los valores de nivel de descarga parcial están en rangos menores que lo máximo admisible por la norma que es de 500 pc.

CAPITULO X MEDICION DE CAPACIDAD Y TANGENTE δ

10.1 Fundamento del ensayo

En un condensador ideal, la tensión y la corriente están desfasadas en 90° . En un condensador real, en cambio, el desfase es menor debido a que la corriente tiene una componente en fase con la tensión y que es producida por las pérdidas totales en el dieléctrico, la influencia de esta última se puede tomar en cuenta colocando una resistencia en paralelo con el condensador y asumiendo que a través de ella pasa una corriente que produce exactamente las pérdidas totales en el dieléctrico, es decir, será la suma de la corriente de fuga con la corriente de pérdida por histéresis del dieléctrico.

Si las pérdidas totales son W , entonces podremos escribir :

$$\frac{V^2}{r} = W$$

Y deducir el valor de

$$r = \frac{V^2}{W}$$

Por otro lado

$$I_r = \frac{V}{r}$$

$$I_c = \frac{V}{X_c}$$

El ángulo δ se le denomina ángulo de pérdidas y su tangente es el factor de pérdidas.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{V}{r \omega C V} = \frac{1}{\omega r C} = \frac{1}{2 \pi f r C}$$

$$\text{por tanto, } \operatorname{tg} \delta = \frac{W}{2 \pi f V^2 C}$$

Es decir que : $W = 2 \pi f C \operatorname{tg} \delta V^2$

Como puede verse, las pérdidas son proporcionales a este factor de pérdidas lo cual nos da una idea de la calidad del dieléctrico.

Este factor tiene un determinado valor para cada dieléctrico aunque varía con la frecuencia y la temperatura. También es influenciado por la intensidad del campo ϵ a la cual está sometido el dieléctrico. Para valores muy altos de la ϵ , la $\operatorname{tg} \delta$ crece considerablemente hasta que se produce la ruptura del aislante.

“La $\operatorname{tg} \delta$ no debe ser mayor de 0.5 %”

Medición de las pérdidas dieléctricas

Como la temperatura influye sobre la magnitud de estas pérdidas y por tanto, sobre la tensión disruptiva permanente, la medida de las mismas debe efectuarse, la mayoría de las veces, a la temperatura de servicio.

Se han desarrollado una serie de procedimientos para efectuar esta clase de medidas, entre los cuales, quizás el más extendido es el puente Schering.

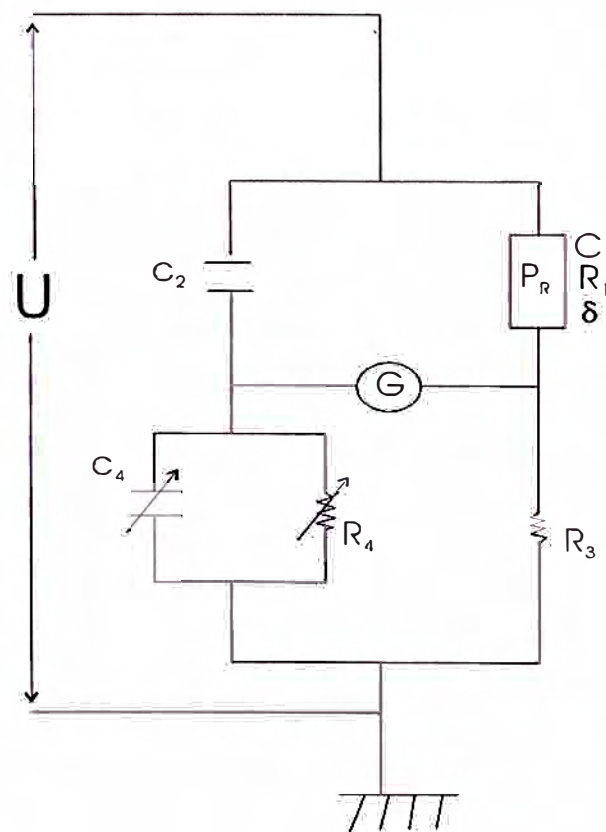
Dos de las ramas del mismo, constituidas, una por el condensador sin pérdidas, C_2 y la otra por el objeto de ensayo P_r , se hallan sometidas a la alta tensión, las otras dos, formadas por las resistencias de precisión R_3 y R_4 , y el condensador regulable C_4 , se hallan conectados a bajo voltaje. Como instrumento de medida G , se emplea generalmente un galvanómetro de vibración o bien un indicador de corriente nula.

La medición se efectúa variando C_4 , R_4 y R_3 hasta conseguir el equilibrio del puente, marcando cero el instrumento. Entonces por los métodos bien conocidos se deduce:

$$\operatorname{tg} \delta = R_4 (2\pi) f C_4$$

$$R_1 = R_3 \frac{C_4}{C_2}$$

$$C_1 = C_2 \frac{R_4}{R_3}$$



de donde siendo $\text{tg } \delta$ muy pequeña

$$W = (U2\pi fR_4)^2 \frac{C_2 C_4}{R_3} \text{ Watts}$$

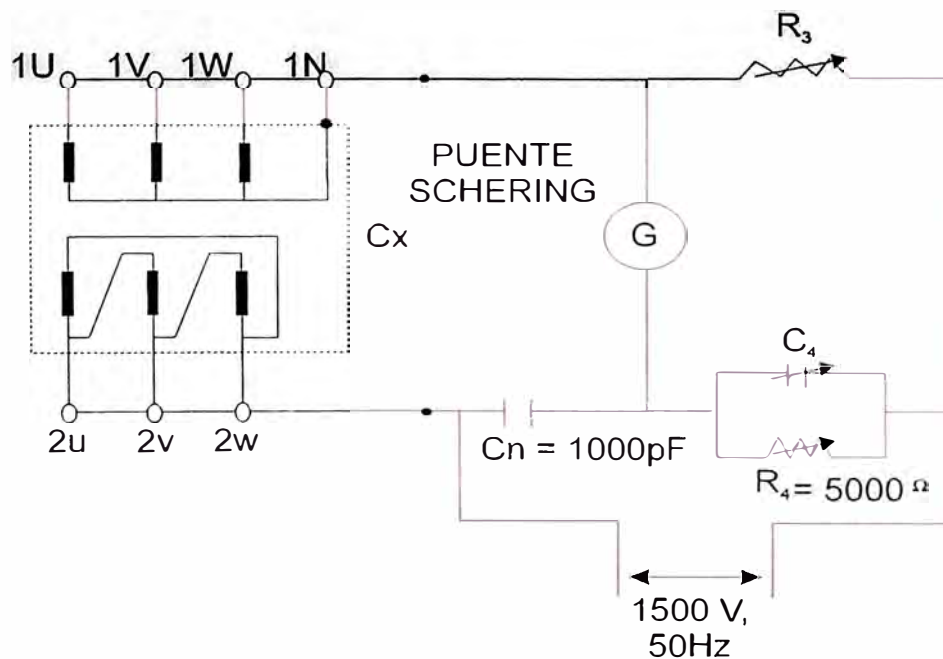
ó también

$$W = U^2 2\pi f C_1 \text{ tg} \delta \text{ watts}$$

C_2, C_3 en faradios, R_3 en ohmios, f en hertzios.

En esta fórmula R_1 es la resistencia que representa a las pérdidas en el objeto de ensayo, imaginada en serie con la capacidad C_1 del mismo, supuesta esta última exenta de toda clase de pérdidas (si la resistencia se imagina conectada en paralelo con C_1 , las fórmulas y el valor de R_1 resultan distintos, pero la expresión de W seguirá siendo la misma indistintamente). Como capacidad C_2 se emplea un condensador de aire sin pérdidas.

10.2 Esquema de conexiones baja tensión/ Alta tensión - Cuba



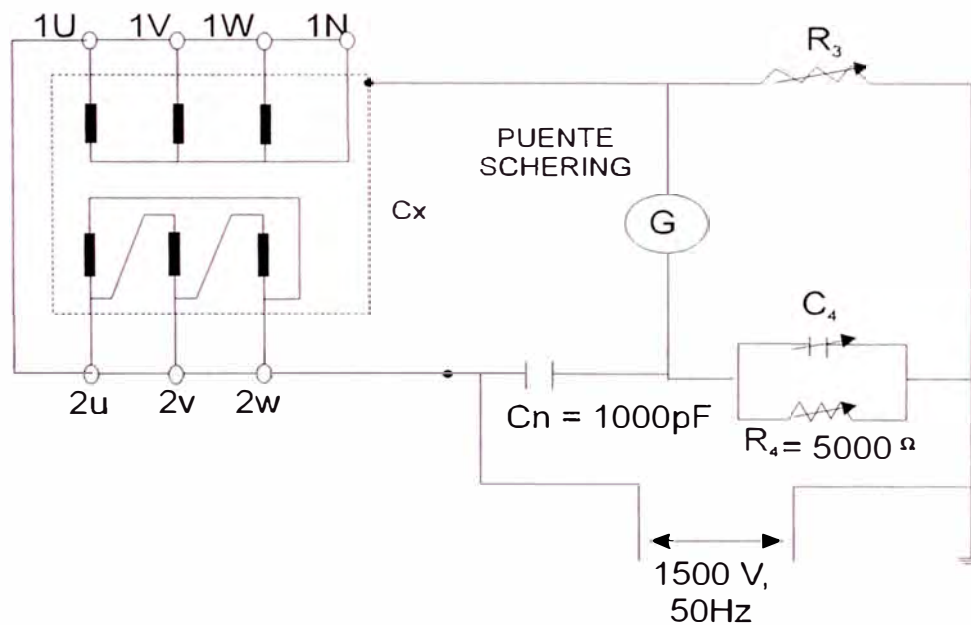
10.2.1 Fórmulas empleadas y resultados obtenidos

$$C_x = C_n \frac{R_4}{R_3}$$

$$\% \text{tg } \delta = 100 [2\pi f C_4 R_4]$$

R_3 (Ω)	R_4 (Ω)	C_n (pF)	C_x (pF)	C_4 (pF)	Tg δ (%)
303.4	5,000	1,000	16,479.8	2,528	0.397

10.3 Esquema de conexiones alta tensión/Baja tensión - Cuba



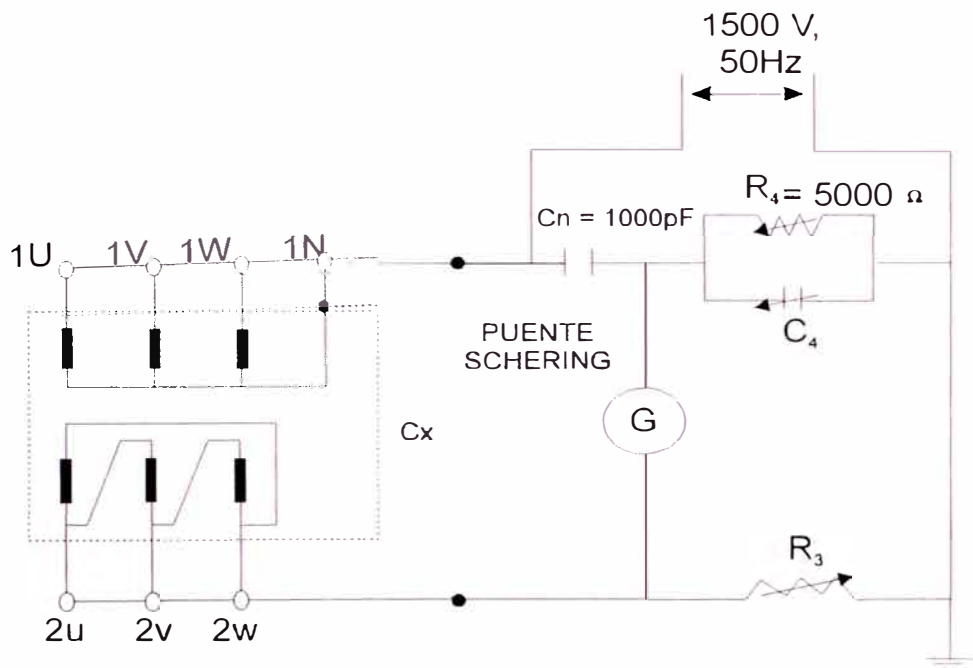
10.3.1 Fórmulas empleadas y resultados obtenidos

$$C_x = C_n \frac{R_4}{R_3}$$

$$\% \text{tg } \delta = 100 [2\pi f C_4 R_4]$$

R ₃	R ₄	C _n	C _x	C ₄	Tg δ
(Ω)	(Ω)	(pF)	(pF)	(pF)	(%)
460.43	5,000	1,000	10,859.4	2,164	0.340

10.4 Esquema de conexiones alta tensión/Baja tensión - Cuba



10.4.1 Fórmulas empleadas y resultados obtenidos

$$C_x = C_n \frac{R_4}{R_3}$$

$$\% \text{ tg } \delta = 100 [2\pi f C_4 R_4]$$

R ₃	R ₄	C _n	C _x	C ₄	Tg δ
(Ω)	(Ω)	(pF)	(pF)	(pF)	(%)
443	5,000	1,000	11,286.7	1,962	0.308

10.5 Conclusiones:

Esta prueba es especial con fines predictivos en cuanto al aislamiento; los valores obtenidos son referenciales para en un futuro tomarlos como comparación; como regla general la $\text{tg}\delta$ no debe ser mayor de 0.5%, lo cual satisface la prueba.

Si existiera la posibilidad de adquirir instrumentos portátiles para probar cables, motores y generadores se recomienda hacerlo cada dos (2) años.

CAPITULO XI MEDICION DE PERDIDAS Y CORRIENTE EN VACIO

11.1 Fundamento del ensayo

Norma IEC 76 – 1

Pérdidas en vacío: Es la potencia activa absorbida cuando una tensión nominal a una frecuencia nominal es aplicada a los terminales de uno de los devanados mientras que el otro o los otros devanados están a circuito abierto.

Corriente en vacío: Es el valor r.m.s. de la corriente que está circulando a través de un terminal de línea de un devanado cuando se le está aplicando la tensión nominal a la frecuencia nominal, mientras que el otro devanado o los otros devanados están en circuito abierto.

NOTAS :

1. Para un transformador trifásico el valor de corriente en vacío es la media aritmética de los valores de la corriente en las tres fases.
2. La corriente en vacío de un devanado es a menudo expresada como un porcentaje de la corriente nominal del devanado

La norma da una tolerancia de + 30% sobre el valor declarado de Corriente en Vacío.

Se mide la tensión aplicada con la ayuda de un voltímetro que mide el valor medio de la tensión y un voltímetro que mide el valor eficaz de la tensión.

Para determinar las pérdidas en vacío a la tensión nominal E , cuando esta tensión aplicada no es sinusoidal, se miden las pérdidas en vacío P_m a la tensión nominal E_m utilizando el voltímetro que indica la tensión media. En el curso del mismo ensayo se mide igualmente el valor eficaz E de la misma tensión.

Las pérdidas en vacío con una tensión sinusoidal son dadas por la fórmula:

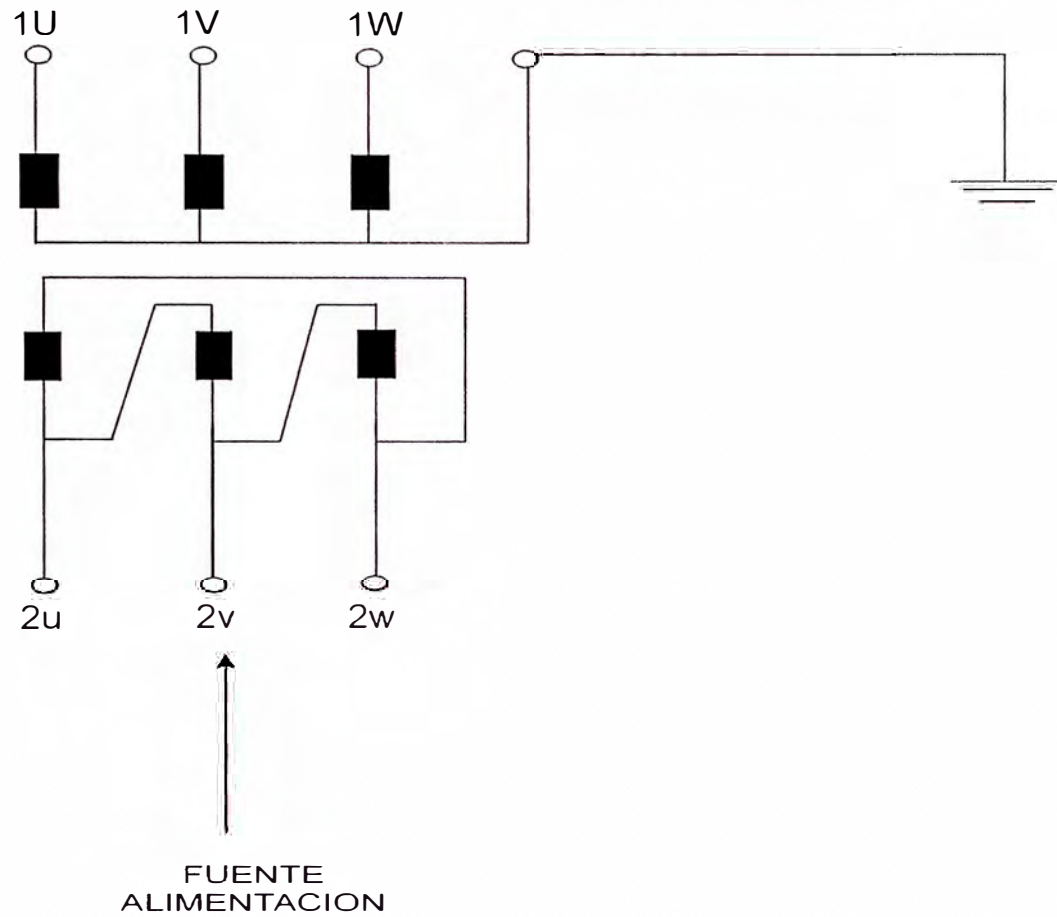
$$P = \frac{P_m}{0.5 + (E / E_m)^2 \times 0.5}$$

La norma da una tolerancia de + 15% de las pérdidas garantizadas, considerando que la tolerancia por pérdidas totales no se haya excedido.

Las pérdidas en vacío garantizadas por el fabricante son de 16,000 watts.

La corriente en vacío garantizada por el fabricante para el arrollamiento primario es de 1.2 A.

11.2 Esquema eléctrico de conexión



11.3 Instrumentos utilizados

- Vatímetros, $\cos \phi = 0.1$.
- 1 Voltímetro de valor medio + conmutador.
- 1 Voltímetro de valor eficaz + conmutador.
- Amperímetro + conmutador.

11.4 Cálculo de constantes y relaciones

$$\text{Trans. tensión} = \frac{1500 / \sqrt{3}}{150 / \sqrt{3}} = 100 \quad \text{Cte. V} = \frac{100 \sqrt{3} \times 60}{120} = 86.6$$

$$\text{Trans corriente} = 10/5 = 2 \quad \text{Cte. Amp.} = 2 \times 6/120 = 0.1$$

$$\text{Cte. vatimétrica} = 100 \times 2 \times 5 \times 0.1 \times \frac{75}{150} = 50$$

11.5 Procedimientos de cálculo

11.5.1 Voltaje medio y eficaz

	U	V	W	$[\Sigma (U+V+W) / 3] \times \text{Cte. V}$
E	62.5	70.2	60.0	$[(62.5+70.2+60) / 3] \times 86.6 = 5563 \text{ volt} = E$
E _m	62.0	69.0	60.0	$[(62+69+60) / 3] \times 86.6 = 5514 \text{ volt} = E_m$

11.5.2 Potencia

$$P_m = (U+V+W) \times \text{Cte vatimétrica}$$

U	V	W	$\Sigma (U+V+W)$	Cte.	P _m (Watts)
60.7	100.5	86	247.2	50	12,360

$$P = \frac{P_m}{0.5 + 0.5 K}$$

$$K = (E / E_m)^2$$

$$P = \frac{12,360}{0.5 + (5,563 / 5,514)^2 \times 0.5} = 12,251 \text{ W}$$

$$a \ E_m = 5,514 \text{ V.}$$

11.6 Tabla de pérdidas

11.6.1 Voltaje medio y eficaz

	U	V	W	Valor promedio (Volt)
E ₁	62.5	70.2	60.0	5,563
E _{m1}	62.0	69.0	60.0	5,514
E ₂	66.8	74.7	63.7	5,923
E _{m2}	65.4	73.0	64.0	5,843
E ₃	68.5	76.4	65.0	6,059
E _{m3}	66.8	75.0	65.0	5,969
E ₄	75.0	82.8	70.3	6,585
E _{m4}	71.4	80.0	69.2	6,368
	80.0	87.6	75.0	7,003
E _{m5}	74.6	83.4	72.8	6,663

11.6.2 Corriente en vacío referida al secundario

	U	V	W	Valor promedio (Amp)
I _{o1}	21.3	21.0	25.0	2.24
I _{o2}	25.3	24.8	29.0	2.64
I _{o3}	27.7	26.5	31.0	2.82
I _{o4}	34.8	34.3	39.0	3.60
I _{o5}	44.3	43.5	48.7	4.55

11.6.3 Potencia y pérdidas

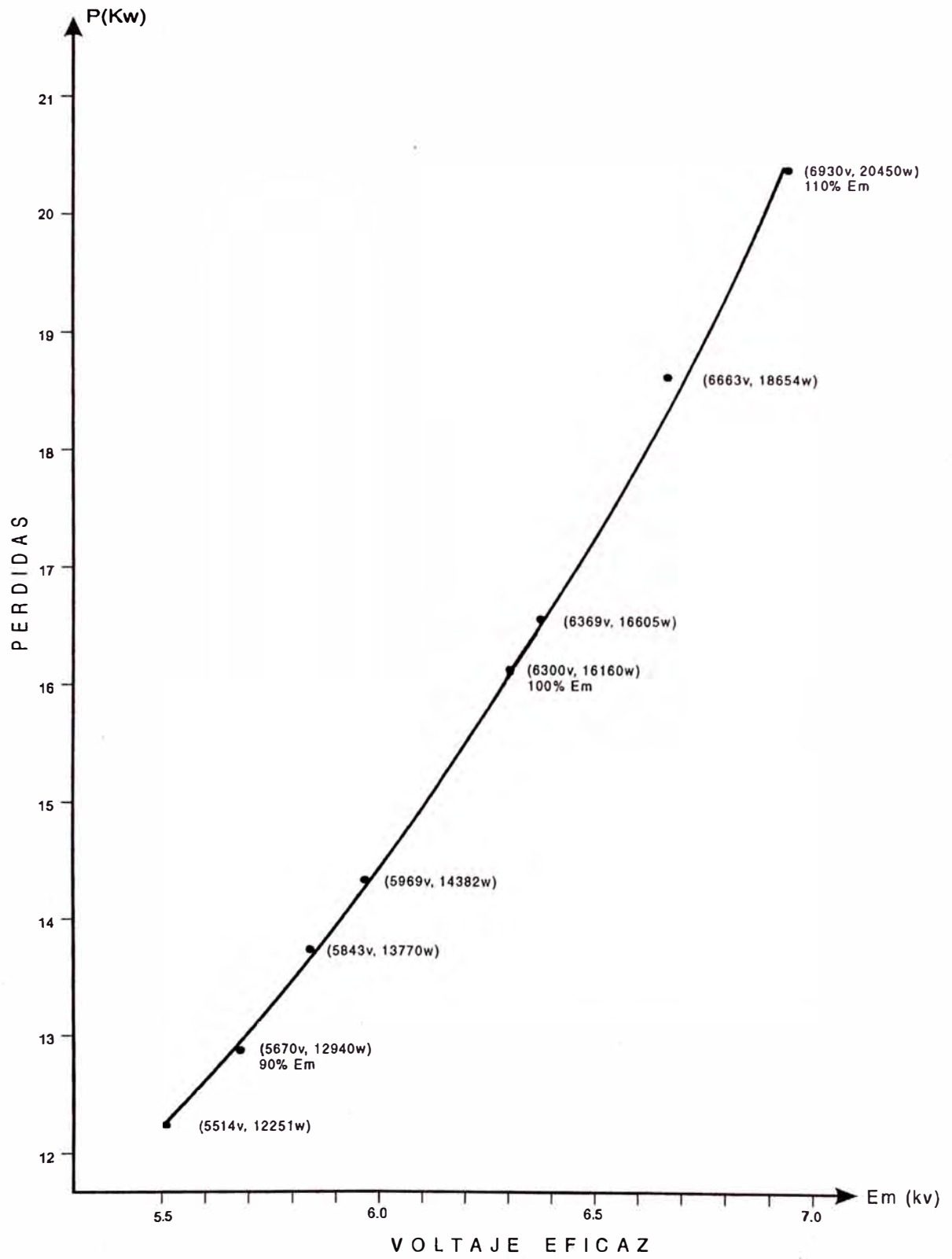
Lectura	U	V	W	$\Sigma (U+V+W)$	P_m (Watts)	P (Watts)
1	60.7	100.5	86.0	247.2	12,360	12,251
2	69.2	115.5	94.5	279.2	13,960	13,770
3	71.5	120.0	100.5	292.0	14,600	14,382
4	43.5	72.8	55.5	171.8	17,180	16,605
5	49.0	83.3	64.0	196.3	19,630	18,654

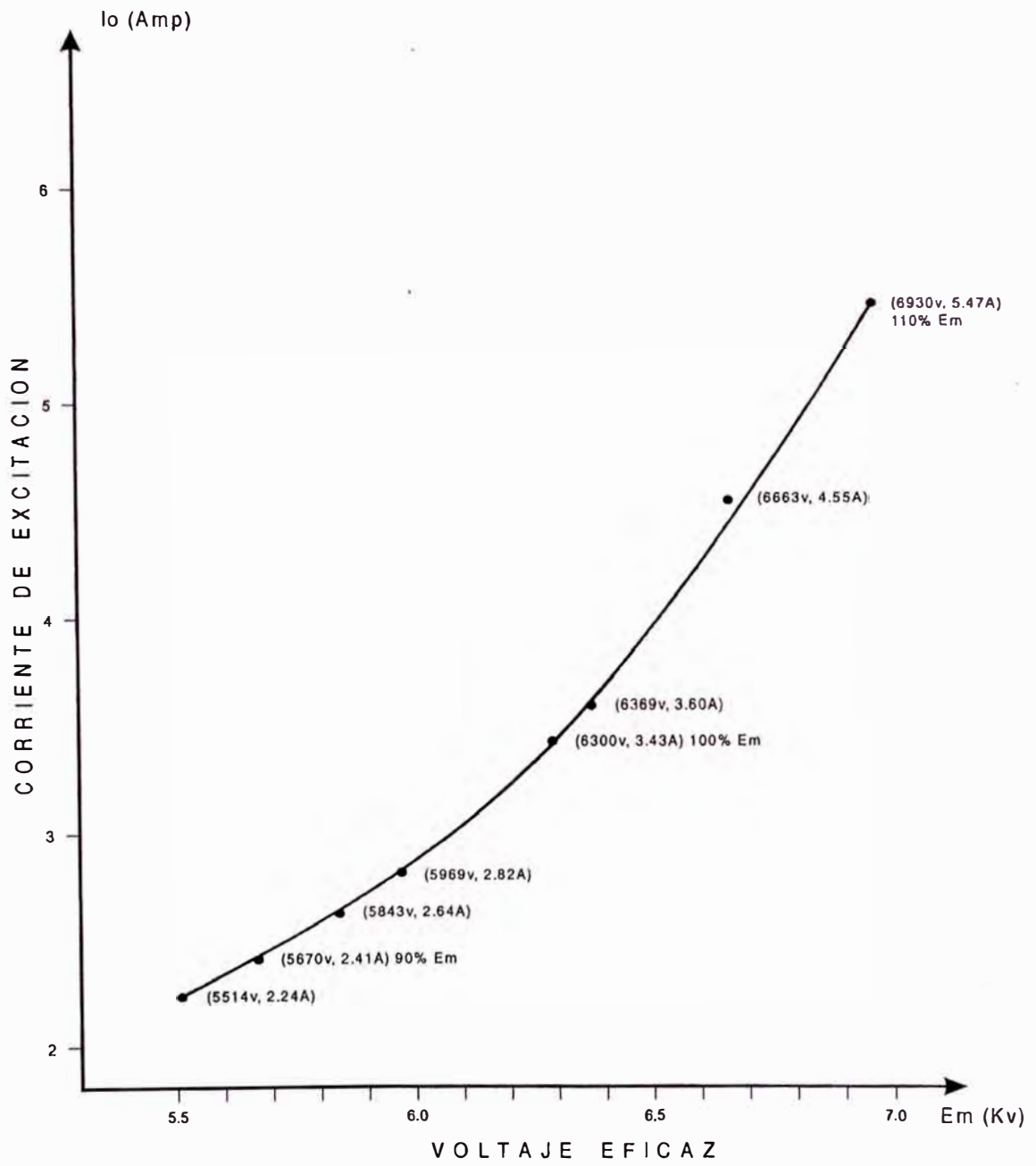
Con valores de potencia P_1 al P_5 y los correspondientes valores de tensión media se grafica la curva P vs E_m . obteniéndose las pérdidas a condiciones nominales; así mismo graficamos la corriente de excitación en el secundario con respecto a la tensión media, I_o vs E_m .

11.7 Cuadro de resultados:

%	E_m (Volt)	P (Watts)	I_o (A)
110	6,930	20,450	5.47
100	6,300	16,160	3.43
90	5,670	12,940	2.41

I	E_{mi} (Volt)	P_i (Watts)	I_{oi} (A)
1	5,514	12,251	2.24
2	5,843	13,770	2.64
3	5,969	14,382	2.82
4	6,369	16,605	3.60
5	6,663	18,654	4.55





11.8 Conclusiones:

Las pérdidas garantizadas por el fabricante son 16,000 W.

La tolerancia exigida por la norma es de +15%

Por tanto podemos aceptar pérdidas hasta de 18,540 watts.

Del ensayo hemos obtenido pérdidas en vacío reales de 16,160 watts, que es apenas el 1% de las pérdidas garantizadas.

La corriente en vacío garantizada por el fabricante es de 1.2 A en el arrollamiento primario.

La norma exige un máximo de +30% del valor garantizado.

Por tanto podemos aceptar una corriente en vacío de 1.56 A

Del ensayo hemos obtenido un valor de corriente en vacío en el lado secundario de 3.43 A. que reflejada al lado primario será:

$$I_o = 3.43 / a$$

$$\text{Donde : } a = 60,000 / 6,300 = 9.524$$

Por tanto:

$$I_o = 3.43 / 9.524$$

$$I_o = 0.360 \text{ A}$$

CAPITULO XII ENSAYO DE NIVEL DE RUIDO

12.1 Fundamento del ensayo

Por vibración de las chapas del núcleo se producen ruidos de magnetización, que dependen de la inducción, calidad de la chapa, construcción y mecanizado, y además considerablemente de las condiciones locales. Se pueden disminuir los ruidos por ejecuciones especiales. En la tabla adjunta se indican los valores de ruido máximo admisibles para transformadores de aceites normales.

Todo transformador, antes de su expedición es sometido a una prueba de nivel de ruido. Las tolerancias señaladas en las pruebas siguientes, son divergencias admisibles de los valores de medida con relación a los valores nominales.

Potencia nominal hasta (KVA)	Intensidad de ruido (dB)
	Medido a una distancia de

1 m	3 m
-----	-----

100	46	-
1,000	54	-
5,000	61	57
10,000	-	62
40,000	-	79

12.2 Condiciones del ensayo:

Tensión de alimentación : 6,300V (trifásico por el lado de baja tensión).

Frecuencia : 60 Hz.

12.3 Instrumentos utilizados:

Instrumento medidor de nivel sonoro Altronix Mod. S1

12.4 Mediciones obtenidas

12.4.1 Mediciones con ventiladores fuera de servicio.

Se tomaron 12 mediciones alrededor del transformador a una distancia de 30 cm del transformador.

POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NIVEL DE RUIDO (db)	75.0	75.0	78.0	74.5	78.0	77.5	75.5	76.0	77.0	77.5	74.5	78.0

12.4.2 Mediciones con ventiladores funcionando

Se tomaron 12 mediciones alrededor del transformador a una distancia de 2 mt. del mismo.

POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NIVEL DE RUIDO (db)	81.0	81.0	81.0	81.0	81.5	81.5	81.0	82.0	81.0	80.5	80.0	81.0

12.4.3 Mediciones con ventiladores fuera de servicio y transformador desenergizado.

Se tomaron 12 mediciones alrededor del transformador para detectar el nivel de ruido del medio ambiente.

POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NIVEL DE RUIDO (db)	62.0	61.0	61.0	61.5	60.0	61.0	62.0	60.5	61.0	62.5	62.5	62.0

12.5 Cálculos efectuados

Asumiendo que existe el fenómeno de superposición tendremos que restar el valor del nivel del ruido del medio ambiente y así obtendremos el nivel de ruido efectivo del transformador.

POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CON VENTIL. FUERA DE SERVICIO (db)	13.0	14.0	17.0	13.0	18.0	16.5	13.5	15.5	16.0	15.0	12.0	12.0
CON VENTIL. FUNCIONANDO (db)	19.0	20.0	20.0	19.5	21.5	20.5	19.0	21.5	20.0	18.5	18.5	19.0

12.6 Conclusiones

El nivel de ruido obtenido es satisfactorio. Teniendo en cuenta que las especificaciones técnicas exigen un nivel de ruido inferior a 79 db.

CAPITULO XIII ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

13.1 Fundamento del ensayo

Mediante esta prueba el fabricante trata de demostrar al cliente que las pérdidas garantizadas para corriente nominal y temperatura de los arrollamientos de 75 °C es la establecida, además la tensión de cortocircuito está dentro de los valores declarados.

Las pérdidas bajo carga garantizadas por el fabricante del transformador a 75 °C son: 91,000 watts.

La tensión de cortocircuito garantizada por el fabricante es de 10.0 %.

Se usará la norma IEC- 76-1.

Es considerado un ensayo de rutina.

En este ensayo de pérdidas con carga se toman mediciones de la potencia activa absorbida por el transformador a la frecuencia nominal y a la temperatura de referencia de 75 °C. referentes a un par de arrollamientos cuando la corriente nominal (tap nominal) está circulando en los terminales de línea de uno de los arrollamientos y los terminales del otro arrollamiento están en cortocircuito.

Se llama Impedancia de Cortocircuito a la impedancia serie equivalente $Z = R + jX$ en ohmios a la frecuencia nominal y temperatura de referencia de 75 °C, en los terminales de un arrollamiento cuando los terminales del otro arrollamiento permanecen en cortocircuito. En un transformador trifásico, la impedancia es expresada como impedancia de fase (equivalente a la conexión estrella).

En un transformador con taps la impedancia de cortocircuito es referida a un tap en particular. Por lo general sólo se hace referencia al tap nominal.

La impedancia de cortocircuito se expresa como una fracción "z" de la impedancia de referencia " Z_{ref} " del mismo arrollamiento. La anotación porcentual es:

$$z = 100 \frac{Z}{Z_{ref}}$$

Donde:

$$Z_{ref} = \frac{U^2}{S_r}$$

U : Tensión nominal del arrollamiento al cual se refieren Z y Z_{ref}

S_r : Valor referencial de la potencia nominal

El valor relativo es también igual a la relación entre la tensión aplicada durante la medición del ensayo de cortocircuito que ocasiona la circulación de la corriente nominal; y la tensión nominal.

La tensión aplicada es referida como tensión de cortocircuito del par de arrollamientos. Es normalmente expresada como un porcentaje.

Para efectos prácticos del ensayo, la corriente se corrige multiplicándola por la relación obtenida entre el cuadrado de la corriente nominal y el cuadrado de la corriente utilizada para el ensayo. Las pérdidas así obtenidas deben de ser llevadas a la temperatura de referencia de 75 °C teniendo en cuenta el hecho que las pérdidas Joule RI^2 varían en razón directa y las otras pérdidas en razón inversa de la resistencia.

La resistencia de las conexiones utilizadas debe de ser suficientemente baja para no afectar los resultados de las medidas. En caso contrario se deben considerar estas pérdidas.

Tolerancias

La tolerancia para las pérdidas bajo carga son el + 15% de las pérdidas garantizadas por el fabricante, teniendo en cuenta que la tolerancia para las pérdidas totales no sea excedida del 10%.

Las tolerancias para la impedancia de cortocircuito para un transformador con dos devanados es:

a) En el tap principal:

- Cuando la impedancia de cortocircuito garantizada es 10%, la tolerancia es del $\pm 7.5\%$.
- Cuando la impedancia de cortocircuito garantizada es $<10\%$, la tolerancia es del $\pm 10\%$.

b) En cualquier tap del arrollamiento:

- Cuando la impedancia de cortocircuito garantizada es $\geq 10\%$, la tolerancia es del $\pm 10\%$.
- Cuando la impedancia de cortocircuito garantizada es $< 10\%$, la tolerancia es del $\pm 15\%$.

13.2 Procedimiento

- Alimentación lado de alta tensión
- Cortocircuito lado de baja tensión
- Neutro a tierra.

Método : 3 vatímetros $\cos\phi = 0.1$

Temp. : 21 °C.

13.2.1 Constantes

- Constante voltimétrica

$$K_v = \frac{100 \times \sqrt{3} \times 30}{120} = 43.3$$

- Constante amperimétrica

$$K_i = \frac{30 \times 6}{120} = 1.5$$

- Constante vatimétrica

$$K_w = \frac{100 \times 30 \times 5 \times 0.1 \times 75}{150} = 750$$

13.3 Para tap 11 (temperatura de los devanados 21°C)

AT/BT: 60/6.3 Kv.

$$I_N = \frac{25,000}{\sqrt{3} \times 60,000} = 240.562$$

13.3.1 Tensión aplicada

$$U_{cclred} = [(U_U + U_V + U_W) / 3] \times K_V$$

$$U_{cclred} = [(73.3 + 73.5 + 73) / 3] \times 43.3 = 3,172.45 \text{ V}$$

13.3.2 Corriente medida

$$I = [(I_U + I_V + I_W) / 3] \times K_I$$

$$I = [(106.5 + 104.7 + 107.4) / 3] \times 1.5$$

$$I = 159.3$$

13.3.3 Potencia consumida

W_1	W_2	W_3
15.4	18.3	15.7

$$W = (W_1 + W_2 + W_3) \times K_W$$

$$= (15.4 + 18.3 + 15.7) \times 750 = 37,050 \text{ W}$$

13.3.4 Consumos cables de alimentación:

$$W_{\text{Cable}} = 3 \times I^2 \times R_{\text{cable}}$$

$$3 \times (159.3)^2 \times (0.005) = 380.65 \text{ Watts}$$

13.3.5 Pérdidas en el cobre para corriente reducida

$$W_{\text{Ired}} = W - W_{\text{Cable}}$$

$$W_{\text{Ired}} = 37,050 - 380.65 = 36,669.35 \text{ Watts}$$

13.3.6 Corrección para pérdidas en el cobre con corriente nominal y temperatura de arrollamientos de 21°.

$$W_{CC21} = W_{Ired} \times [I_N / I]^2$$

$$W_{CC21} = 36,669.35 (240.562 / 159.3)^2 = 83,616 \text{ Watts}$$

13.3.7 Corrección para tensión de cortocircuito con corriente nominal y temperatura de arrollamientos de 21°.

$$U_{cc21} = U_{CCIred} \times [I_N / I]$$

$$U_{cc21} = 3,172.45 \times (240.562 / 159.3) = 4,791V$$

13.4 Pérdidas por efecto Joule a 21°C

13.4.1 Valores de resistencia en frío (21°C) devanados de baja tensión

Bornes	Medición de resistencias
2u - 2v	0.004050
2w - 2u	0.004002
2v - 2w	0.004070

$$R_{B21} = 0.0040407 \Omega$$

13.4.2 Pérdidas por efecto Joule en devanados de baja tensión

$$I_{BTN} = \frac{25,000}{\sqrt{3} \times 6,300} = 2,291 \text{ Amp}$$

$$W_{BCu21} = 1.5 \times I_{BTN}^2 \times R_{B21} \quad (\text{Porque la conexión del devanado secundario es } \Delta)$$

$$W_{BCu21} = 1.5 \times (2,291)^2 \times 0.0040407 = 31,813 \text{ Watts}$$

13.4.3 Valores resistencia en frío (21°C) en devanados de alta tensión (tap 11)

Bornes	Medición de resistencias incluyendo cables (Ω)	Medición de resistencias de cables (Ω)	Resistencias de los arrollam. (Ω)
1U - 1N	0.250	0.014	0.236
1V - 1N	0.252	0.014	0.238
1W- 1N	0.251	0.014	0.237

$$R_{A21} = 0.237 \Omega$$

13.4.4 Pérdidas por efecto Joule en devanados de alta tensión tap 11.

$W_{ACu21} = 3 \times I_N^2 \times R_{A21}$ (porque la conexión de los devanados de alta tensión es Y)

$$W_{ACu21} = 3 \times (240.562)^2 \times 0.237 = 41,146W$$

13.4.5 Pérdidas por efecto Joule en devanados de baja tensión y alta tensión tap 11 a 21°C

$$W_{TCu21} = W_{BCu21} + W_{ACu21}$$

$$W_{TCu21} = 31,813 + 41,146 = 72,959 \text{ Watts}$$

13.5 Correcciones para la temperatura de los devanados de 75°C.

Las pérdidas totales en el cobre a 21°C. considerando la corriente nominal en el tap 11:

$$W_{CC21} = 83,616 \text{ watts}$$

13.5.1 Pérdidas adicionales en el cobre a 21°C

$$W_{Ad21} = W_{cc21} - W_{TCu21}$$

$$W_{Ad21} = 83,616 - 72,959$$

$$W_{Ad21} = 10,657 \text{ watts}$$

13.5.2 Correcciones para pérdidas totales en el cobre. Para una temperatura de 75°C y frecuencia de 60 Hz

Cabe anotar que los ensayos fueron realizados a 50 Hz. que es la frecuencia en Córdoba (Argentina)

$$W_{cc75} = W_{TCu21} \times \left[\frac{(235+75)}{(235+21)} \right] + W_{Ad21} \times \left(\frac{f_{real}}{f_{ens}} \right) \times \left[\frac{(235+21)}{(235+75)} \right]$$

$$W_{cc75} = 72,959 \times \left[\frac{(310)}{(256)} \right] + 10,657 \times \left(\frac{60}{50} \right) \times \left[\frac{(256)}{(310)} \right]$$

$$W_{cc75} = 98,909 \text{ Watts}$$

Nota : Las pérdidas adicionales disminuyen con el incremento de temperatura.

13.6 Para tap 21 (temperatura de los devanados 21°C)

13.6.1 Valores resistencia en frío (21°C) devanados de alta tensión (tap 21)

Bornes	Medición de resistencias Incluyendo cables (Ω)	Medición de resistencias De cables (Ω)	Resistencias de los arrollam. (Ω)
1U - 1N	0.279	0.014	0.265
1V - 1N	0.280	0.014	0.266
1W - 1N	0.279	0.014	0.265

$$R'_{A21} = 0.2653 \Omega$$

13.6.2 Pérdidas por efecto Joule en devanados de alta tensión tap 21.

$W'_{ACu21} = 3 \times I'^2 \times R'_{A21}$ (porque los arrollamientos de alta tensión están conectados en Y)

$$I_{BTN} = 2,291 \text{ Amp}$$

$$a_{21} = \text{Relación de transformación tap 21} = 4.948$$

$$I' = [I_{BTN} / a_{21}] / \sqrt{3}$$

$$I' = [2,291 / 4.948] / \sqrt{3}$$

$$I' = 267.291 \text{ Amp.}$$

$$W'_{ACu21} = 3 \times (267.291)^2 \times 0.2653 = 56,863 \text{ Watts}$$

13.6.3 Pérdidas por efecto Joule en devanados de baja tensión y alta tensión, tap 21 a 21°C

$$W'_{TCu21} = W_{BCu21} + W'_{ACu21}$$

$$W_{TCu21} = 31,813 + 56,863 = 88,676$$

13.7 Cálculo de la tensión de cortocircuito $U_{cc75} \%$ a 75 °C

13.7.1 Tensión de cortocircuito porcentual a 21°C, corriente nominal, frecuencia: 50 Hz

$$u_{z21} = \frac{U_{cc21}}{60,000} \times 100$$

$$u_{z21} = \frac{4,791}{60,000} \times 100$$

$$u_{z21} = 7.99 \%$$

13.7.2 Caída de tensión porcentual por resistencia óhmica a 21°C, corriente nominal, frecuencia: 50 Hz

$$u_{r21} = \frac{83,616}{25 \times 10^6} \times 100$$

$$U_{r21} = 0.3345 \%$$

13.7.3 Caída de tensión porcentual por flujo inductivo a 21°C, a corriente nominal, frecuencia: 50 Hz

$$u_{x21} = \sqrt{U_{z21}^2 - U_{r21}^2}$$

$$u_{x21} = \sqrt{(7.99)^2 - (0.3345)^2}$$

$$U_{x21} = 7.978\%$$

13.7.4 Caída de tensión porcentual por resistencia óhmica a 75°C, corriente nominal, frecuencia: 50 Hz.

$$u_{r75} = \frac{98,909}{25 \times 10^6} \times 100$$

$$U_{r75} = 0.395 \%$$

13.7.5. Caída de tensión porcentual por flujo inductivo a 75°C, a corriente nominal, frecuencia: 50 Hz

$$U_{x75} = U_{x21} = 7.978\%$$

13.7.6 Impedancia de cortocircuito porcentual a 75°C, a corriente nominal, frecuencia: 50 Hz

$$U_{z75(50)} = \sqrt{U_{r75}^2 + U_{x75}^2}$$

$$U_{z75(50)} = \sqrt{(0.395)^2 + (7.978)^2}$$

$$U_{z75(50)} = 7.9877\%$$

13.7.7 Impedancia de cortocircuito porcentual a 75°C, a corriente nominal, frecuencia: 60 Hz

$$U_{z75(60)} = (60/50) U_{z75(50)}$$

$$U_{z75(60)} = 1.2 \times 7.9877$$

$$U_{z75(60)} = 9.585\%$$

13.8 Conclusiones:

Las pérdidas en el cobre garantizadas por el fabricante son de 91,000 watts.

La norma exige una tolerancia de + 15% del valor garantizado. o sea 104,650 watts.

El resultado experimental obtenido es de 98,909 watts que viene a ser el 8.7% del valor garantizado.

La impedancia de cortocircuito porcentual garantizada por el fabricante es de 10%.

La norma exige una tolerancia de $\pm 7.5\%$ del valor garantizado, con lo cual podemos aceptar un rango que está entre (9.25% - 10.75%).

El resultado experimental obtenido es de 9.585%

Las pérdidas totales garantizadas por el fabricante son: 16,000 + 91,000 watts, lo cual nos da 107,000 watts.

La norma nos exige que tenemos una tolerancia de +10%. con lo cual no debemos excedernos de 117,700 watts.

Experimentalmente tenemos unas pérdidas totales de: 16,160 + 98,909 watts, lo cual nos da 115,069 watts que viene hacer el 7.5% del valor garantizado.

Por lo expuesto las pruebas cumplen los requerimientos en lo que respecta a pérdidas en el cobre, pérdidas en el fierro, pérdidas totales y tensión de cortocircuito porcentual.

CAPITULO XIV PRUEBA DE CALENTAMIENTO

14.1 Fundamento del ensayo

Norma IEC 76 –2

Durante este ensayo el transformador no está sujeto a tensión nominal y corriente nominal simultáneamente, pero al cálculo de pérdidas totales, previamente obtenidas por las dos determinaciones de pérdidas denominadas: pérdidas con carga a una temperatura de referencia y pérdidas en vacío.

Los propósitos de estos ensayos son dos:

- Establecer la elevación de la temperatura del aceite en la parte superior en condiciones de estabilidad con la disipación de las pérdidas totales.
- Establecer la elevación de la temperatura promedio del arrollamiento a corriente nominal y con la elevación de la temperatura como se determinó en el párrafo anterior.

Esto es llevado a cabo en dos pasos:

a) Inyección de las pérdidas totales

Primero las temperaturas del aceite en la parte superior y el promedio son establecidas cuando el transformador está sujeto a

una tensión de prueba tal que la potencia activa medida es igual a las pérdidas totales del transformador.

El ensayo de corriente será elevar la corriente nominal para producir una cantidad adicional de pérdidas iguales a las pérdidas en vacío y la temperatura del arrollamiento será correspondientemente elevada.

La temperatura del aceite y la del medio refrigerante serán monitoreadas y el ensayo continuará hasta que la elevación de la temperatura del aceite sea lograda.

El ensayo deberá terminar cuando el gradiente de la elevación de la temperatura del aceite en la parte superior haya caído a menos de 1 K por hora y haya permanecido así por un período de tres horas. Si las lecturas discretas han sido tomadas a intervalos regulares, el valor promedio de las lecturas durante la última hora es tomado como el resultado del ensayo. Si es aplicado un registro automático continuo, es tomado el valor promedio durante la última hora.

b) Inyección de corriente nominal:

Cuando la elevación de la temperatura del aceite de la parte superior se haya estabilizado, el ensayo será continuado, con el ensayo de corriente reducido a la corriente nominal para la combinación de arrollamientos conectados. Esta condición es mantenida por una hora, con observación continua del aceite y del medio refrigerante.

Al final de la hora, las resistencias de los arrollamientos son medidas, o bien después de una rápida desconexión del suministro y corto circuitos o bien, sin la desconexión del suministro, por medio del método de la superposición el cual consiste de la inyección dentro del arrollamiento de una corriente de medición d.c. de bajo valor, sobrepuesta a la corriente de carga.

Los valores de la temperatura promedio de los dos arrollamientos son determinados de las resistencias.

En la determinación de la elevación de la temperatura arriba de la ambiental, la elevación de la temperatura del aceite para un caso relevante de carga será recalculado del ensayo de la inyección de pérdidas totales y asimismo la elevación de la temperatura del arrollamiento por encima del aceite de cada arrollamiento.

La inyección de las pérdidas totales para la determinación de la elevación de temperatura de aceite puede ser hecho:

- O en una manera tan cercana como sea posible a la actual carga, por inyección de la corriente correspondiente a las pérdidas totales en un arrollamiento mientras que los otros son cortocircuitados o conectados a una impedancia;

- O de una manera aproximada no cortocircuitando o cerrando ciertos arrollamientos; por ejemplo, si uno de los arrollamientos tiene un relativo bajo rango de potencia y una baja contribución a las pérdidas totales del transformador,

podría ser aceptable dejarlo abierto y elevar la corriente en otros arrollamientos, hasta que las pérdidas totales sean obtenidas.

Si ninguno de los métodos arriba mencionados pueden ser aplicados en pleno, debido a las limitaciones o facilidades de los ensayos, se podría acordar realizar el ensayo con las pérdidas reducidas hasta un 80% del correcto valor. Asimismo, el valor de temperatura debería ser corregido.

Determinación de las temperaturas del aceite:

Aceite en la parte superior

La temperatura del aceite en la parte superior, es determinada por uno o mas sensores inmersos en el aceite, en la parte superior del tanque . El uso de varios sensores es particularmente importante en transformadores grandes y sus lecturas deben de ser promediadas con la finalidad de lograr un valor representativo de temperatura.

Aceite en la parte inferior y promedio del aceite

“ Aceite en la parte inferior”, es el término el cual realmente significa el (temperatura de) aceite entrando a los arrollamientos de la parte inferior. Por razones prácticas es identificado con la temperatura del aceite retornando desde el equipo de enfriamiento al tanque. "Promedio del Aceite “ es un concepto usado para la corrección de los resultados certificados del ensayo de elevación de temperatura. Es también usado en el modelo matemático para la predicción de las

temperaturas en servicio bajo cargas específicas de carga constante o variable.

La temperatura del aceite en la parte inferior es determinada por sensores fijados en los cabezales de retorno de los enfriadores o radiadores. Si varias baterías de equipos de enfriamiento son fijadas, más de un sensor debería ser usado.

La temperatura promedio de aceite deberá ser la temperatura promedio del aceite de enfriamiento en los arrollamientos. Para propósitos de evaluación del ensayo, es convencionalmente tomado como el promedio entre la temperatura del aceite en la parte superior y la temperatura del aceite en la parte inferior.

Determinación de la temperatura promedio de los arrollamientos.

La temperatura promedio del arrollamiento es determinada por medición de la resistencia de los arrollamientos. En un transformador trifásico, la medida debería ser preferiblemente asociada con la mitad de la pierna. La relación entre la resistencia de valor R_2 a la temperatura θ_2 (en °C) y R_1 a θ_1 es tomada como :

Para el cobre:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1}$$

Para el aluminio :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1}$$

Una medida referencial (R_1, θ_1) de todas las resistencias de los arrollamientos es realizada con el transformador a temperatura ambiente, en condiciones de estado estable. Cuando la resistencia R_2 a una temperatura diferente es medida esto permite obtener el valor de temperatura de la siguiente manera:

$$\text{Para el cobre} \quad \theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$$

$$\text{Para el aluminio} \quad \theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$$

La temperatura externa al medio refrigerante al momento de la desconexión es θ_a .

La elevación de temperatura de los arrollamientos es finalmente:

$$\Delta\theta_w = \theta_2 - \theta_a$$

Determinación de la temperatura de los arrollamientos antes de la desconexión

El ensayo de elevación de la temperatura requiere que la temperatura promedio inmediatamente antes de la desconexión debe ser determinada. La norma es como sigue:

Inmediatamente después de la desconexión del ensayo de potencia suministrada y retirada la conexión del cortocircuito, un circuito de medición d. c. es conectado a través de los arrollamientos de la fase a ser medida. Los arrollamientos tienen una constante de

tiempo grande L / R ; lecturas precisas son obtenidas sólo después de un cierto retardo. La resistencia de los devanados varía con el tiempo conforme las bobinas se vayan enfriando. Esto debería de ser medido por un tiempo suficiente para permitir una extrapolación hasta llegar al instante de la desconexión.

Correcciones

Si los valores específicos de potencia o corriente no han sido obtenidas durante el ensayo, el resultado debería ser corregido de acuerdo a las siguientes relaciones. Ellas son válidas dentro de un rango de $\pm 20\%$ del valor de potencia y $\pm 10\%$ del valor de corriente. Por acuerdo ellos pueden ser aplicados en un amplio rango.

La elevación de temperatura del aceite encima de la temperatura ambiente durante el ensayo es multiplicada por:

$$\left[\frac{\text{Pérdidas totales}}{\text{Pérdidas del ensayo}} \right]^x$$

$x = 0.8$, para transformadores en baño de aceite con enfriamiento por convección del aceite.

$x = 1.0$, para transformadores en baño de aceite, con circulación natural ó forzada del aceite con enfriamiento por ventilación forzada del aceite.

La elevación de temperatura promedio de los arrollamientos encima de la temperatura promedio del aceite durante el ensayo es multiplicado por:

$$\left[\frac{\text{Corriente nominal}}{\text{Corriente del ensayo}} \right]^y$$

$y = 1.6$, para transformadores en baño de aceite con circulación natural del aceite, enfriamiento por convección o ventilación forzada del aceite.

$y = 2.0$, para transformadores en baño de aceite con circulación forzada del aceite, enfriamiento por convección o ventilación forzada.

14.2 Procedimientos del ensayo condiciones ONAF, 30 MVA, posición del tap: 21

14.2.1 Condiciones del ensayo:

- Potencia 30 MVA (ONAF)
- Pos. tap 21 (- 10%), condición de mayores pérdidas
- Alimentación por el lado de alta tensión, neutro a tierra.
- Baja tensión en cortocircuito
- Relación alta tensión/baja tensión = 54 / 6.3 Kv.
- Temperatura real = 18 °C

14.2.2 Cálculos realizados para condiciones de ONAF, 30 MVA, temperatura inicial de los arrollamientos : 21 °C. posición del tap : 21

- Resistencia promedio de los arrollamientos de alta tensión
(tap 21. 21°C)

$$R'_{A21} = 0.2653 \Omega$$

- Corriente en el lado de alta tensión (tap 21 : 54 Kv.)

$$I'_{30MVA} = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 54 \times 10^3} = 320.75 \text{ Amp}$$

- Pérdidas por efecto Joule en los arrollamientos de alta tensión

$$W''_{ACu21} = 3 \times I'_{30MVA}{}^2 \times R'_{A21}$$

$$W''_{ACu21} = 3 \times (320.75)^2 \times (0.2653) = 81,883 \text{ watts}$$

Corriente en el lado de baja tensión

$$I'_{B30MVA} = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 6.3 \times 10^3} = 2,749.29 \text{ Amp}$$

Resistencia promedio de los arrollamientos de baja tensión

$$R_{B21} = 0.0040407 \Omega$$

Pérdidas por efecto Joule en los arrollamientos de baja tensión.

$$W''_{BCu21} = 1.5 \times I'_{B30MVA}{}^2 \times R_{B21}$$

$$W''_{BCu21} = 1.5 \times (2,749.29)^2 \times (0.0040407)$$

$$= 45,812 \text{ Watts}$$

Pérdidas totales por efecto Joule

$$W''_{TCu21} = W''_{BCu21} + W''_{ACu21}$$

$$W''_{TCu21} = 81,883 + 45,812$$

$$W''_{TCu21} = 127,695 \text{ Watts}$$

14.2.3 Pérdidas en el cobre referidas a 18 °C

$$W''_{Tcu18} = W''_{TCu21} \times (235 + 18) / (235 + 21)$$

$$W''_{Tcu18} = 126,198.6 \text{ watts}$$

14.2.4 Cálculo de la tensión de cortocircuito

U_U	U_V	U_W	K_V
100.30	101.80	100.30	43.30

$$U_{CC} = [(U_U + U_V + U_W) / 3] \times K_V$$

$$U_{CC} = [(100.30 + 101.80 + 100.30) / 3] \times 43.30$$

$$U_{CC} = 4,364.6 \text{ Voltios}$$

14.2.5 Cálculo de la corriente de cortocircuito

I_U	I_V	I_W	K_I
69.40	68.60	70.00	4.00

$$I_C = [(I_U + I_V + I_W) / 3] \times K_I$$

$$I_{CC} = [(69.40 + 68.60 + 70.00) / 3] \times 4.00$$

$$I_{CC} = 277.3 \text{ Amperios}$$

14.2.6 Cálculo de pérdidas en el cobre

W_1	W_2	W_3	K_W
15.00	18.00	17.80	2,000.00

$$W_{CC18(30)} = (W_1 + W_2 + W_3) \times 2,000.00$$

$$W_{CC18(30)} = (15.00 + 18.00 + 17.80) \times 2,000.00$$

$$W_{CC18(30)} = 101,600 \text{ Watts}$$

14.2.7 Corrección de las pérdidas en el cobre para condiciones de corriente nominal a 30 MVA

$$W_{CC18(30NOM)} = W_{CC18(30)} \times (I'_{30MVA} / I_{CC})^2$$

$$W_{CC18(30NOM)} = 101,600 \times (320.75 / 277.33)^2$$

$$W_{CC18(30NOM)} = 135,904 \text{ Watts}$$

14.2.8 Corrección de la tensión de cortocircuito para condiciones de corriente nominal a 30 MVA, 18° C

$$U_{cc(30\text{ MVA})} = U_{cc} \times (I'_{30\text{MVA}} / I_{CC})^2$$

$$U_{cc(30\text{ MVA})} = 4,364 \times (320.75 / 277.33)^2$$

$$U_{cc(30\text{ MVA})} = 5,048 \text{ Voltios}$$

14.2.9 Pérdidas adicionales en el cobre a 18 °C. tap 21

$$W''_{Tcu18} = 126,198.6\text{W}$$

$$W_{Ad21(30\text{MVA}, 18^\circ\text{C})} = W_{cc18(30\text{NOM})} - W''_{Tcu18}$$

$$W_{Ad21(30\text{MVA}, 18^\circ\text{C})} = 135,904\text{W} - 126,198.6\text{W}$$

$$W_{Ad21(30\text{MVA}, 18^\circ\text{C})} = 9,705 \text{ watts}$$

14.2.10 Corrección de las pérdidas en el cobre para condiciones de corriente nominal a 30 MVA, temperatura de los arrollamientos : 75 ° C

$$W_{CC75(30\text{NOM})} = 126,198.6 \left(\frac{310}{235 + 18} \right) + 9,705 \times 1.2 \left(\frac{235 + 18}{310} \right)$$

$$W_{cc75(30\text{NOM})} = 164,136\text{W}$$

14.2.11 Tensión de corto circuito (u_{z18}), 30 MVA, 18°C.

$$U_{z18(30\text{MVA}, \text{TAP } 21)} = 100 \times \frac{U_{cc(30\text{MVA})}}{54,000}$$

$$U_{z18(30\text{MVA}, \text{TAP } 21)} = 100 \times \frac{5,048}{54,000}$$

$$U_{z18(30\text{MVA}, \text{TAP } 21)} = 9.34\%$$

14.2.12 Cálculo de pérdidas totales (75°C cu, 30 MVA, tap 21)

$$W_{TOTAL (75^{\circ}C, 30MVA, 21)} = W_{cc75 (30NOM)} + P_{Fe}$$

$$W_{TOTAL (75^{\circ}C, 30MVA, 21)} = 164,136 + 16,160$$

$$W_{TOTAL (75^{\circ}C, 30MVA, 21)} = 180,296 \text{ watts}$$

14.3 Condiciones de calentamiento del transformador.

Se incrementó el voltaje en el primario de tal manera de incrementar las condiciones de calentamiento, para conseguir valores más próximos a las condiciones nominales que consideran las normas.

14.3.1 Valores obtenidos

Corriente :

I_U	I_V	I_W	K_I
73.20	72.60	74.00	4.00

$$I = [(I_U + I_V + I_W) / 3] \times K_I$$

$$I = \left(\frac{73.20 + 72.60 + 74.00}{3} \right) \times 4.00$$

$$I = 293.06 \text{ Amperios}$$

Tensión :

U_U	U_V	U_W	K_V
112.20	113.50	113.00	43.30

$$U = [(U_U + U_V + U_W) / 3] \times K_V$$

$$U = [(112.20 + 113.50 + 113.00) / 3] \times 43.30$$

$$U = 4,888.57 \text{ Voltios}$$

Potencia :

W_1	W_2	W_3	K_w
18.00	22.10	20.00	2,000.00

$$W_{1-3} = (W_1 + W_2 + W_3) \times K_w$$

$$W_{1-3} = (18.00 + 22.10 + 20.00) \times 2,000$$

$$W_{1-3} = 120,200 \text{ Watts}$$

La norma indica que se debe cargar como mínimo a 90% de la I Nom; y 80% de las pérdidas totales.

$$I_n = 320.75 \text{ Amp.}$$

$$90\% \text{ de } I_n = 0.9 \times 320.75$$

$$90\% \text{ de } I_n = 288.76 \text{ Amp.}$$

Que es inferior a 293.06 Amp.

$$\text{Pérdidas totales.} = 180,296 \text{ Watts (30MVA, tap21, 75°C)}$$

$$80\% \text{ de pérdidas totales} = 0.8 \times 180,296 \text{ Watts}$$

$$80\% \text{ de pérdidas totales} = 144,237 \text{ Watts}$$

$$T_{\text{aceite}} \leq 60^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{conductor}} \leq 65^\circ\text{C}$$

**Resultados de prueba de calentamiento, condiciones: ONAF, 30MVA,
tap21**

Día	HORA	Potencia Pe	Intens. Ie	Capa super. θ	Temperatura					
					Ambiente			Radiador		
					Ta			ts	ti	
24/10	21:00	120,200	293.0	18.0	18.0	18.0	18.0			
	22:00			34.0	17.0	17.0	17.0			
	23:00			43.0	20.0	20.0	20.5			
	24:00			51.0	20.8	20.5	21.0			
25/10	01:00	149,600	307.0	53.0	23.0	22.5	24.0			
	02:00			53.0	23.5	23.0	24.5			
	03:00			53.0	24.0	23.0	25.0			
	04:00			55.0	24.3	23.0	25.6			
	05:00			57.0	24.3	23.0	26.0			
	06:00			57.0	24.9	22.5	26.0			
	07:00			57.5	25.0	22.5	26.5			
	08:00			58.0	26.0	23.0	27.0	48.0	29.0	
	09:00			58.0	28.0	22.5	27.0	49.0	30.0	
	10:00			60.0	28.0	22.5	26.5	50.0	32.0	
	10:45			60.0	28.0	22.5	26.5	50.0	32.0	*
11:45	61.0	29.0	23.0	27.5	51.0	32.0				
12:45	62.0	31.0	24.0	30.0	52.0	33.0				
13:15	62.0	31.0	24.0	30.0	52.0	33.0	**			

* : Se desconectó y se midió resistencias de arrollamiento de baja tensión.

** : Se desconectó y se midió resistencias de arrollamiento de alta tensión.

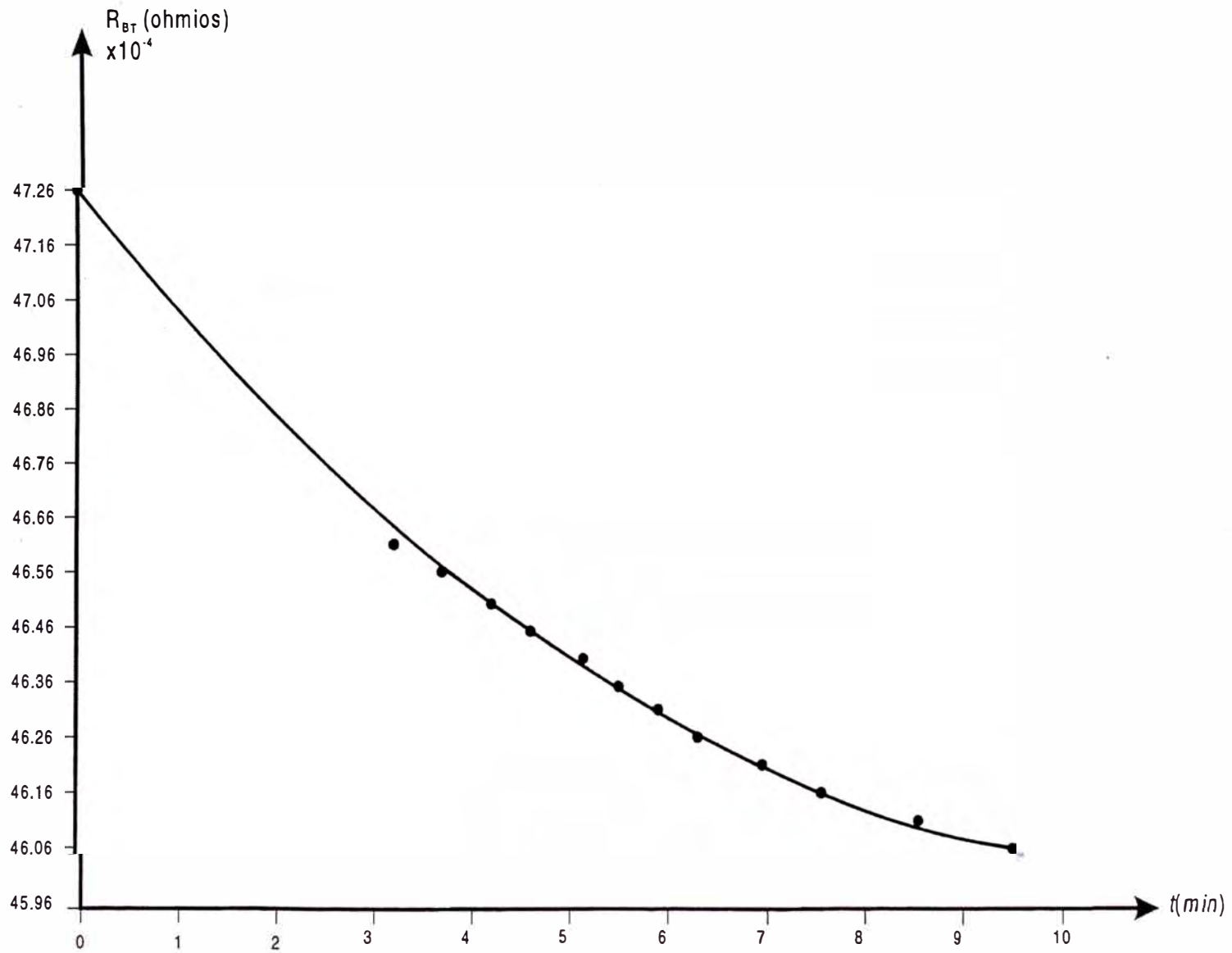
- Medición de resistencias

R_{BT} -----> 2U - 2W

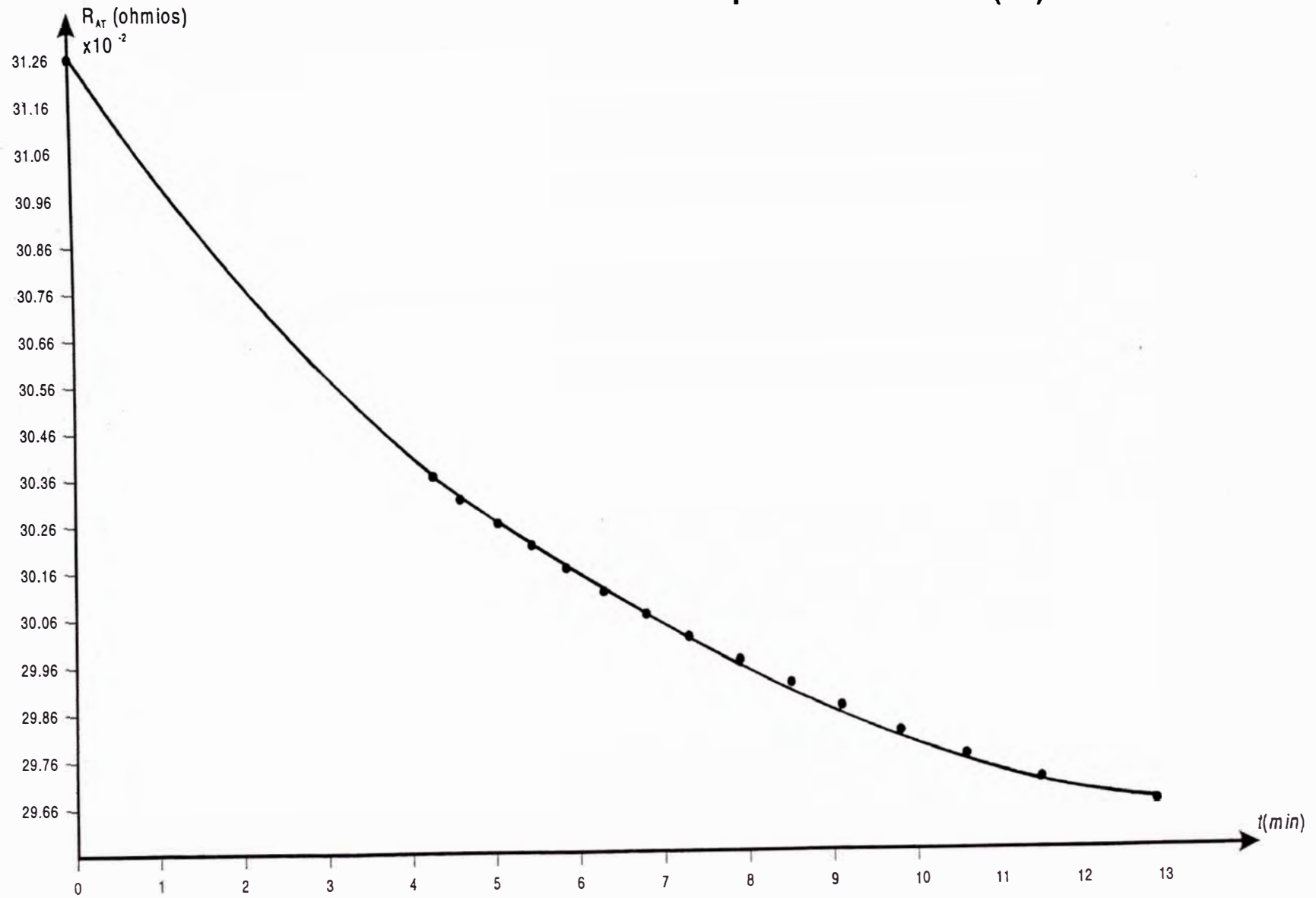
R_{AT} -----> 1V - 1H

t	R_{BT} (Ohm)	t	R_{AT} (Ohm)
3' 15"	46.61×10^{-4}	4' 16"	30.36×10^{-2}
3' 44"	46.56×10^{-4}	4' 37"	30.31×10^{-2}
4' 15"	46.51×10^{-4}	5' 02"	30.26×10^{-2}
4' 39"	46.46×10^{-4}	5' 26"	30.21×10^{-2}
5' 10"	46.41×10^{-4}	5' 51"	30.16×10^{-2}
5' 31"	46.36×10^{-4}	6' 18"	30.11×10^{-2}
5' 57"	46.31×10^{-4}	6' 47"	30.06×10^{-2}
6' 25"	46.26×10^{-4}	7' 18"	30.01×10^{-2}
6' 58"	46.21×10^{-4}	7' 55"	29.96×10^{-2}
7' 35"	46.16×10^{-4}	8' 30"	29.91×10^{-2}
8' 23"	46.11×10^{-4}	9' 08"	29.86×10^{-2}
9' 33"	46.06×10^{-4}	9' 47"	29.81×10^{-2}
		10' 34"	29.76×10^{-2}
		11' 26"	29.71×10^{-2}
		12' 49"	29.66×10^{-2}

Resistencias medidas después del Switch off (BT)



Resistencias medidas después del Switch off (AT)



Con los datos de medición de resistencias después el SWITCH OFF se grafican las curvas respectivas hallando para el punto 0 los siguientes resultados.

$$R_{BT0} = 47.21 \times 10^{-4} \Omega$$

$$R_{AT0} = 31.26 \times 10^{-2} \Omega$$

Nomenclatura usada para los cálculos

θ_e = Salto máximo del aceite.

θ_m = Salto medio del aceite.

θ_{lr} = Salto máximo del aceite corregido para la pot de referencia.

$\Delta\theta_m$ = Incremento salto medio del aceite.

$\Delta\theta_{mr}$ = Incremento salto medio del aceite con corrección por pot.

δ_{ar} = Salto cobre - ambiente

T_c = Temperatura del cobre, en el punto de estabilización

R_c = Resistencia en caliente.

R_f = Resistencia en frío.

Líquido aislante

Capa superior

$$\theta_e = \theta - t_a = 60 - 25.6 = 34.4^\circ\text{C}$$

$$\theta_m = \theta - \frac{t_s - t_i}{2} = 60 - \frac{50 - 32}{2} = 51.^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_m = \theta_m - t_a = 51 - 25.6 = 25.4^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_{mr} = \Delta\theta_m \left(\frac{P_r}{P_e} \right)^p = 25.4 \left(\frac{180,296}{169,000} \right)^1 = 27.1^\circ\text{C}$$

$$\theta_{lr} = \theta_e \left(\frac{P_r}{P_e} \right)^p = 34.4 \left(\frac{180,296}{169,000} \right)^1 = 36.7^\circ \text{C}$$

$$p = 1 \text{ (ONAF)}$$

Arrollamientos

Primario : alta tensión, pos tap 21 (- 10%)

$$T_c = \frac{R_c}{R_f} (235 + t_f) - 235 = \frac{31.26 \times 10^{-2}}{26.6 \times 10^{-2}} (235 + 21) - 235 = 65.9^\circ \text{C}$$

$$\theta_m = \theta - \frac{t_s - t_i}{2} = 62 - \frac{52 - 33}{2} = 52.5^\circ \text{C}$$

$$\theta_e = T_c - \theta_m = 65.9 - 52.5 = 13.4^\circ \text{C}$$

$$\delta_{ar} = \Delta\theta_{mr} + \theta_e \left(\frac{I_r}{I_e} \right)^q$$

$$q = 1.6 \text{ (ONAF)}$$

$$\delta_{ar} = 27.1 + 13.4 \left(\frac{320.75}{318.00} \right)^{1.6} = 40.7^\circ \text{C}$$

Secundario : baja tensión

$$T_c = \frac{R_c}{R_f} (235 + t_f) - 235 = \frac{47.21 \times 10^{-4}}{40.02 \times 10^{-4}} (235 + 21) - 235 = 67^\circ \text{C}$$

$$\theta_m = \theta - \frac{t_s - t_i}{2} = 60 - \frac{50 - 32}{2} = 51^\circ \text{C}$$

$$\theta_e = T_c - \theta_m = 67 - 51 = 16^\circ \text{C}$$

$$\delta_{ar} = \Delta\theta_{mr} + \theta_e \left(\frac{I_r}{I_e} \right)^q$$

$$\delta_{ar} = 27.1 + 16.0 \left(\frac{320.75}{320.80} \right)^{1.6} = 43.1^\circ \text{C}$$

14.4 Ensayo de calentamiento condición ONAN, 25 MVA, posición del tap 21.

$$W_{\text{TOTAL}} (75^{\circ}\text{C}, 25\text{MVA}, 21) = P_{\text{Fe}} + W_{\text{cc}75} (25 \text{ NOM})$$

$$W_{\text{TOTAL}(75^{\circ}\text{C}, 25\text{MVA}, 21)} = 16,160 + 164,136 \times \left(\frac{25}{30}\right)^2$$

$$W_{\text{TOTAL}} (75^{\circ}\text{C}, 25\text{MVA}, 21) = 130,143 \text{ Watts}$$

**Resultados de pruebas de calentamiento, condiciones :ONAN, 25MVA,
tap 21. (25/10/93)**

HORA	POTENCIA Pe	Intensidad		Temperatura					
		Ie	Capa super. 0	Ambiente			Radiador		
				Ta			ts	ti	
13 : 45	127,400	279.6	63.0	29.5	24.0	29.0	53.0	33.0	
14 : 15	131,000	280.4	64.5	27.5	23.0	27.0	55.0	36.0	
14 : 45	130,400	280.2	65.0	26.0	23.0	26.0	57.0	38.0	
15 : 15	133,400	282.4	67.0	25.5	22.5	25.5	59.0	40.0	
15 : 45	130,600	279.1	69.0	24.5	22.5	25.0	59.0	39.0	
16 : 15	126,400	274.6	69.5	25.0	22.0	25.0	61.0	41.0	
16 : 30	126,400	274.8	69.5	25.0	22.0	25.0	61.0	41.0	***

*** : Se desconectó el transformador

Cálculos efectuados

Líquido aislante

$$\theta_e = \theta - t_a = 69.5 - 24 = 45.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_m = \theta - \frac{t_s - t_i}{2} = 69.5 - \frac{61 - 41}{2} = 59.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{lr} = \theta_e \left(\frac{P_r}{P_e} \right)^p = 45.5 \left(\frac{130,143}{126,400} \right)^{0.8} = 46.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p = 0.8 \text{ (ONAN)}$$

$$\Delta\theta_m = \theta_m - t_a = 59.5 - 24 = 35.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_{mr} = \Delta\theta_m \left(\frac{P_r}{P_e} \right)^p = 35.5 \left(\frac{130,143}{126,400} \right)^{0.8} = 36.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Arrollamientos :

Primario : alta tensión, tap 21 (- 10%)

$$T_c = \frac{R_c}{R_f} (235 + t_f) - 235 = \frac{31.26 \times 10^{-2}}{26.60 \times 10^{-2}} (235 + 21) - 235 = 65.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_m = \theta - \frac{t_s - t_i}{2} = 69.5 - \frac{61 - 41}{2} = 59.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = T_c - \theta_m = 65.9 - 59.5 = 6.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\delta_{ar} = \Delta\theta_{mr} + \theta_e \left(\frac{l_r}{l_e} \right)^q = 36.4 + 6.4 \left(\frac{267.291}{274.80} \right)^{1.6} = 42.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Secundario: baja tensión.

$$T_c = \frac{R_c}{R_f} (235 + t_f) - 235 = \frac{47.21 \times 10^{-4}}{40.02 \times 10^{-4}} (235 + 21) - 235 = 67 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_m = \theta - \frac{t_s - t_i}{2} = 69.5 - \frac{61 - 41}{2} = 59.5^\circ \text{C}$$

$$\theta_e = T_c - \theta_m = 67 - 59.5 = 7.5^\circ \text{C}$$

$$\delta_{ar} = \Delta\theta_{mr} + \theta_e \left(\frac{I_r}{I_e} \right)^q = 36.4 + 7.5 \left(\frac{267.291}{274.80} \right)^{1.6} = 43.6^\circ \text{C}$$

$$q = 1.6 \text{ (ONAN)}$$

14.5 Conclusiones:

En el ensayo de calentamiento ONAF se ha obtenido:

Una elevación de la temperatura del aceite respecto de la temperatura ambiente, con las correcciones para potencia de referencia " θ_{lr} " de 36.7°C .

La elevación de la temperatura del cobre con respecto al ambiente, corregida para la corriente de referencia " δ_{ar} " es de 40.7°C para el arrollamiento de alta tensión.

La elevación de la temperatura del cobre con respecto al ambiente, corregida para la corriente de referencia " δ_{ar} " es de 43.1°C para el arrollamiento de baja tensión.

En el ensayo de calentamiento ONAN se ha obtenido:

Una elevación de la temperatura del aceite respecto de la temperatura ambiente, con las correcciones para potencia de referencia " θ_{lr} " de 46.6°C .

La elevación de la temperatura del cobre con respecto al ambiente, corregida para la corriente de referencia " δ_{ar} " es de 42.5°C para el arrollamiento de alta tensión.

La elevación de la temperatura del cobre con respecto al ambiente, corregida para la corriente de referencia " δ_{ar} " es de 43.6 °C para el arrollamiento de baja tensión.

En ambos ensayos no se ha sobrepasado de la temperatura de 60°C para el aceite y de 65°C para los arrollamientos de cobre.

Por tanto se considera satisfactoria la prueba.

CAPITULO XV PRUEBA DE CIRCUITOS AUXILIARES Y VERIFICACION DE ACCESORIOS

15.1 Accesorios de los transformadores

Para un correcto funcionamiento de los transformadores, estos están equipados con diversos accesorios dentro de los cuales podemos mencionar:

15.1.1 Relé de flujo.- Es un dispositivo de control de flujo indirecto; basado en el principio de presión diferencial que manda la señal a un sistema de indicación de agujas, las cuales se regulan para un determinado valor de caudal mínimo.

15.1.2 Imagen térmica.- El método de imagen térmica se basa en que cualquier sobrecarga o cortocircuito dentro del transformador se manifiesta como una variación de corriente. El dispositivo esta constituido por una resistencia de calefacción ó caldeo; alrededor se encuentra una bobina cuya función es recibir la corriente de falla de los devanados, que se detecta por medio de un transformador de corriente.

La corriente que circula por la bobina, al variar, crea una cierta temperatura en la resistencia, y esto se indica en un milivoltímetro graduado en °C.

El milivoltímetro se conecta por medio de un puntero a un relé que consiste de 3 micro-switch; el primero opera a una temperatura determinada y acciona una alarma, el segundo lo hace a una temperatura límite y acciona a la bobina de disparo del interruptor, quedando el transformador fuera de servicio

15.1.3 Relé Buchholz.- Constituye un dispositivo de protección del transformador contra descarga en el interior de la cuba, cortocircuito a tierra, entre espiras, etc. y en general, los defectos de aislamiento que caen fuera del dominio de la protección contra sobreintensidades.

El principio de funcionamiento se basa en que toda falla interna del transformador va acompañada de una producción de gases.

El Relé Buchholz se conecta en el tubo que va del transformador al tanque conservador, de manera que los gases producidos en aquél, hagan que el aceite del tubo suba de nivel; al variar el nivel se mueven unos flotadores. Los flotadores al moverse accionan un circuito de alarma, y si la falla es mayor acciona el disparo.

15.1.4 Regulador de tensión (conmutador bajo carga)

El conmutador bajo carga tiene como misión la conmutación sin interrupciones y bajo carga de las conexiones preparada previamente por el selector de tomas. La conexión de salto se realiza por el principio de palanca acodada y por la cual termina inevitablemente el proceso de conmutación a través de resistencia.

El tiempo de conmutación es de unos 0.05 segundos, por lo que las resistencias de puenteado son pequeñas. El conmutador bajo carga y las resistencias óhmicas de puenteado están alojadas separadamente de la cuba del transformador, en un recipiente especial bajo aceite.

El accionamiento del conmutador bajo carga es por motor eléctrico.

15.2 Pruebas realizadas en accesorios del transformador

15.2.1 Relé de flujo:

Se simuló operación y se comprobó funcionamiento de contactos eléctricos de protección.

15.2.2 Válvula de sobrepresión :

Se simuló operación y se comprobó funcionamiento de contactos eléctricos de protección.

15.2.3 Imagen térmica:

Se comprobó funcionamiento de contactos eléctricos.

15.2.4 Termómetro:

Se comprobó funcionamiento de contactos eléctricos.

15.2.5 Relé Buccholz:

Se comprobó el funcionamiento.

15.2.6 Mando y fuerza de ventiladores:

Se comprobó el funcionamiento manual y automático.

15.2.7 Regulador de tensión:

Se comprobó el funcionamiento manual y automático.

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados en el laboratorio de pruebas del fabricante Tubos Trans Electric, en la ciudad de Córdoba (Argentina), fueron satisfactorios, a plenitud.

Se cumplió a cabalidad lo establecido en las Normas IEC-76.

En el Laboratorio de Pruebas de Máquinas Eléctricas de la Universidad Nacional de Ingeniería, también se realizan ensayos para la industria nacional.

A manera de ilustración podemos mencionar las pruebas que se pueden realizar, las normas empleadas, el equipo utilizado, las limitaciones que se tiene.

1. Prueba de resistencia de aislamiento.

La norma empleada es la ITINTEC-370-002.

El objetivo de este ensayo es determinar el valor de aislamiento que tiene los devanados, aisladores pasatapas en conjunto, con respecto a tierra.

Se prefija valores mínimos de aislamiento que están determinados por la máxima tensión admisible (Kv), mediante la relación matemática siguiente:

$$[\text{Mínimo aislamiento admisible (M}\Omega)] = 1 \text{ M}\Omega + (1 \text{ M}\Omega/\text{Kv}) [\text{Máxima tensión admisible (Kv)}]$$

Se dispone del siguiente equipamiento para realizar esta prueba

- Un megóhmetro MEGABRAS 0.5 Kv C.C
- Un megóhmetro YEW YOKOGAWA 0-2 Kv C.C.
- Un megóhmetro Kyoritsu 0-1 Kv C.C.

Se puede realizar pruebas a cualquier transformador indistintamente de su potencia y tensiones nominales.

2. Verificación del grupo de conexión

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

El objeto de este ensayo es determinar el grupo de conexión de un transformador trifásico.

Para esto solamente se debe conocer, que tipo de conexión tiene independientemente cada devanado en alta tensión y baja tensión.

- Se efectúa con fuente de tensión variable del tablero siemens
- Se usa grupo convertidor de frecuencia
- Se emplea método gráfico de reloj con la medición de las tensiones.

Se puede realizar pruebas a cualquier transformador indistintamente de su potencia y tensiones nominales.

3. Medición de la relación de transformación

La norma empleada es la ITINTEC-370-020

El objeto de este ensayo es medir la relación de transformación

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Se dispone del siguiente equipamiento para realizar esta prueba

Voltímetro digital Fluke 87

Voltímetro digital Fluke 11

Voltímetro digital Fluke 39

Voltímetro electrostático 0-300/600 V.

Se puede realizar pruebas a cualquier transformador indistintamente de su potencia y tensiones nominales.

4. Determinación de la polaridad

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

El objeto de este ensayo es determinar la polaridad entre primario y secundario del transformador.

El procedimiento empleado es el de los 3 voltímetro donde se determina la polaridad aditiva o sustractiva

Se realiza esta prueba usando

Voltímetros digitales y transformadores de tensión

Voltímetro digital Fluke 87

Voltímetro digital YEW YOKOGAWA

Voltímetro digital Kyoritsu

Se puede realizar pruebas a cualquier transformador indistintamente de su potencia y tensiones nominales.

5. Medición de las resistencias de arrollamientos

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

El objeto de este ensayo es tomar los valores de resistencias de los devanados del transformador, teniendo en cuenta la temperatura media del aceite donde estén sumergidos.

Esta medición de las resistencias de los arrollamientos nos ha de servir para cálculos posteriores de:

- La componente de pérdidas I^2R
- La temperatura de los arrollamientos al final de la prueba de calentamiento.

Se hace la medición por el método directo (usando el puente Thompson) ó por el método indirecto (usando la fuente regulable de tensión CC y el milivoltímetro)

Se dispone del siguiente equipamiento

- Un puente Thompson (Alemania) $1 \times 10^{-6} - 100 \Omega \pm 0.001\%$
- Un termómetro digital 0-150°C
- Un puente Thompson (Hungría) $1 \times 10^{-7} - 1,000\Omega$
- Un puente de CC 0-60V, 30 Amp.
- Un milivoltímetro 0-60 mV CC.

Se puede realizar pruebas a cualquier transformador, indistintamente de su potencia y tensiones nominales.

6. Medición de la rigidez dieléctrica del aceite

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

El objeto de este ensayo es demostrar que el aceite que está contenido dentro de la cuba del transformador y que actúan como medio refrigerante aislante a su vez; está exento de humedad o impurezas que ocasionan la degradación del mismo.

Para realizar este ensayo se saca un litro de aceite de la cuba, teniendo en consideración que el transformador haya tenido un reposo mínimo de 3 horas.

Se dispone del siguiente equipamiento para realizar esta prueba :

Un espinterómetro 0-40Kv, 60Hz, 1-2Kv/seg.

Un higrómetro 0-50°C y 0-100% humedad relativa

Un cronómetro de precisión

Se puede realizar pruebas a cualquier transformador, indistintamente de su potencia y tensiones nominales.

7. Ensayo de tensión aplicada

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

El objeto de esta norma es asegurar que los aislamientos entre arrollamientos y entre estas y las partes conectadas a tierra, puedan soportar las sobretensiones temporarias y de maniobra que pueden ocurrir cuando están en servicio.

Se dispone del siguiente equipamiento para realizar esta prueba:

Un fuente de tensión 0-40Kv, 60Hz

Una fuente de tensión 0-100 Kv, 60Hz

Las limitaciones del laboratorio de pruebas de la Universidad, están en cuanto se refiere a la tensión nominal del transformador puesto que la fuente solo tiene capacidad para producir ondas de 100 Kv. eficaces a 60Hz.

Por tanto la máxima tensión de servicio de los transformadores a probar no debe exceder de 52 Kv.

8. Medición de pérdidas y corriente en vacío.

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

El objeto de este ensayo es medir las pérdidas en el núcleo del transformador, que se obtiene alimentando con tensión nominal a uno de los bobinados del transformador (generalmente el de menor tensión) y dejando el otro en circuito abierto.

Así mismo, con esta prueba se determina el valor de la corriente de excitación.

Se dispone del siguiente equipamiento para realizar esta prueba:

Un equipo Fluke 41B, 0-600/1Kv, 0-500A, V/A/W/Cos ϕ

Un equipo Circuitor AR-5, mide 0-2,000A, 0-600V, V/A/W/Cos ϕ
/ ϕ /KVA/KVAR.

Un equipo Fluke 39, 0-600 V, 0-500A, V/W/Cos ϕ /THD

Un regulador de tensión 0-600V, 0-85A.

Las limitaciones de hacer este ensayo en el laboratorio de pruebas de la Universidad es que disponemos de una tensión de hasta 600 V y una potencia de hasta 100 KVA.

9. Medición de pérdidas con carga e impedancia de cortocircuito

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

El objeto de este ensayo es medir las pérdidas que se obtiene en los devanados del transformador cuando un devanado se pone en cortocircuito y por el otro bobinado se le hace circular la corriente nominal del transformador con una determinada tensión.

Se considera la temperatura de los devanados a 75°C.

La medida se puede realizar, haciendo circular una corriente entre el 25% y 100% del valor nominal, para luego efectuar la corrección de estos valores a corrientes nominales.

También con este ensayo se comprueba si la tensión de cortocircuito está dentro de los valores declarados.

Las limitaciones de hacer este ensayo en el laboratorio de pruebas en la Universidad es que disponemos de una potencia de hasta 100KVA.

10. Ensayo de calentamiento

La norma empleada es la ITINTEC-370-002

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

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

Por este motivo para determinar el calentamiento del aceite, poniendo el cortocircuito uno de los bobinados, se alimenta por el otro bobinado con una tensión de manera que se obtenga las pérdidas totales, hasta que se estabilice el calentamiento del aceite respecto al medio ambiente y en ese momento se realizan las mediciones.

Se considera que el calentamiento está establecido cuando no sube más de 1°C durante tres horas. Después de determinado el calentamiento del aceite, se hace circular la corriente nominal en los bobinados para determinar el calentamiento de los mismos respecto al aceite. Aproximadamente la prueba de calentamiento dura unas 15 horas.

Para determinar el calentamiento de los bobinados se usa el método de variación de resistencia y extrapolando una serie de mediciones de resistencia después de haber desconectado al transformador se traza una curva para obtener la resistencia en el mismo instante de la desconexión ($t=0$).

El calentamiento del aceite se determina tomando la diferencia entre la temperatura del punto más caliente (que está sobre la tapa) y la temperatura del medio ambiente que rodea al transformador en prueba.

En caso de no obtenerse las pérdidas totales la prueba de calentamiento se puede realizar hasta con el 80% de las pérdidas totales.

Se dispone del siguiente equipamiento para realizar esta prueba :

Un regulador de inducción de 0-600V, 0-85A

Un generador síncrono de 0-300V, 0-100A.

Una pinza digital Fluke de 0-200A.

Una pinza digital Kioritsu de 0-1000A.

La no realización de esta prueba en los laboratorios de la Universidad es por su excesivo costo y las exigentes condiciones que este ensayo representa como por ejemplo, conseguir la estabilización de la

temperatura del aceite (cuando el aceite no sube más de 1°C durante 3 horas).

Otra limitación es la potencia de que se dispone en el laboratorio, ya que el máximo tamaño de los transformadores a ensayar sería de 100KVA. y para este tamaño de transformador no se exige prueba de calentamiento.

ANEXO A
PLACA DEL TRANSFORMADOR



Tubos Trans Electric S.A.I.C.F. y A.
 ELISEO CANTON 2542 - CORDOBA - REP. ARGENTINA
 TEL. (054)(51)894816/17/18 - FAX 894846

FABRICADO BAJO
 LICENCIA
 SIEMENS

EL FONDO DE LA PLACA VA
 EN METALTEXTOS, CUADROS
 Y BORDES, EN NEGRO.-

DETALLE DEL LOGOTIPO
 EN ANARANJADO .-

MATERIAL:Acero Inoxidable
 ESPESOR:1mm

TRANSFORMADOR TRIFASICO EN BAÑO DE ACEITE

TIPO	POT. NOMINAL	No FAB.	No APARATO	NORMAS	FREC.	AÑO FAB.
TBA 30000/60	25/30 MVA	A-3972	34079	IEC 76-1976	60 Hz	1993

SERVICIO	IMPED. HOMOPOLAR	GRUPO CONEX.	SISTEMA REFRIG.	LIQ. AISL.	AIS. CLASE	TEMP. AC.	TEMP. CU.
CONTINUO		Ynd5	ONAN/ONAF 33/100 %	ACEITE MINERAL	A	60	65

CANT. ACEITE
 15790 L

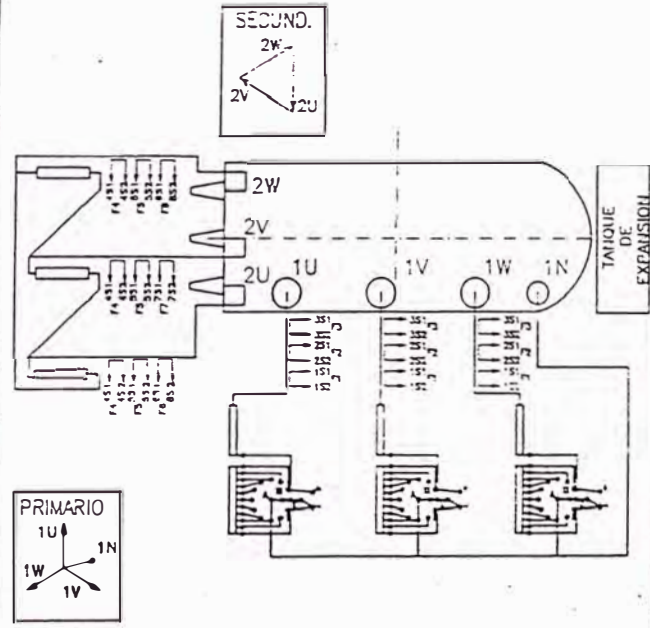
MASA ACEITE
 11990 Kg

MASA DESCUBAJE
 20000 Kg

MASA TRANSPORTE
 26000 Kg

MASA TOTAL
 44000 Kg

		PRIMARIO			SECUNDARIO			UCC
POS. TRANSFORMADOR	BOBINA	TENSION (VOLT)	CORRIENTE (AMPER)	POTENCIA (KVA)	TENSION (VOLT)	CORRIENTE (AMPER)	F-S	
1	1	+10.00	66000	262.42	30000			
2	2	+9.00	65400	254.84				
3	3	+8.00	64800	247.29				
4	4	+7.00	64200	239.79				
5	5	+6.00	63600	232.34				
6	6	+5.00	63000	224.93				
7	7	+4.00	62400	217.57				
8	8	+3.00	61800	210.27				
9a	9	+2.00	61200	203.01				
10	10	+1.00	60600	195.81				
11	11	0.00	60000	188.66	30000	6300	2749.26	
12	12	0.00	60000	188.66				
13	13	0.00	60220	188.66				
14	14	-1.00	59400	181.55				
15	15	-2.00	58600	174.57				
16	16	-3.00	57800	167.60				
17	17	-4.00	57000	160.70				
18	18	-5.00	56200	153.87				
19	19	-6.00	55400	147.10				
20	20	-7.00	54600	140.40				
21	21	-8.00	53800	133.78				
22	22	-9.00	53000	127.23				
23	23	-10.00	52000	120.75				



DESC.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
RELACION	300-200/1 A	300-220/1 A	300-200/1 A	3000-2000/1 A	3000-2000/1 A	3000-2000/5 A	2750/1 A	1:50/1:5 A
CLASE	SP20	SP20	0.5 NCS	SP20	SP20	1 NCS	1 RD5	1 RD5
BURDEN	30 VA	30 VA	30 VA	30 VA	30 VA	30 VA	12 VA	12 VA

	NIVELES DE AISLACION		
	PRIMARIO/NEUTRO	SECUNDARIO	
ONDA PLENA	325 kV	95 kV	75 kV
ONDA CORTADA	400 kV	110 kV	88 kV
FREC. INDUST.	140 kV	30 kV	28 kV

INDUSTRIA ARGENTINA

POS. MATERIAL	MOBILIDAD	OBJETIVO	TIPO
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31
32	32	32	32
33	33	33	33
34	34	34	34
35	35	35	35
36	36	36	36
37	37	37	37
38	38	38	38
39	39	39	39
40	40	40	40
41	41	41	41
42	42	42	42
43	43	43	43
44	44	44	44
45	45	45	45
46	46	46	46
47	47	47	47
48	48	48	48
49	49	49	49
50	50	50	50

PLACA de CARACTERISTICAS
 TUBOS TRANS ELECTRIC S.A.I.C.F. y A.
 A-3972
 FECHA 22-01-93
 T-22551

T-22551

ANEXO B
IMAGEN TERMICA ANTISISMICA AKM 35



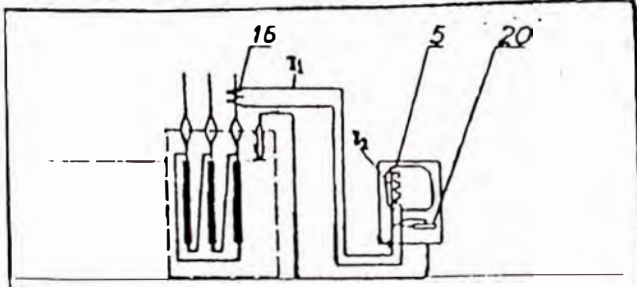
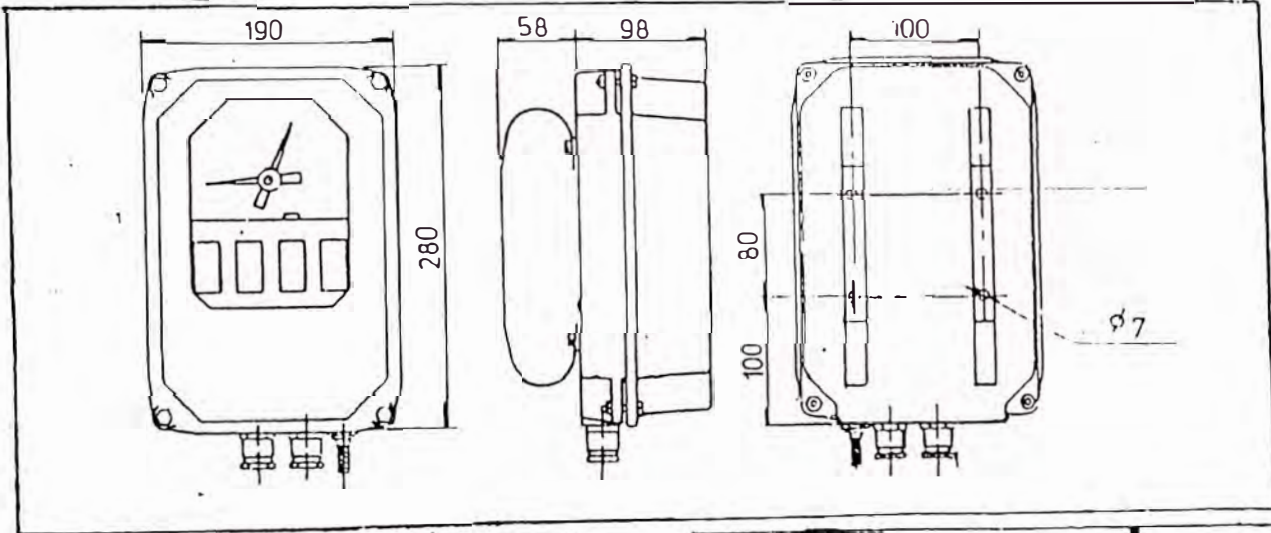
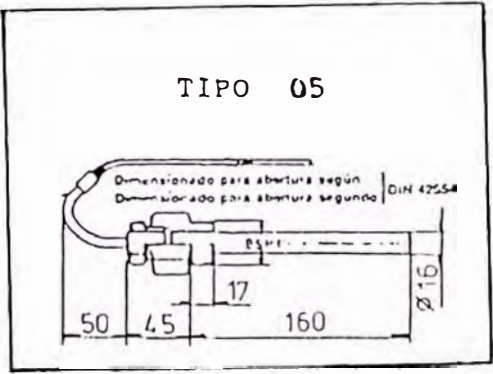
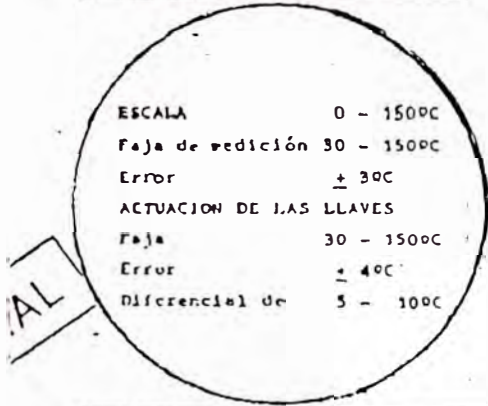
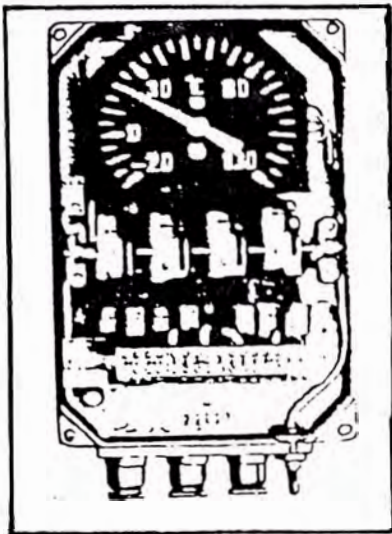
Grafo-Union



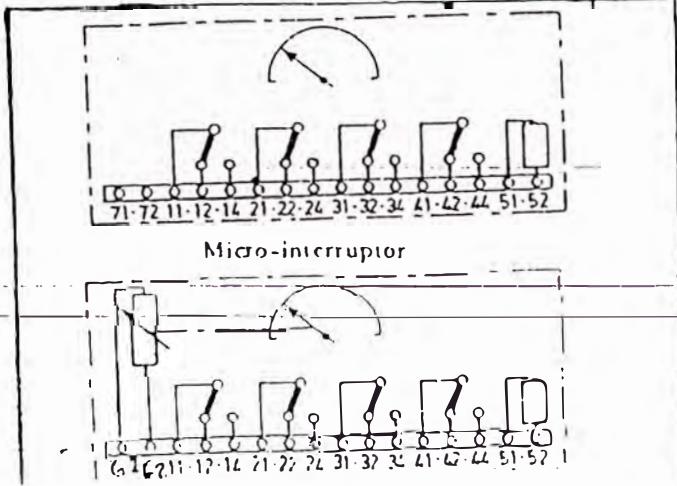
INSTRUMENTO INDICADOR DE LA TEMPERATURA DEL BOBINADO

N-404-012

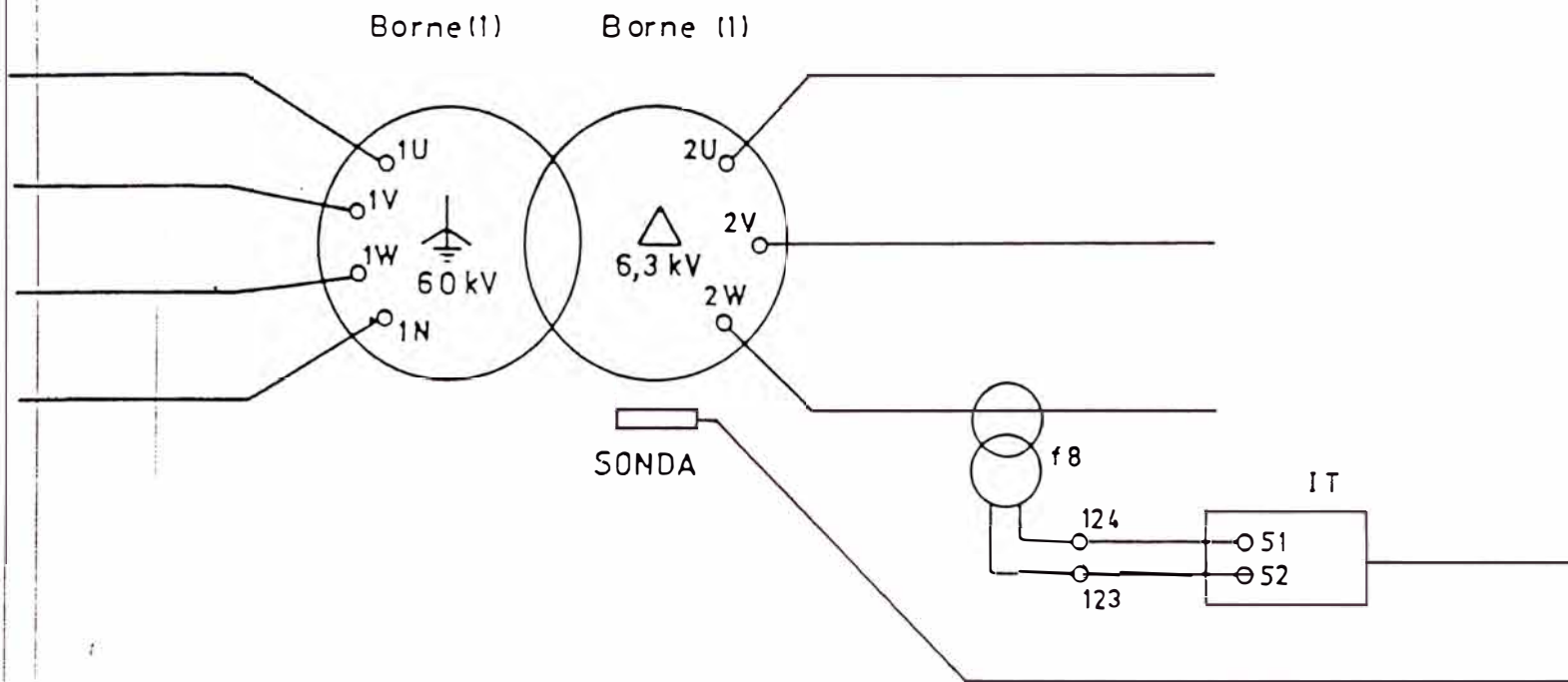
IMAGEN TERMICA ANTISISMICA AKM 35



- 5- Resistencia calentadora
- 16- Transformador de corriente principal
- 20- Resistencia de adaptacion
- I₁- Corriente secundaria del transformador de corriente principal



UBICACION TRANSF. DE CORRIENTE DE IMAGEN TERMICA



TUBOS TRANS ELECTRIC S.A.I.C.F. y A.	TITULO CONEXIONADO DE IMAGEN TERMICA	REEMPLAZA A:	MODIFICACIONES			FECHA	2	HOJA 13		
		1				3				
2	3	4	REEMP. POR:	ESCALA	DIBUJO	REVISO	CLIENTE	FECHA	DE 13	
				-	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	Cto. Ne. PACASMAYO A-3972	30 MVA 6-5-93	T-47976	
				5	6	7	8	9		

ANEXO C
REGULADOR ELECTRONICO DE TENSION
MK 30

MR MASCHINENFABRIK
REINHAUSEN

REGULADOR ELECTRONICO DE TENSION MK 30

Instrucciones de servicio

Indice	Página
1. Generalidades	
1.1 Campo de aplicación	2
1.2 Diseño y construcción	3
2. Datos técnicos	4
3. Funcionamiento	
3.1 Input y Output de datos, funciones	5
3.2 Puesta en servicio	15
4. Fallos	17
5. Apéndice	17

Generalidades

1 Campo de aplicación

El regulador electrónico de tensión MK 30 (fig. 1) se utiliza para el control automático de transformadores con cambiadores de tomas en carga, que son operados mediante un accionamiento por motor. La activación del accionamiento por motor, que trabaja según el principio de marcha paso a paso, provoca el cambio de tensión del arrollamiento del transformador de una toma. En el caso de que la marcha paso a paso haya sido eliminada, el accionamiento por motor se controla mediante una señal permanente. En ambos casos, el regulador de tensión da el comando de control "subir" ó "bajar" al accionamiento por motor, cuando el valor actual de la tensión se diferencia dentro de límites preestablecidos del valor de consigna.

Para compensar la caída de tensión debida a la carga, a lo largo de una línea que sale del transformador regulador y cuya tensión en el otro extremo se pretende mantener constante, se puede realizar un compoundaje de corriente que afecta el valor de consigna. Ello se realiza mediante una reproducción interna de la componente resistiva y reactiva de la línea (Line-Drop-Compensation) o mediante una influenciación dependiente de la corriente de carga (Compensación Z).

Reduciendo el valor de tensión de consigna, por medio de contactos de relés externos o de conmutadores, se puede realizar, en caso dado, una reducción de carga del sistema, preprogramada de antemano, y en 3 escalones como máximo.

Bloqueos por baja tensión y por sobrecorriente incorporados así como el control de sobretensión, garantizan un servicio preponderantemente sin fallos.

A requerimiento, el regulador de tensión MK 30 puede trabajar con el equipo de comando de marcha en paralelo SKB 30 y con los equipos adicionales del sistema MK 20, p.e. con el indicador de valor de tensión límite LV 20 y el equipo de marcha en paralelo SKB 20.

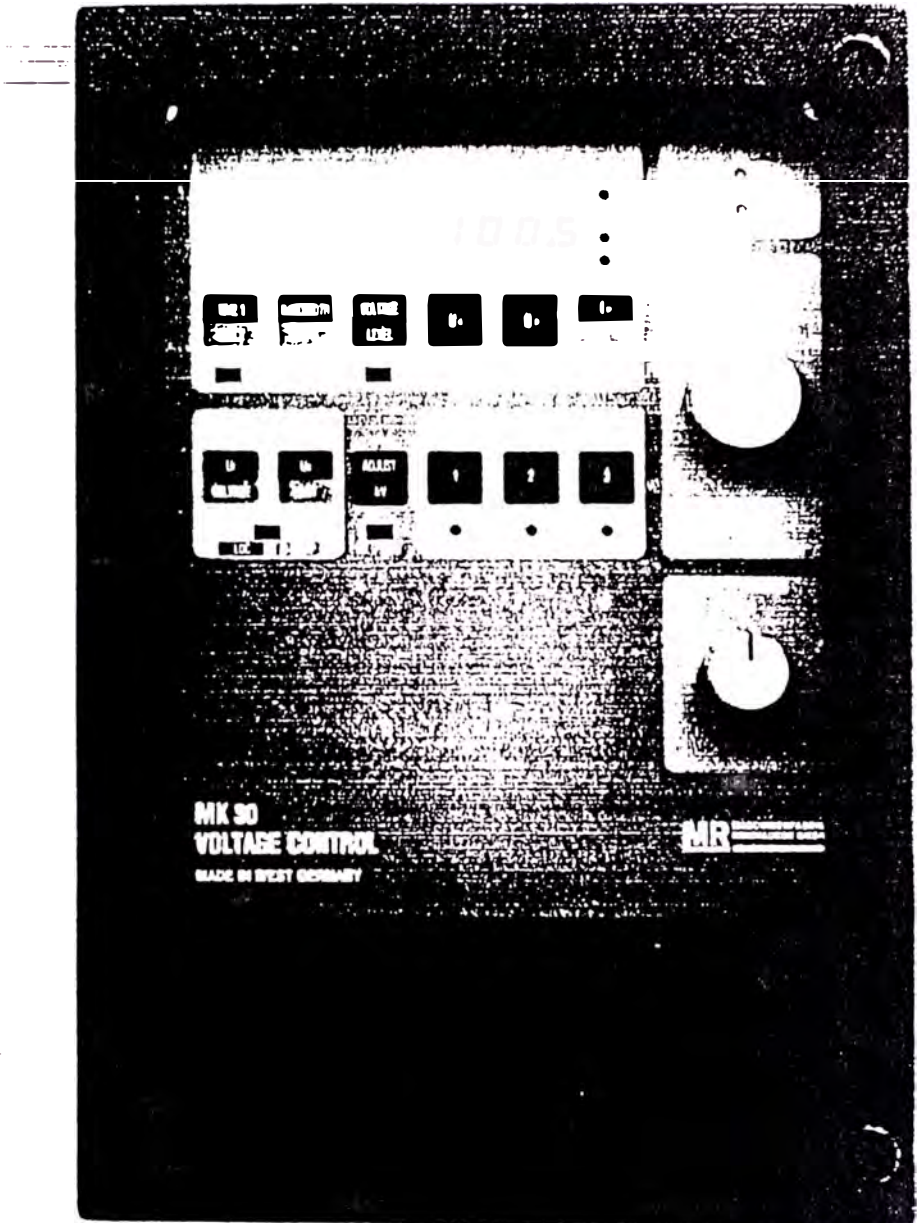


Fig. 1 Regulador electrónico de tensión MK 30

El regulador de tensión MK 30 es completamente compatible con el regulador de tensión MK 20 (p. e. en el caso de transformadores que marchan en paralelo).

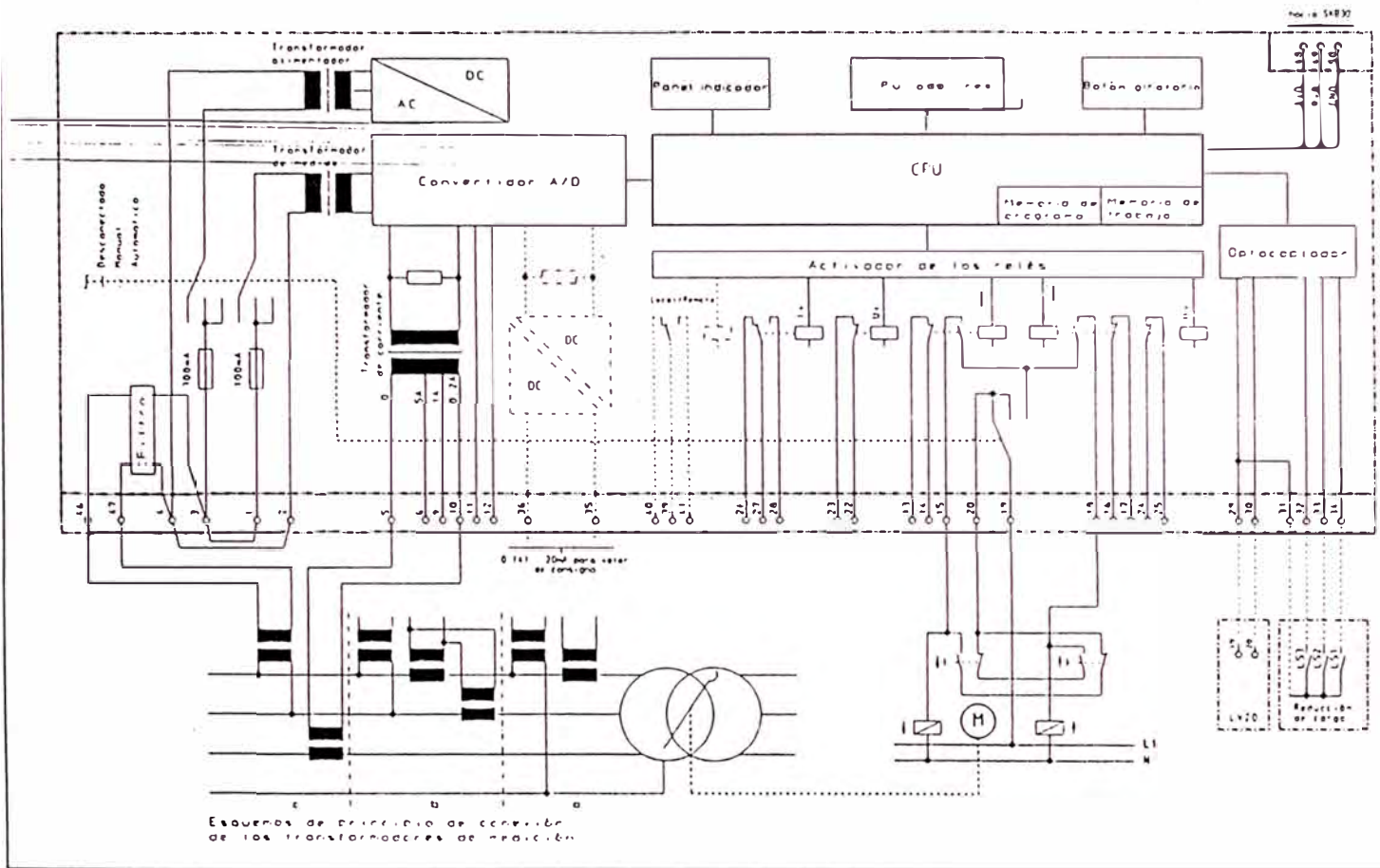


Fig. 2 Esquema de bloques y de conexión

1.2 Diseño y construcción

El regulador electrónico de tensión MK 30 está incorporado en una caja protectora con tapa rebatible y ventana. La caja protectora se puede montar a elección sobre o incorporada en un tablero.

El regulador de tensión está construido en el confiable sistema de placa única, de manera que todos los elementos de control e indicación pueden traspasar directamente la placa frontal del aparato.

La placa frontal claramente diseñada contiene diferentes pulsadores sensitivos y conmutadores de corredera, así como un botón giratorio (emisor incremental) para el ajuste a los valores deseados y la llave selectora del modo de operación.

La indicación se realiza mediante un display con 4 dígitos de 7 segmentos, en combinación con diferentes diodos luminosos individuales.

El aparato se controla en forma centralizada mediante un microprocesador con convertidor analógico/digital integrado, para la captación compatible con el computador, del valor medido (ver el esquema en bloque en fig. 2). Además contiene, aparte de transformadores de tensión y de intensidad, un optoacoplador para la conexión libre de potencial de llaves de reducción de carga y del aparato adicional LV 20.

Relés con contactos de salida libres de potencial proporcionan las señales de subir/bajar así como la señalización en caso de baja/alta tensión y sobrecorriente.

ANEXO D
PROTOCOLO DE ENSAYOS



Tubos Trans Electric

S.A. I.C.F. y A.

CLIENTE CEMENTOS NORTE PACASMAYO S.A.

TRANSFORMADOR 25/30 MVA, Baño de Aceite

TIPO TATBA 30000/60

Nº FAB./SERIE A-3972 /34079

ORDEN DE COMPRA A-3972

ESPECIFICACION 25/30 MVA, YNd5, 60/6.3 Kv

ENSAYADOS POR Tubos Trans Electric S.A.I.C.F.

CONTROLADOS POR M. Marioli / M. Falcone

APROBADOS POR CNPSA J. Arévalo / J. Pacón / V. Gutiérrez

FECHA DE ENSAYO Octubre de 1,993

PROTODCOLOS
DE
ENSAYOS

MEDICION RESISTENCIA DE AISLACION MECNER 2500V

JORGE PACON (1) 7000 ~~9000~~
 JOSE L. AREVALO
 VICTOR GUTIERREZ.
 - Antes de Ensayos Dieléctricos

Megher: ELECTRONICO	Esc: 5000 V.	Temp.: 22 °C	
CONEXION	MΩ		
		(2) AT/Masa	
(1) AT/BT+H		(3) BT/MASA	
		(4) AT+BT/Masa	

	30"	1	3	5	10
(1)	1600	2900	4300	5100	6200
(2)	1800	3000	5300	6300	7300
(3)	1750	2600	5100	7000	10300
(4)	1950	2200	4300	5100	6100

- Después de Ensayos Dieléctricos

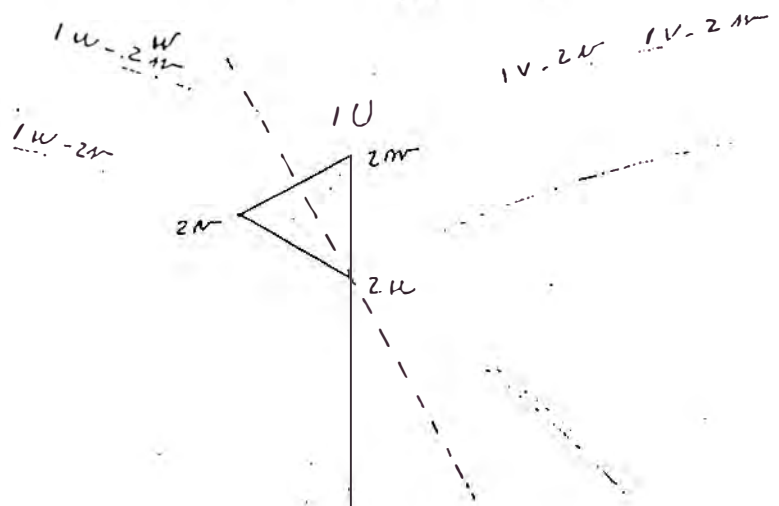
Megher:	Esc:	V.	Temp.:	°C
CONEXION	MΩ			
		AT/Masa		
AT/ET				
		ET/Masa		

RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

NORMA:	ELECTRODOS:	
N° DESCARGAS	PROMEDIO KV	RESULTADO
6	70	SATISFACTORIO.

Fecha:		

P2-2'



SENTIDO DE ROTACION : HORARIO
ESCALA UTILIZADO : 1:25
GRUPO DETERMINADO : YND5

IV

MEDICION DE LA RELACION DE TRANSFORMACION

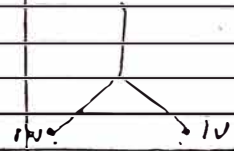
NORMA :

PUENTE : NORMA

GRUPO DE CONEXION : YND5

ARROLLAMIENTOS : AT COMU / 63 KV.

POSICION CONMUTADOR	RELACION TEORICA	M E D I D A		
		V-O / W-U	V-C / U-N	V-O' / N'-N"
1 + 10	6,0484	6,024	6,024	6,024
2 + 9	5,9934	5,971	5,970	5,971
3 + 8	5,9365	5,917	5,916	5,917
4 + 7	5,8835	5,863	5,863	5,863
5 + 6	5,8285	5,809	5,809	5,809
6 + 5	5,7735	5,755	5,755	5,755
7 + 4	5,7185	5,701	5,701	5,701
8 + 3	5,6635	5,648	5,648	5,648
9 + 2	5,6085	5,594	5,594	5,594
10 + 1	5,5536	5,540	5,540	5,540
N 11 0	5,4986	5,486	5,486	5,486
12 - 1	5,4436	5,432	5,432	5,432
13 - 2	5,3886	5,378	5,378	5,378
14 - 3	5,3336	5,325	5,324	5,325
15 - 4	5,2786	5,271	5,271	5,271
16 - 5	5,2236	5,217	5,217	5,217
17 - 6	5,1687	5,163	5,163	5,163
18 + 7	5,1137	5,110	5,110	5,110
19 - 8	5,0587	5,056	5,056	5,056
20 - 9	5,0037	5,001	5,001	5,002
21 - 10	4,9487	4,948	4,948	4,948
22				11
23 -	1U-1V	403		
24	1V-1W	404		
25	1W-1U	404		
26	1V-2U	440		
27	1V-2W	440		
28	1W-2U	406		
29	1W-2W	441		
30				
31				
32				



TUBOS TRANS

ELECTRIC

S. A. I. C. F. Y. A.

PROTOCOLO DE ENSAYOS

No. 34144

Nº F: 43972

Hoja 1

MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS

Arrollamiento: AT 60 KV

Método: PUNTE

Posición Conmutador	Temp. Ac: 21 °C Fase: 1U - 1V	Temp. Ac: 21 °C Fase: 1V - 1W	Temp. Ac: 21 °C Fase: 1W - 1U
1 +10	0,279 Ω	0,281 Ω	0,279 Ω
2 +9	0,276 "	0,278 "	0,276 "
3 +8	0,273 "	0,275 "	0,273 "
4 +7	0,270 "	0,272 "	0,270 "
5 +6	0,267 "	0,269 "	0,268 "
6 +5	0,264 "	0,266 "	0,265 "
7 +4	0,261 "	0,264 "	0,262 "
8 +3	0,258 "	0,261 "	0,259 "
9 +2	0,256 "	0,258 "	0,257 "
10 +1	0,253 "	0,255 "	0,254 "
11 0	0,250 "	0,252 "	0,251 "
12 -1	0,254 "	0,255 "	0,254 "
13 -2	0,252 "	0,258 "	0,257 "
14 -3	0,259 "	0,261 "	0,259 "
15 -4	0,262 "	0,264 "	0,262 "
16 -5	0,265 "	0,266 "	0,265 "
17 -6	0,268 "	0,269 "	0,268 "
18 -7	0,270 "	0,272 "	0,270 "
19 -8	0,273 "	0,275 "	0,273 "
20 -9	0,276 "	0,277 "	0,276 "
21 -10	0,279 "	0,280 "	0,279 "
RESISTENCIA DE CABLES MEDICION			0,014 Ω

Método: PUNTE

Arrollamiento	Terminal	Resistencia medida	Temp. Accite (°C)
BT	2U - 2V	40,50 · 10 ⁻⁴	21
BT	2V - 2W	40,30 · 10 ⁻⁴	21
BT	2W - 2U	40,02 · 10 ⁻⁴	21

Fecha

	VILLA	DPTO GARANTÍA DE CALIDAD	TTE-VP-P-A02
	PÁEZ	PROTOCOLO DE ENSAYOS	N° de Inf:
		CONTROL DE PROCESO	Fecha: 20/10/93

MEDICIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE
ACEITES AISLANTES

TIPO DE ACEITE:	CLIENTE: <u>TECCOM</u>
-----------------	------------------------

EXTRAI DO DE:

PROCEDIMIENTO: 8/norma IRLV 2341

ELECTRODOS: Semisféricos φ 25

FRUENCIA: 50 Hz

TEMPERATURA DEL ACEITE:

N° DISPLAZO	DIVISIONES	RIGIDEZ DIELECTRICA Kv
1	> 70	
2	> 70	
3	> 70	
4	> 70	
5	> 70	
6	> 70	

Evaluación: Rigidez dieléctrica 70 Kv

RESOLUCIÓN: _____

Observaciones: Tensión de ensayo 3kv/seg

C/C	O.S.M.	O.PRO.	O.INO.	OTROS	GENERAL	DEV. & PROVED.
	<input type="checkbox"/> DEP.V.P.	<input type="checkbox"/> O.PRO.	<input type="checkbox"/> O.INO.	<input type="checkbox"/> PROVEDOR	<input type="checkbox"/> G.C.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	<input type="checkbox"/> G.S.M.	<input type="checkbox"/> FCP.	<input type="checkbox"/> D.T.	<input type="checkbox"/> SS	<input type="checkbox"/> O.INO.	CANTIDAD: ...
	<input type="checkbox"/> DCP.	<input type="checkbox"/> JST	<input type="checkbox"/> DTP.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/> DCI.	<input type="checkbox"/> JFVP.				

REALIZÓ: [Signature] APROBÓ: _____

Fábrica de Transformadores - Administración y Ventas
 DR. ELISEO CANTON 2342 - 5003 CORDOBA
 TEL. 80-1627 / 3495 / 7191 / 7804 - TELEX 61-616
 Oficina en Buenos Aires
 PERU 690 - 7º PISO - 1008 CAPITAL FEDERAL
 TEL. 33-7357 / 7864 / 7952 - TELEX 2-1841



ENSAYO CON TENSIONES DE IMPULSO

TRANSFORMADOR A ENSAYAR:

Nº

Tipo:

Grupo de conexión: *YN/0S*

Potencia: *25/30 MVA*

Fases: *3*

Nº. Fabricación: *A 3972*

Tensión Primaria: *60 KV 225/400 95*

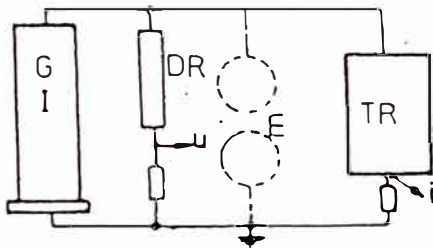
Nº. de aparato: *34144*

Tensión Secundaria en vacío: *6,3 75/88*

Normas: *IEC 76*

Cliente: *TECCOM. (CEMENTO DACAS MAYO) PERU*

CIRCUITO Y EQUIPOS EMPLEADOS:



G I: Generador de impulso N. R. 1000 KV. 32 KJ.

Tipo descubierto disparo controlado

DR: Divisor de tensión.

E: Explosores de esfera. Diámetro: 250 mm.

U: Registro de tensión.

i: Registro de corriente Shunt R.

TR: Transformador bajo ensayo.

Los registros de tensión y corriente se realizaron con un osciloscopio HAEFELY - Mod. 72 - Doble Haz.

La medición de la tensión de cresta de la onda se efectuó con Voltímetro de Impulso HAEFELY.

DATOS CLIMATICOS Y OBSERVADOS:

Temperatura ambiente: *19 °C*
 Humedad relativa: *90 %*
 Presión atmosférica: *725 mm Hg*
 Burbujas:
 Ruidos internos:
 Descargas interiores:
 Oscilogramas:

AI SLACION:

- Antes del Ensayo:
 AT/BT = Megohms
 AT/Masa = Megohms
 BT/Masa = Megohms

- Después del Ensayo:
BT: 0,386. 725/273719 = 0,958

ANALISIS DE LOS OSCILOGRAMAS Y OBSERVACIONES:

BT: 15 mm. 45. 0,958 = 43,1 KV (29x75)/43,1 = 50 d. P 25 R.
BB 59 d. CP 29,5 CR.
NEUTRO AT: 20 mm 59. 0,958 = 56,5 35.95/56,5 = 59 d. P 29,5 d. R.
AT: 60 mm. 141. 0,958 = 154,3 32.325/154,3 = 67 d. P 33,5 d. R.
400 83 d. CP 41,5 d. CR

Ensayo efectuado por: *MIGUEL J. FALCONE - MIGUEL MARTÍNEZ - LUCIO HERRERA*

Presenciado por: *JOSE LUIS AREVALO - JORGE PACOM - VICTOR GUTIERREZ*

Firmas:

Córdoba, 21 de OCTUBRE de 1993



TABLA DE VALORES APLICADOS Y MEDIDOS

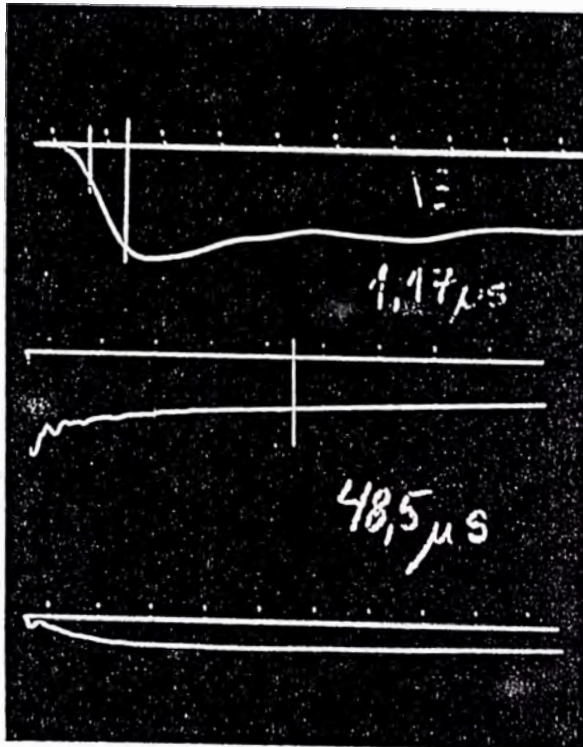
Transf. N° 3444 N° Fabric.: 43972 Potencia: 25/30 MVA Cliente: TECCOM.

Borne		2U BT ^{18 39}						2V BT						2W BT					
Onda		R.	P	CR / CR	CP / CP	P	P	R.	P	CR / CR	CP / CP	P	P	R.	P	CR / CR	CP / CP	P	P
Fotografía N°		1	2	3 / 4	5 / 6	7	8	9	10	11 / 12	13 / 14	15	16	17	18	19 / 20	21 / 22	23	24
Carga KV/etapa		25	50	29,5	59	50	50												
Polaridad		NEGATIVA																	
Conexión del generador		4 X 1						X						X					
Forma de onda (us)		1,2 / 50																	
OSCILOGRAFO	Tiempo de frente (us)																		
	Tiempo de cola (us)																		
	Tiempo de corte (us)																		
	Tiempo de barrido (us)		10	50	10	10	50	50											
			50	50			50	50											
	Escala de tiempo (us/div)		1	5	1	1	5	5											
			5	5			5	5											
Contraste de tensión (V)																			
Llave selectora "X"		1	2	1	2	2	2												
Tensión de cresta (KV)																			

Firmas:

Córdoba, 21 de OCTUBRE de 1993

DEVANADO: BT- μ 2 FORMAS DE ONDA.



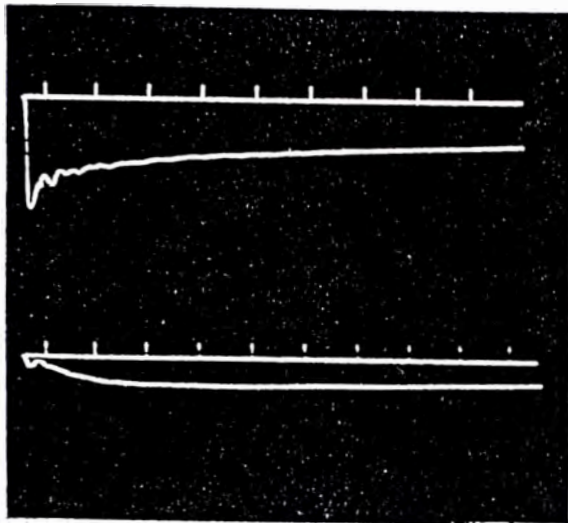
μ 2 1.17/48.5 μ s

TUBOS TRANS
ELECTRIC
S. A. I. C. F. y A.

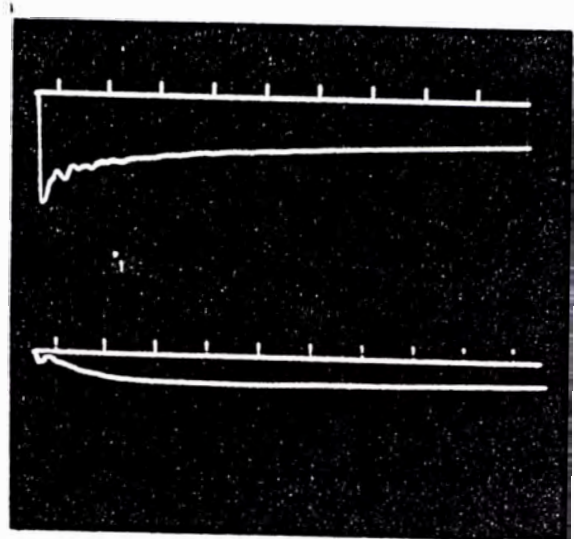
PROTOCOLO DE ENSAYOS
ENSAYO DE IMPULSO ATMOSFERICO

No.	
Hoja	1

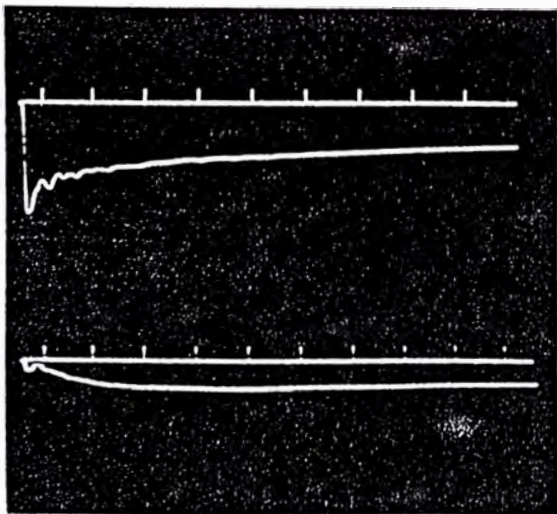
DEVANAGO: μ2



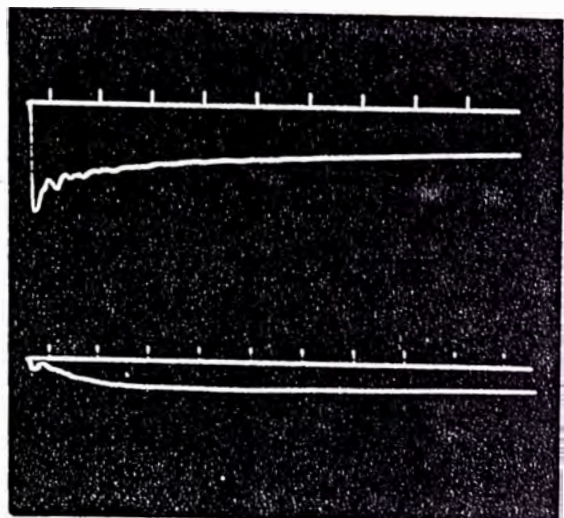
17



18



19



20



TABLA DE VALORES APLICADOS Y MEDIDOS

Transf. N° 34/44

N° Fabric.: A 3972

Potencia: 25/30 MVA Cliente: TECCOM

Borne		U NEUTRO AT				V				W			
Onda		R	P	P	P								
Fotografía N°		1	2	3	4								
G. I.	Carga KV/etapa	295	59	59	59								
	Polaridad	NEGATIVA											
	Conexión del generador	4 X 1							X				X
	Forma de onda (us)	1,2/50											
OSCILOGRAFO	Tiempo de frente (us)												
	Tiempo de cola (us)												
	Tiempo de corte (us)												
	Tiempo de barrido (us)	10	50	50	50								
		50	50	50	50								
	Escala de tiempo (us/div)	1	5	5	5								
		5	5	5	5								
	Contraste de tensión (V)												
Llave selector "X"	1	2	2	2									
Tensión de cresta (KV)													

Firmas:

Córdoba, 21 de OCTUBRE de 1993

TUBOS TRANS
ELECTRIC
S. A. I. C. F. y A.

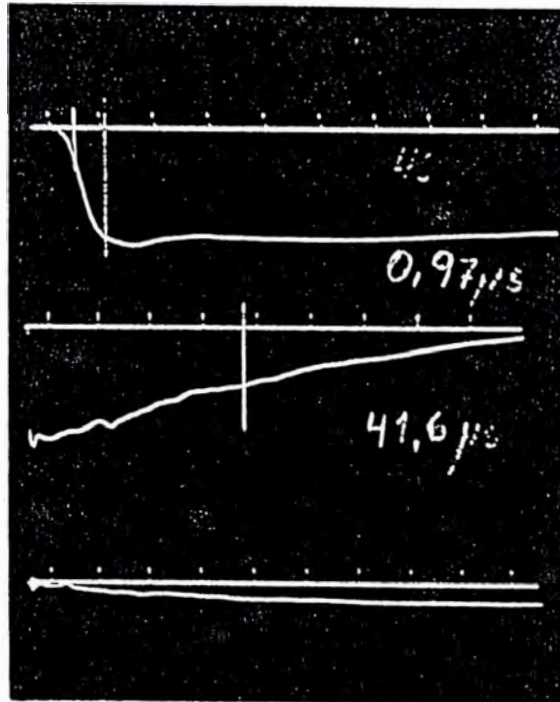
PROTOCOLO DE ENSAYOS
ENSAYO DE IMPULSO ATMOSFERICO

No.

Hoja

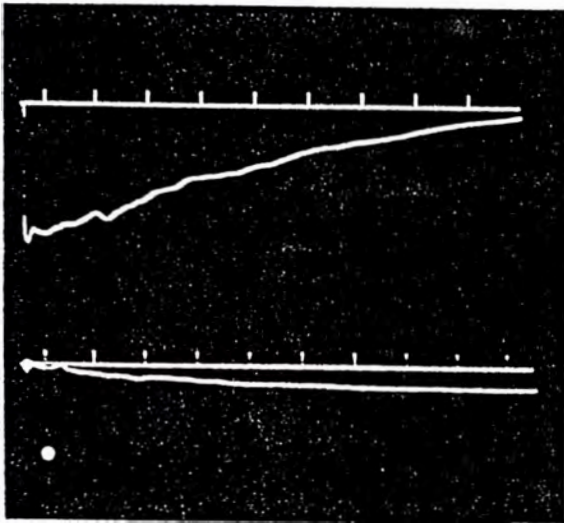
1

DEVANADO: AT-N FORMAS DE ONDA.

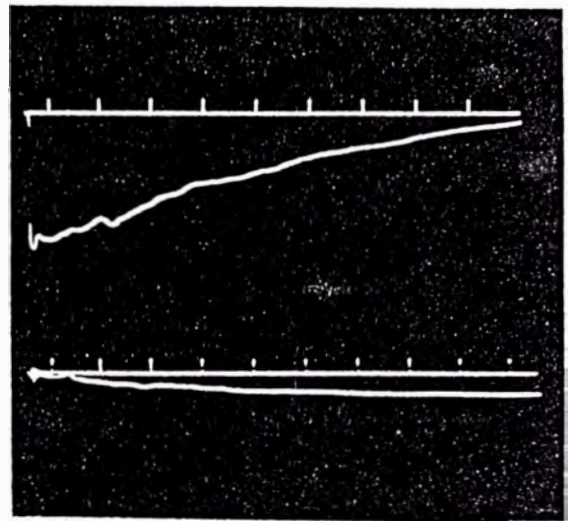


N 0,97/41,6 μs

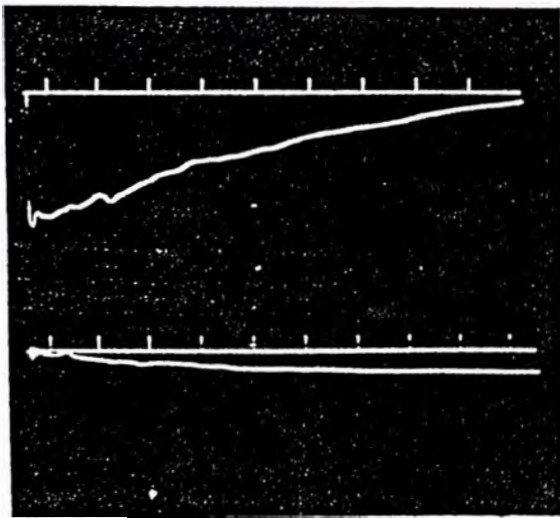
DEVANADO: AT-N



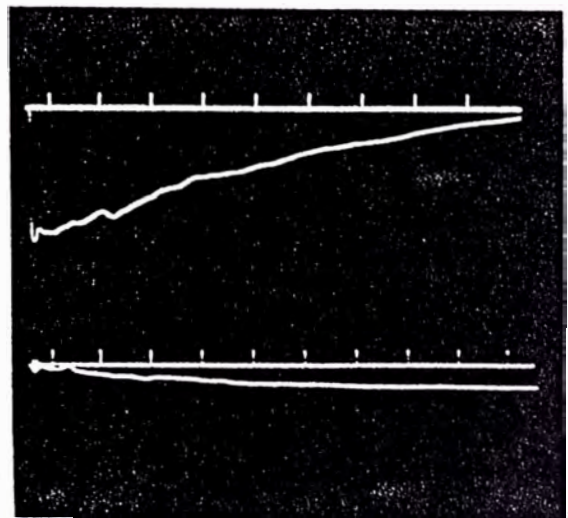
13



14



15



16

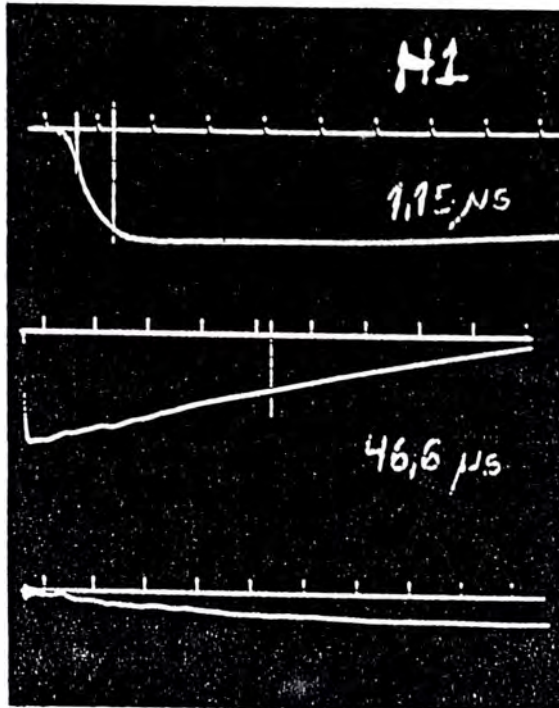


TABLA DE VALORES APLICADOS Y MEDIDOS

Transf. N° 34141 / N° Fabric.: 43922 / Potencia: 25/30 MVA / Cliente: TECCOM.

Borne		I U						I V						I W						
Onda		R	P	CR / CP	CP / CR	P	P	R	P	CR / CP	CP / CR	P	P	R	P	CR / CP	CP / CR	P	P	
Fotografía N°		1	2	3 / 4	5 / 6	7	8	9	10	11 / 12	13 / 14	15	16	17	18	19 / 20	21 / 22	23	24	
Carga KV/etapa		33,5	67	41,5	83	67	67													
Polaridad		NEGATIVA						NEGATIVA						NEGATIVA						
Conexión del generador		2 X 3						2 X 3						2 X 3						
Forma de onda (us)		1,2/50																		
OSCILOGRAFO	Tiempo de frente (us)																			
	Tiempo de cola (us)																			
	Tiempo de corte (us)																			
	Tiempo de barrido (us)	10 / 50	10 / 50	10	10	50	50													
	Escala de tiempo (us/div)	1 / 5	1 / 5	1	1	5	5													
	Contraste de tensión (V)																			
	Llave selectora "X"	U / I	1,6 / 1,25	3,2 / 2,5	1,6 / 1,25	3,2 / 2,5	3,2 / 2,5	3,2 / 2,5												
Tensión de cresta (KV)																				

DEVANADO: AT-U1 FORMAS DE ONDA.



U1 1,15/46,6 μs

TUBOS TRANS
ELECTRIC
S. A. I. C. F. y A.

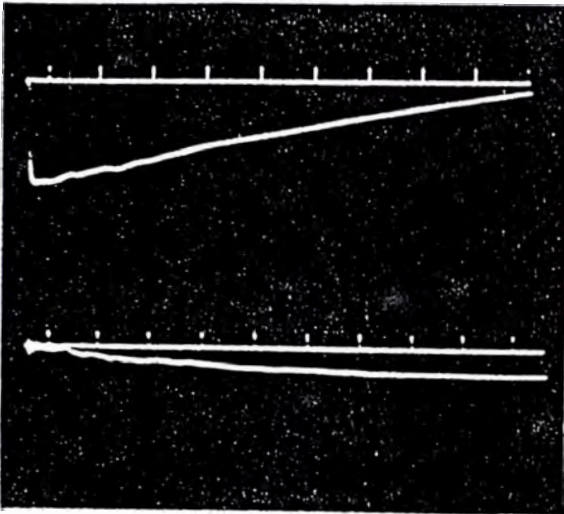
PROTOCOLO DE ENSAYOS
ENSAYO DE IMPULSO ATMOSFERICO

No.

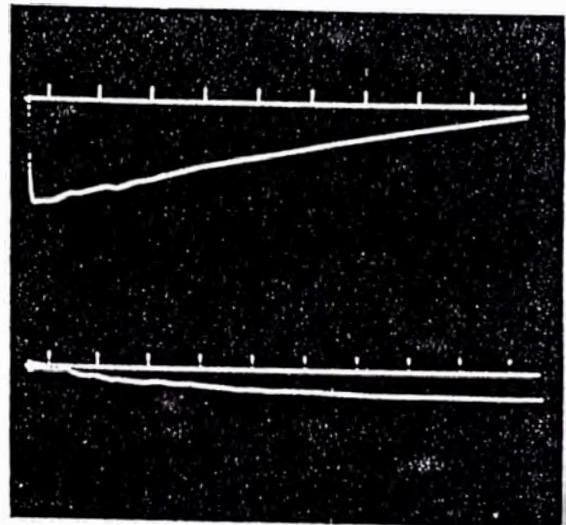
Hoja

1

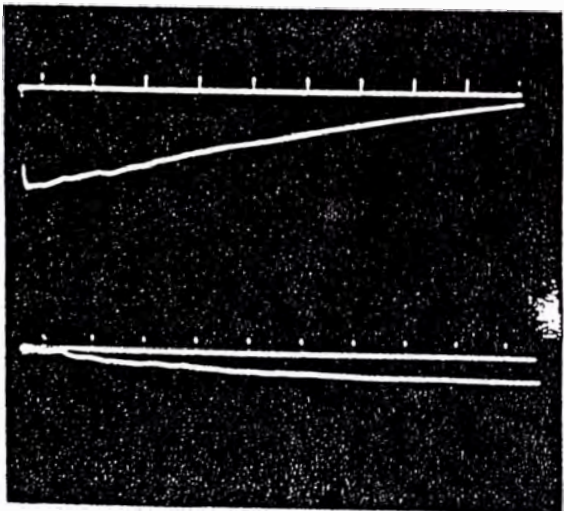
DEVANADO: AT-UI



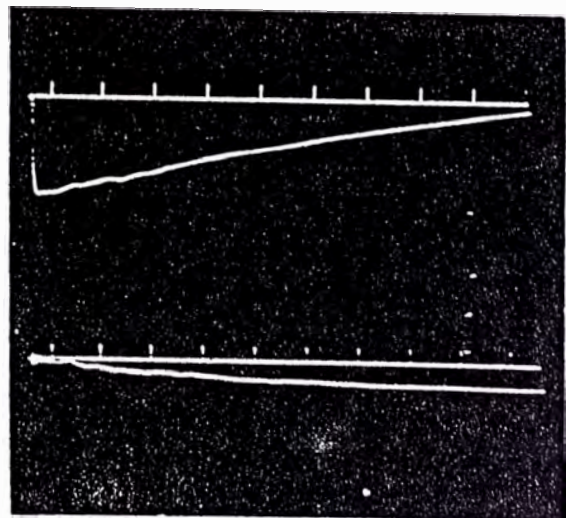
01



02



03



04

ENSAYO CON TENSION APLICADA

NORMA: IEC 70

Unominal: AT: 60 KV.
MT: KV.
ET: 6,3 KV.

Arrollamiento	Tensión de Ensayo (KV)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (seg.)	Resultado
A.T.	30	50	60	SATISFACTORIO
M.T.				
B.T.	28	50	60	SATISFACTORIO

ESFERAS 250 mm ϕ .
BT SEPARACIÓN 10 mm $\frac{31}{\sqrt{2}} \cdot 0,958 = 21 \text{ kVef} \rightarrow 220 \cdot 28 / 21 = 2930$

ENSAYO POR TENSION INDUCIDA

AT SEPARACIÓN 10 mm $\frac{31}{\sqrt{2}} \cdot 0,958 = 21 \text{ kVef} \rightarrow 200 \cdot 30 / 21 = 2860$

NORMA:

Aislación: $S = \frac{N - 111}{N}$ $\frac{1000 - 1500}{1000} = 25,50 = 125 \text{ Hz}$
GRADUAL.

Arrollamiento Fase	Tensión de Ensayo (KV)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (Seg)	Resultado
1 U	140	125	58	SATISFACTORIO
1 V	140	125	58	SATISFACTORIO
1 W	140	125	58	SATISFACTORIO

ESFERAS DE 250 mm ϕ
SEPARACIÓN 40 mm $\frac{112}{\sqrt{2}} \cdot 0,958 = 75,86 \text{ kVef} \rightarrow 140 \cdot 140 / 75,86 = 2520$

$4110 \text{ V} = 444 \cdot f \cdot B \cdot N \cdot S \cdot A \cdot 10^{-8} \text{ I}$

14000 V

DESCARGAS PARCIALES

CALIBRACION PARA 50 PC:

" " 500 PC:

ARROLLAMIENTO: AT: KV. 60 KV

MAXIMA TENSION DE LINEA: 72,5 KV

TENSION DE PRE. EXTRES : $72,5 \cdot 1,5 / \sqrt{3} = 62,8 \text{ KV}$

TENSION DE EXTRES : 72,5 KV

TENSION DE MEDICION : 62,8 KV

VALORES OBTENIDOS

FASE: IU | FASE: IV | FASE: IW

db | db | db

< 105 PC | < 108 PC | < 130 PC

RESULTADOS:

Ø ESFERAS 250 mm.

SEPARACION 20 mm $\frac{59}{\sqrt{2}} \cdot 0,958 = 39,6 \text{ KV}$

$39,6 \cdot 1,5 = 59,4$ $107,725 / 39,6 = 196$

62,8 = 170

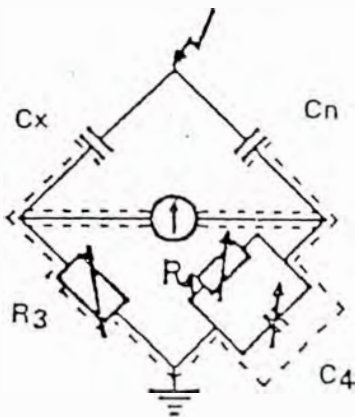
1ER NIVEL 170d. 5'

2DO NIVEL 196d. 5''

3ER NIVEL 170d. 30'

MEDICION DE LA CAPACIDAD Y FACTOR DE PERDIDAS

CIRCUITO DE ENSAYO



PUENTE DE SHERING

U = 1.5 KV , 50 Hz.

Cn = 1.000 pF

R4 = 5.000 Ω

$$C_x = C_n \frac{R_4}{R_3}$$

TEMP. = 19.0 °C

$$T_{gd} = 2\pi f C_4 R_4$$

RESULTADOS:

$\Delta T / \Delta T$ Cx = R3 = 443 Ω C4 = 1.962 pF

Cx = 11.286 pF

Tgd% = 0.308

$\Delta T / \Delta T$ Cx = R3 = 303.4 Ω C4 = 2.528 pF

Cx = 16.479 pF

Tgd% = 0.397

$\Delta T / \Delta T$ Cx = R3 = 460.43 Ω C4 = 2.164 pF

Cx = 10.859 pF

Tgd% = 0.340

76	TUBOS TRANS		TRANSFORMADOR		MVA		N° 34144						
D. JG.	ELECTRIC		CLIENTE		S. FAB:		NEF: 43972						
A. Apr.	S.A.I.C.F. y.A.		PERDIDAS EN EL HIERRO				Hoja 4						
F. ad.													
Indicaciones:	E: EFICAZ		90%		5670 V		6550						
	M: MEDIO 100 % Un 6300 V.		100%		6300 V		72,75d						
			110%		6930 V		80,02d						
	TENSION			CORRIENTE			VAJIOS			PERDIDAS			
	Ku	U	V	W	Ki	U	V	W	Kw	U	V	W	% Un
UE	866	62,5	70,2	60	0,1	21,3	21	25	50	60,7	100,5	86	
UM	U	62	69	60	I	2,24 A			H _{ii}	247,2		12360 W	
	E: 5563 V		M: 5514 V										
UE	866	66,8	74,7	63,7	0,1	25,2	24,8	29	50	69,2	115,5	94,5	
UM	U	65,4	730	64	I	2,64 A			H _{ii}	279,2		13960 W	
	E: 5923 V		M: 5843 V										
UE	866	68,5	76,4	65	0,1	27	26,5	31	50	71,5	120	100,5	
UM	U	66,8	750	65	I	2,82 A			H _{ii}	292		14600 W	
	E: 6059 V		M: 5969 V										
UE	866	75	82,8	70,3	0,1	34,8	34,3	39	100	43,5	72,8	55,5	
UM	U	74,4	80	69,2	I	3,60 A			H _{ii}	171,8		17180 W	
	E: 6585 V		M: 6368 V										
UE	866	80	87,6	75	0,1	44,3	43,5	48,7	100	49	83,3	64	
UM	U	74,6	83,4	72,5	I	4,55 A			H _{ii}	196,3		19630 W	
	E: 7003 V		M: 6663 V										

$$P = \frac{P_M}{P_1 + K \cdot P_2} \quad P_1 = 0,5 \quad K = (U_E / U_M)^2 \quad P_2 = 0,5$$

$$P = \frac{12360}{0,5 + (5563/5514)^2 \cdot 0,5} = 12251 \text{ W} \quad 5514 \text{ V } U_M$$

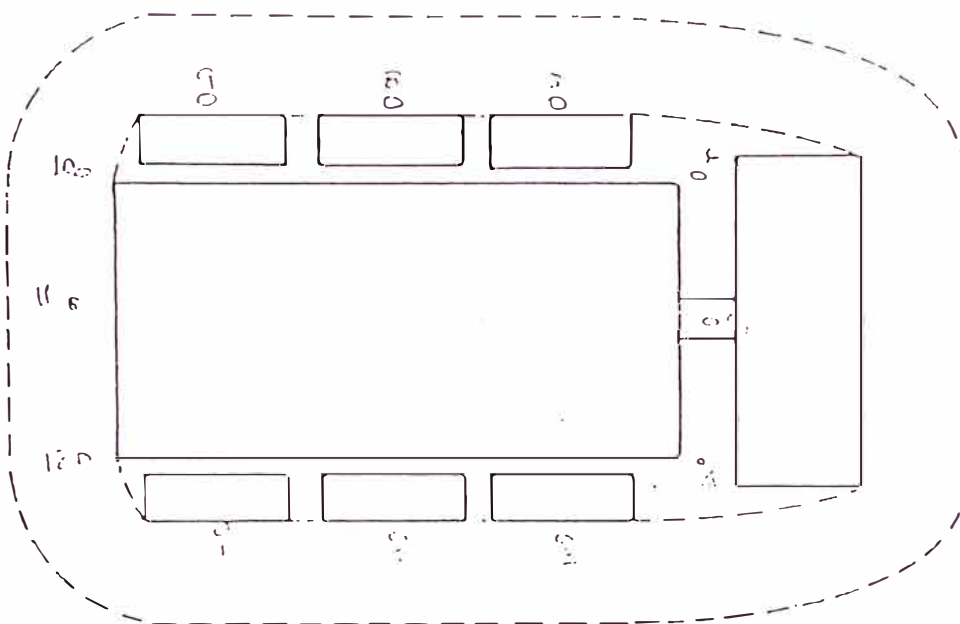
$$P = \frac{13960}{0,5 + (5923/5843)^2 \cdot 0,5} = 13770 \text{ W} \quad 5843 \text{ V}$$

$$P = \frac{14600}{0,5 + (6059/5969)^2 \cdot 0,5} = 14382 \text{ W} \quad 5969 \text{ V}$$

$$P = \frac{17180}{0,5 + (6585/6368)^2 \cdot 0,5} = 16605 \text{ W} \quad 6368 \text{ V}$$

$$P = \frac{19630}{0,5 + (7003/6663)^2 \cdot 0,5} = 18654 \text{ W} \quad 6663 \text{ V}$$

El transformador se excitó a la tensión nominal y a la frecuencia nominal.
Las posiciones del micrófono fueron las que se indican en la siguiente figura.
Las mediciones se efectuaron aproximadamente a 1/3 y 2/3 de la altura del // transformador.



POSICION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIOS
AMBIENTE ANTES (dB)	62	61	64	64,5	60	61	62	60,5	61	62,5	67,5	62	
TRANSFORMADOR + AMBIENTE (dB)	75	75	78	74,5	78	77,5	75,5	76	77	77,5	74,5	78	
(dB)	81	81	81,5	81	81,5	81,5	81	82	81	80,5	80	81	
AMBIENTE DESPUES (dB)													

MEDICION DE RESISTENCIAS

Puente: MORNA

Arrollamiento: AT 60KV

Posición conmutador: 11B 04.

$$\left. \begin{aligned} R(O-U) &= 0,236 \\ R(O-V) &= 0,238 \\ R(O-W) &= 0,237 \end{aligned} \right\} 0,237 \Omega \quad \text{Temp.: } 21^\circ\text{C}$$

Pérdidas por Joule (25MVA): $3 \cdot 0,237 \cdot (240,562)^2 = 41146 \text{ W}$

Pérdidas por Joule ():

Arrollamiento:

Posición conmutador: 21 (-10%).

$$\left. \begin{aligned} R(O-U) &= 0,265 \\ R(O-V) &= 0,266 \\ R(O-W) &= 0,265 \end{aligned} \right\} 0,2653 \Omega \quad \text{Temp.: } 21^\circ\text{C}$$

Pérdidas por Joule (25): $3 \cdot 0,2653 \cdot (267,291)^2 = 56863 \text{ W}$

Pérdidas por Joule (30): $3 \cdot 0,2653 \cdot (320,75)^2 = 61883 \text{ W}$

Arrollamiento: BT 63KV.

$$\left. \begin{aligned} R(U-V) &= 0,004050 \\ R(V-W) &= 0,004070 \\ R(U-W) &= 0,004002 \end{aligned} \right\} 0,0040406 \quad \text{Temp.: } 21^\circ\text{C}$$

Pérdidas por Joule: $15 \cdot 0,0040406 \cdot (2291,072)^2 = 31814 \text{ W}$ (25MVA)

$15 \cdot 0,0040406 \cdot (2749,29)^2 = 45812 \text{ W}$ (30MVA)

PERDIDAS BINARIAS

Pos 0M.: AT + BT = $41146 + 31814 = 72960 \text{ W}$

Pos 21(-10%): AT + BT = $56863 + 31814 = 88677 \text{ W}$ (25MVA)

Pos 21(-10%): AT + BT = $61883 + 45812 = 107695 \text{ W}$ (30MVA)

Referidas a $^\circ\text{C}$

Resulta:

POTENCIA ZSMVA
ENSAYO EN CORTOCIRCUITO

POS. TAP 118.0 (14)

IRAM 2106

Método: 3 WAT COS φ 0,1

Relación: AT 10KV / BT 63KV

Temp.: 21°C

I nom.: 240,562 A

Cortocircuito: Arrollamiento: BT 63KV

$$U = 73.3 / 73.5 / 73 \quad K = 433$$

$$U_{cc} = 3172.45$$

$$I = 106.5 / 107.7 / 107.4 \quad K = 1.5$$

$$I_{cc} = 159.3$$

$$W_1 = 15.6 \quad W_2 = 18.3 \quad W_3 = 15.7$$

$$K = 750$$

Consumo instrumentos:

Consumo cables de alimentación: $3.005 \cdot (159.3)^2 = 380 \text{ W} \leftarrow ?$
0,005

Pérdidas en el cobre para corriente reducida: $380 - 380 = 36670$

$$W_{cc} = 36670 \text{ W}$$

Pérdidas en el cobre y tensión de cortocircuito para corriente nominal

$$W_{cc} = 36670 \left(\frac{240,562}{159,300} \right)^2 = 83625 \quad U_{cc} = 3172,45 \left(\frac{240,562}{159,3} \right) = 4791$$

Pérdidas en el cobre a 75°C:

$$W_{cc} = 72960 \left(\frac{310}{235 + 21} \right) + 10665 \cdot 1,2 \quad \left(\frac{235 + 21}{310} \right) = 98919$$

Referida a 75°C

$$W_{cc} = 98919$$

$$U_{cc} \% 7,985$$

$$U_r \% 0,334$$

$$U_r \% 0,395$$

$$U_x \% 7,978$$

$$U_{00} \% 7,987$$

$$U_{cc} \% \text{ referida a } 68^\circ \text{C} = 9,584\%$$

$$KV: 15000/150 = 100 \quad 100 \cdot \sqrt{3} \cdot 30/120 = 433 \text{ V/d}$$

$$KI: 150/5 = 30 \quad 30 \cdot 6/120 = 1,5 \text{ A/d}$$

$$KW: 100 \cdot 30 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 75/150 = 750 \text{ W/d}$$

POTENCIA 30 MVA

ENSAYO EN CORTOCIRCUITO

P_{00} T & P 21 (-10%)

IRAM 2106

Método:

Relación: AT (64 KV) / ET 6,3 KV

Temp.: 18°C

I nom.: 320,75

Cortocircuito: Arrollamiento:

$U = 1003/1018/100.3$

$K = 43,3$

$U_{cc} = 4364,6$

$I = 69.4/68.6/70$

$K = 4$

$I_{cc} = 277,3$

$W_1 = 15$

$W_2 = 18$

$W_3 = 17.8$

$K = 2.000$

Consumo instrumentos: _____

Consumo cables de alimentación: _____

Pérdidas en el cobre para corriente reducida:

$W_{cc} = 101.600$

Pérdidas en el cobre y tensión de cortocircuito para corriente nominal:

$W_{cc} = 101.600 \left(\frac{320,75}{277,33} \right)^2 = 135.904 \text{ W}$ $U_{cc} = 4364,6 \left(\frac{320,75}{277,33} \right) = 5046$

Pérdidas en el cobre a 75°C:

$W_{cc} = 126,1986 \left(\frac{310}{235 + 18} \right) + 9.705 \times 1,2 \left(\frac{235 + 18}{310} \right) = 164,13$

Referida a 30 MVA 75°C.

$W_{cc} = 164.136 \text{ W.}$

$U_{cc} \% 9,348$

$U_r \% 0,453$

$U_x \% 0,547$

$U_x \% 9,337$

$U_{cc} \% 9,353$

Por referida a 60 #2 T, 223 30 MVA

$KV = 15000/150 = 100 \rightarrow 100 \cdot \sqrt{3} \cdot 30/120 = 43,3 \text{ KV.}$

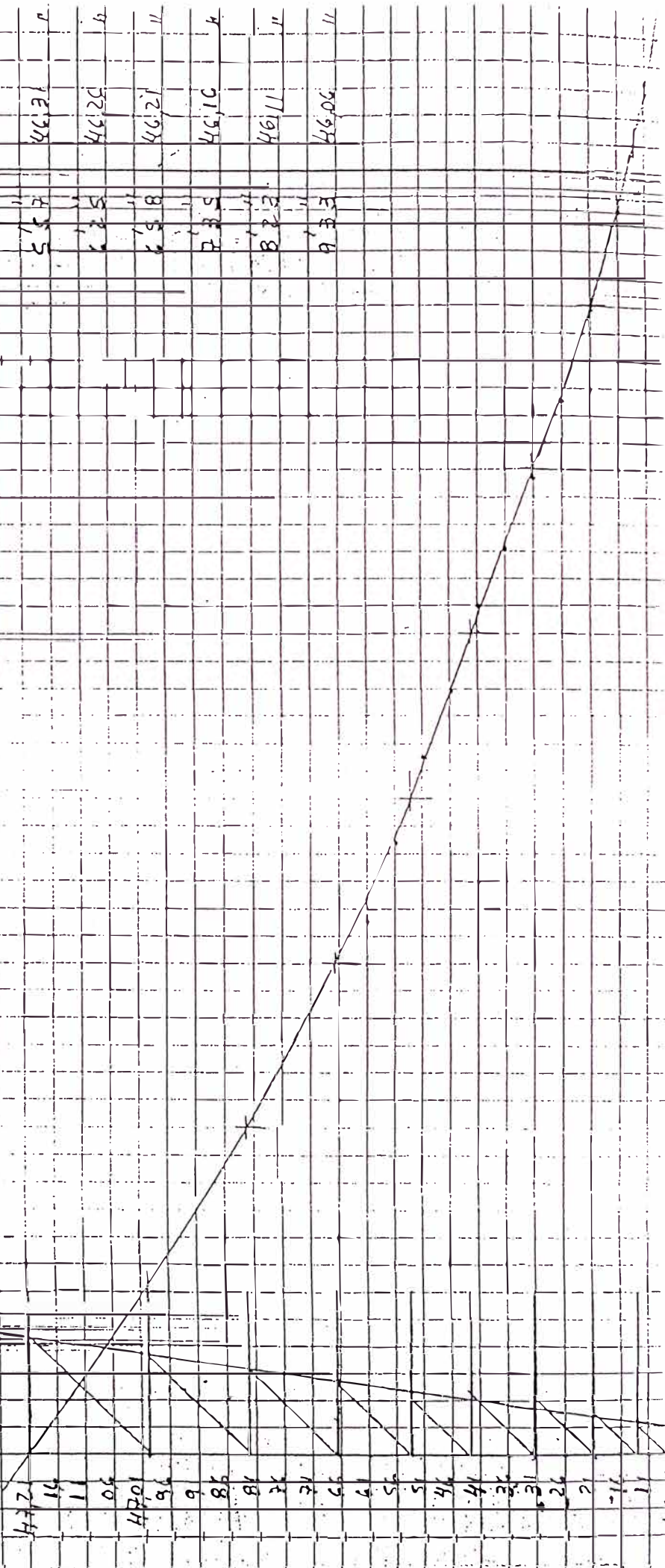
$KI = 400/5 = 80 \rightarrow 80 \cdot 6/120 = 4$

$KW = 100 \cdot 80 \cdot 5 \cdot 75 \cdot 0,1/150 = 2000 \text{ W/dkV.}$

A RCOLLA MIENTO B.T.

REF: 47,21.10-4 52

Nº E A 3972 Nª A. 34144

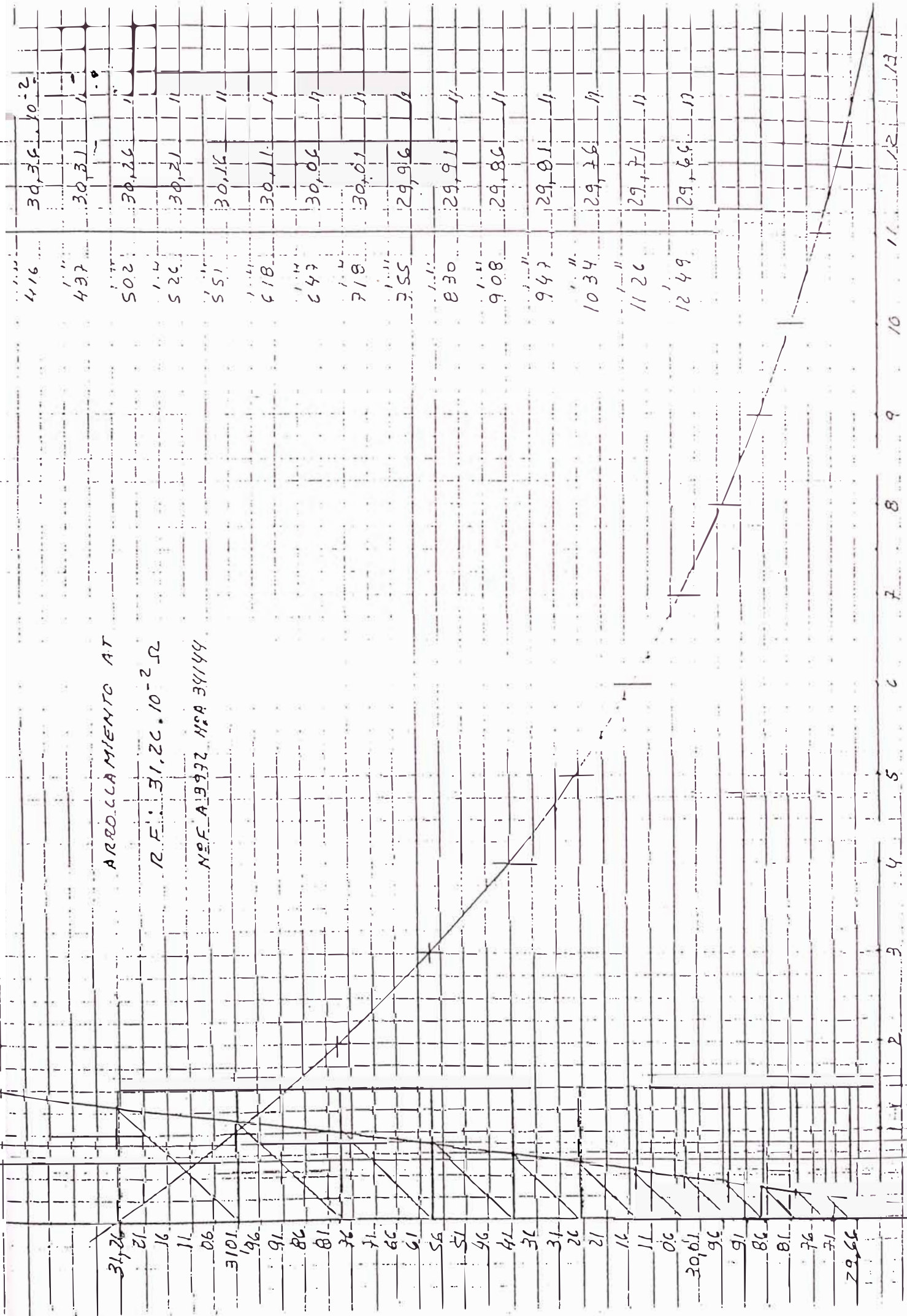


2	46,10	46,10
3	46,10	46,10
4	46,10	46,10
5	46,10	46,10
6	46,10	46,10
7	46,10	46,10
8	46,10	46,10
9	46,10	46,10
10	46,10	46,10
11	46,10	46,10
12	46,10	46,10
13	46,10	46,10
14	46,10	46,10
15	46,10	46,10
16	46,10	46,10
17	46,10	46,10
18	46,10	46,10
19	46,10	46,10
20	46,10	46,10
21	46,10	46,10

ARROCCAMENTO AT

R.F. 31.2C.10-2 Ω

Nº F. A. 9992 NGA 34144



ANEXO E
ACTA DE INSPECCION EN FABRICA

ACTA DE INSPECCION EN FABRICA

TEMA: Recepcion de un (1) transformador de potencia de 25/30 MVA, numero de fabricacion A-3972, numero de aparato N° 34144.

ORDEN DE COMPRA: N° P00172 (TECCOM) C N P S.A. N° 0000 16/93 (CEMENTOS NORTE PACASMAYO) O.C.I.1213

LUGAR: Cordoba, Argentina

FECHA: 20 a 26 octubre 1993

FABRICANTE: Tubos Trans Electric S.A.C.I.F. y A.

CLIENTE: TECCOM para CEMENTOS NORTE PACASMAYO (PERU)

En las instalaciones de Tubos Trans Electric, sita en calle Dr.Eliseo Canton 2342 de la Ciudad de Cordoba, se reunen los señores Ing. Jose Luis Arevalo, Ing. Jorge Pacon, Ing. Victor Gutierrez en representacion de Cementos Norte Pacasmayo, Ing. M. Marioli y M. J. Falcone en representacion de T.T.E., para de común acuerdo labrar la presente ACTA DE INSPECCION Y ENSAYOS realizados sobre el siguiente material:

1 (un) Transformador de potencia 25/30 MVA, relación 60/6,3 KV.+ - 10%, refrigeración ONAN/UNAF, número de serie A 3972 - 34144.

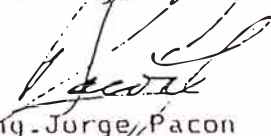
Sobre el item descripto se realizaron los ensayos que se detallan, conforme a las Normas IEC 76.


- Medición de la resistencia de los arrollamientos
- Medición de la resistencia de aislación
- Medición de la relación de transformación y verificación del grupo de conexiones.
- Dieléctrico del aceite aislante
- Ensayo de impulso atmosférico, con ondas cortadas.
- Ensayo de tensión aplicada.
- Ensayo de tensión inducida con medición de descargas parciales
- Medición de capacidad y tangente delta.
- Medición de las pérdidas y corriente de vacío
- Medición del nivel de ruido
- Medición de las pérdidas en carga y tensión de cortocircuito.
- Ensayo de calentamiento
- Ensayo de circuito auxiliares y verificación de accesorios

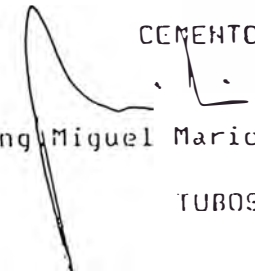
Todos con resultados satisfactorios según consta en protocolos.


Conforme las partes se firman original y tres copias de un solo tenor y a un solo efecto en el lugar y fecha arriba indicados


Ing. J. L. Arevalo Vega


Ing. Jorge Pacon


Ing. V. Gutierrez Rodriguez


Ing. Miguel Marioli


Sr. Miguel Falcone

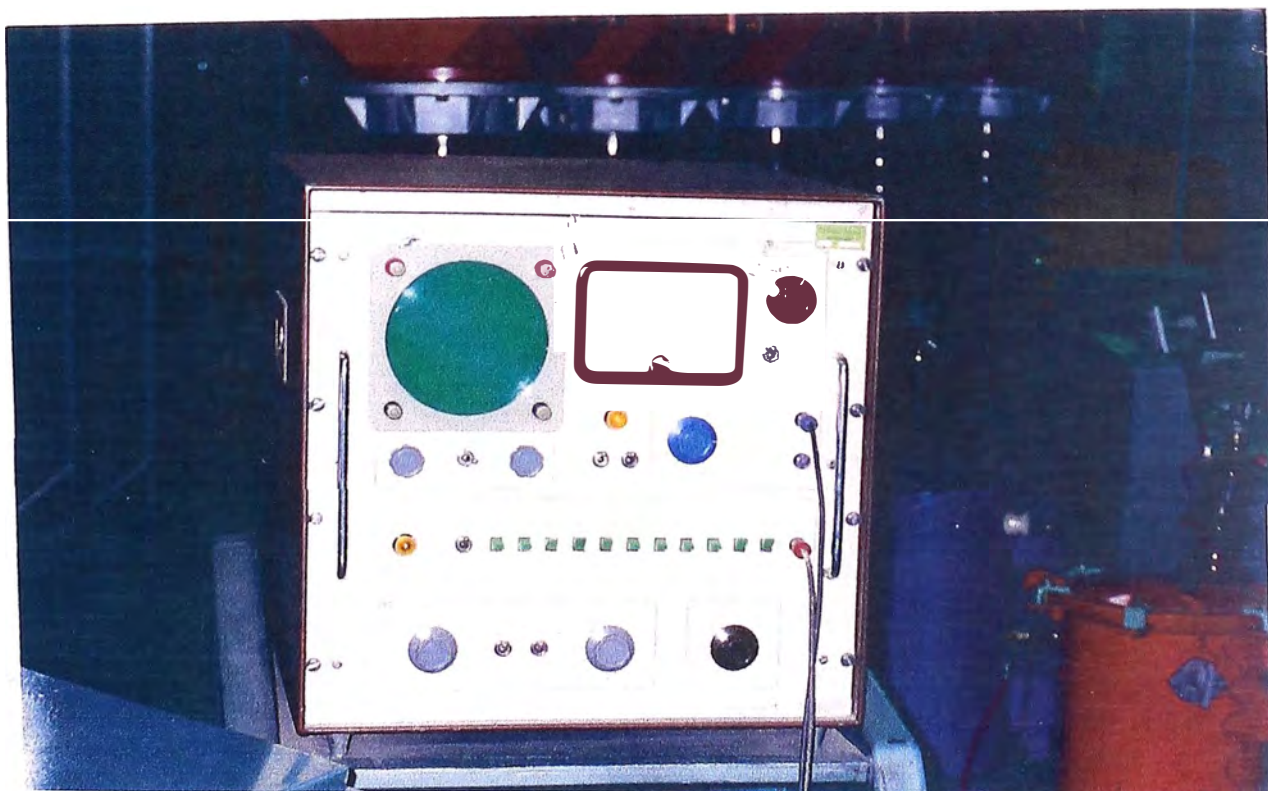
TUBOS TRANS ELECTRIC

ANEXO F
ARCHIVO FOTOGRAFICO

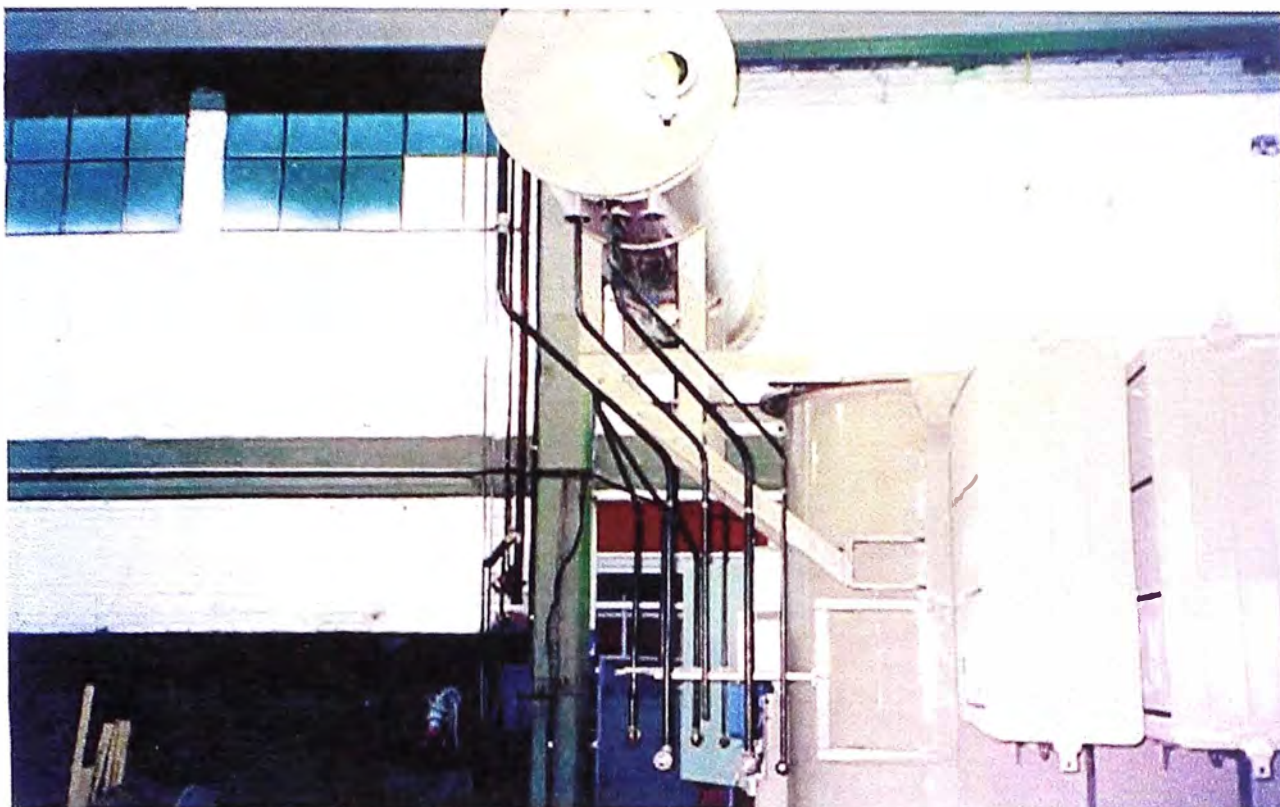
Montaje de Bobinas de Transformador.



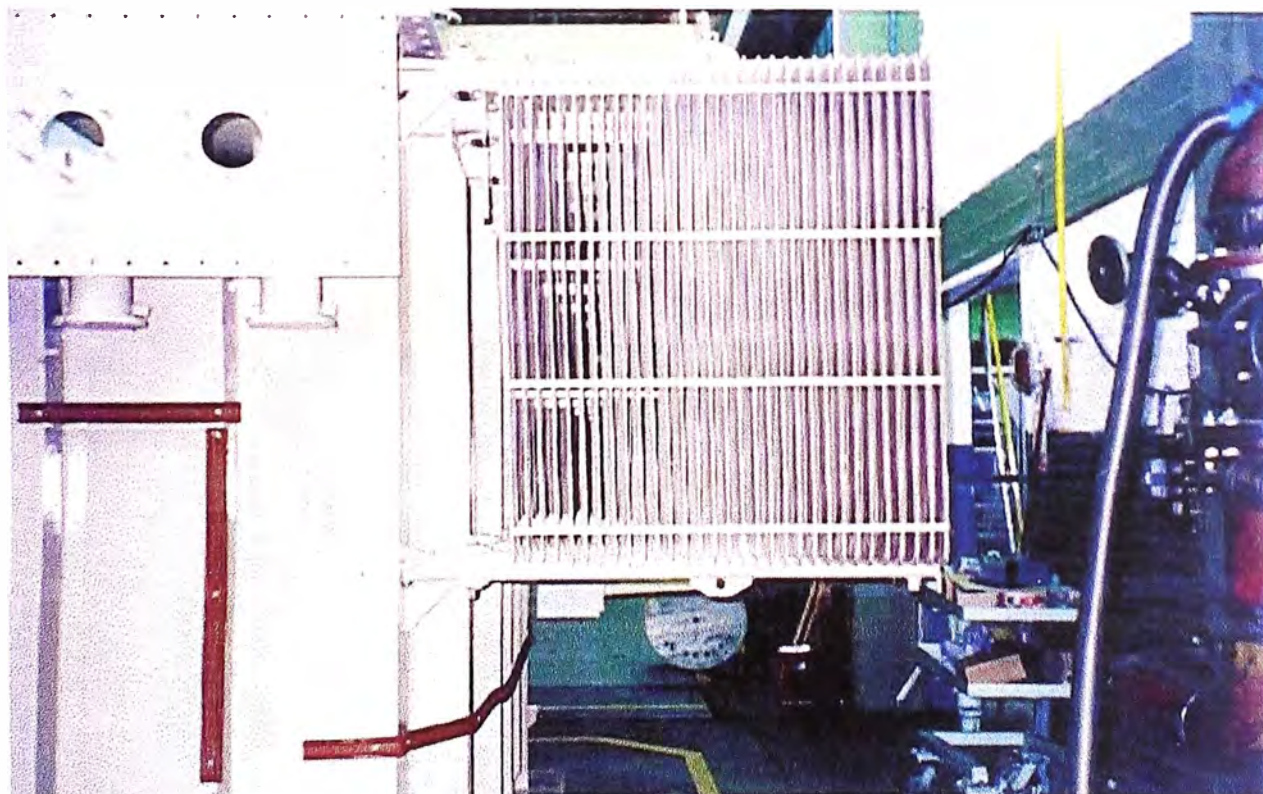
Osciloscopio Sala de Ensayos TTE



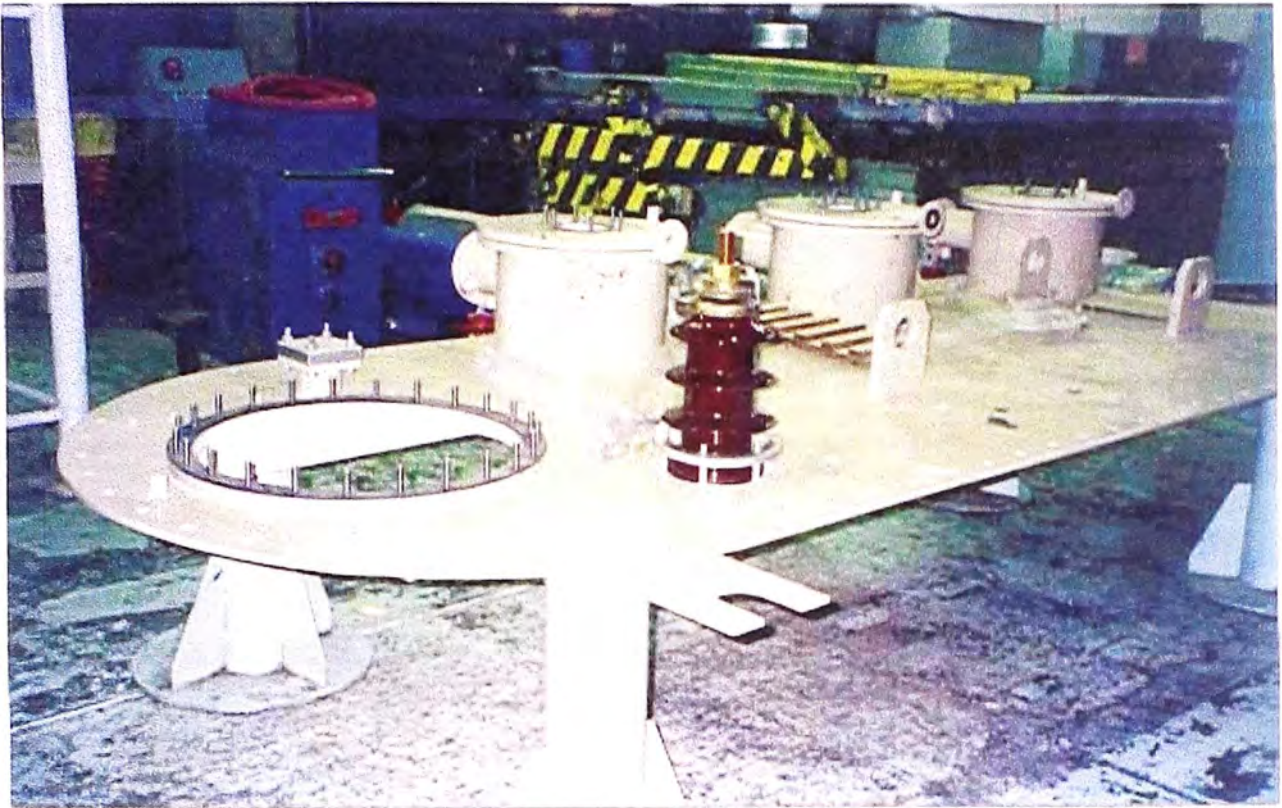
Tanque Nivel de Aceite



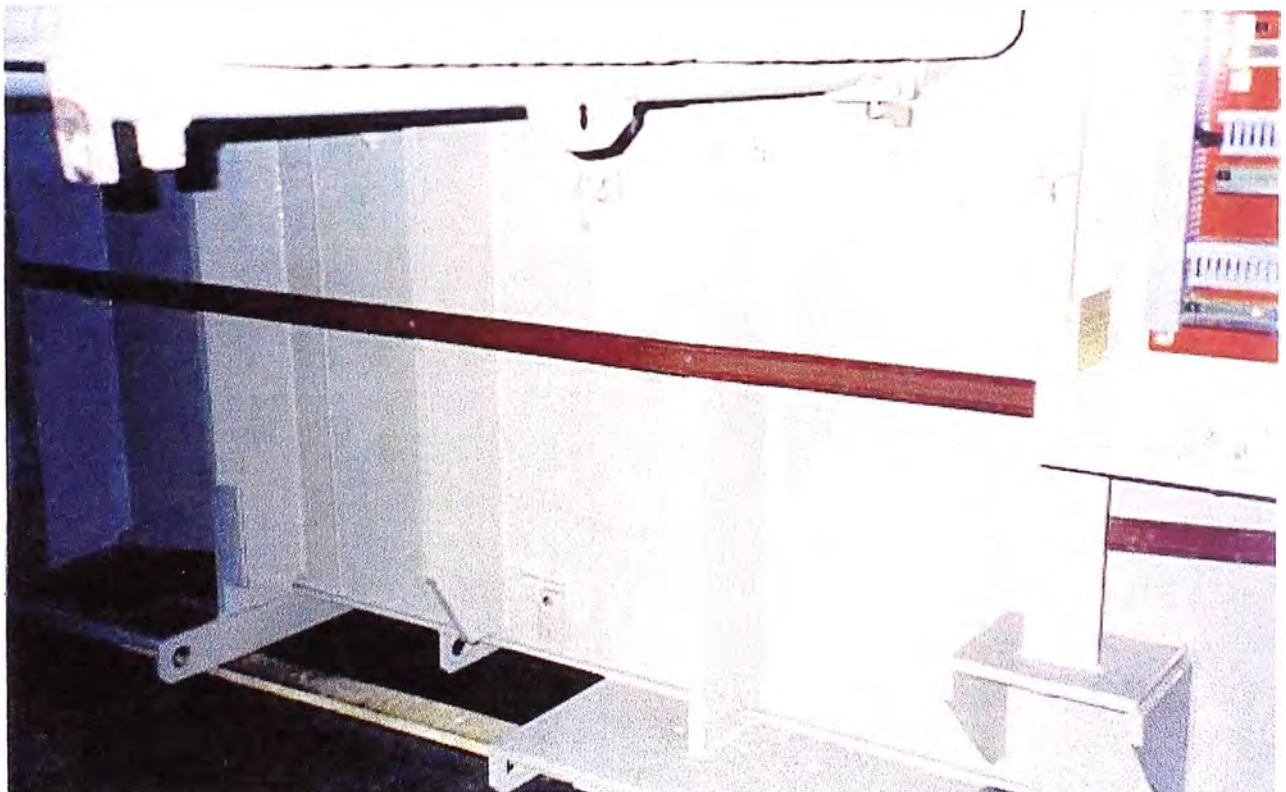
Radiadores y Cuba del Transformador.



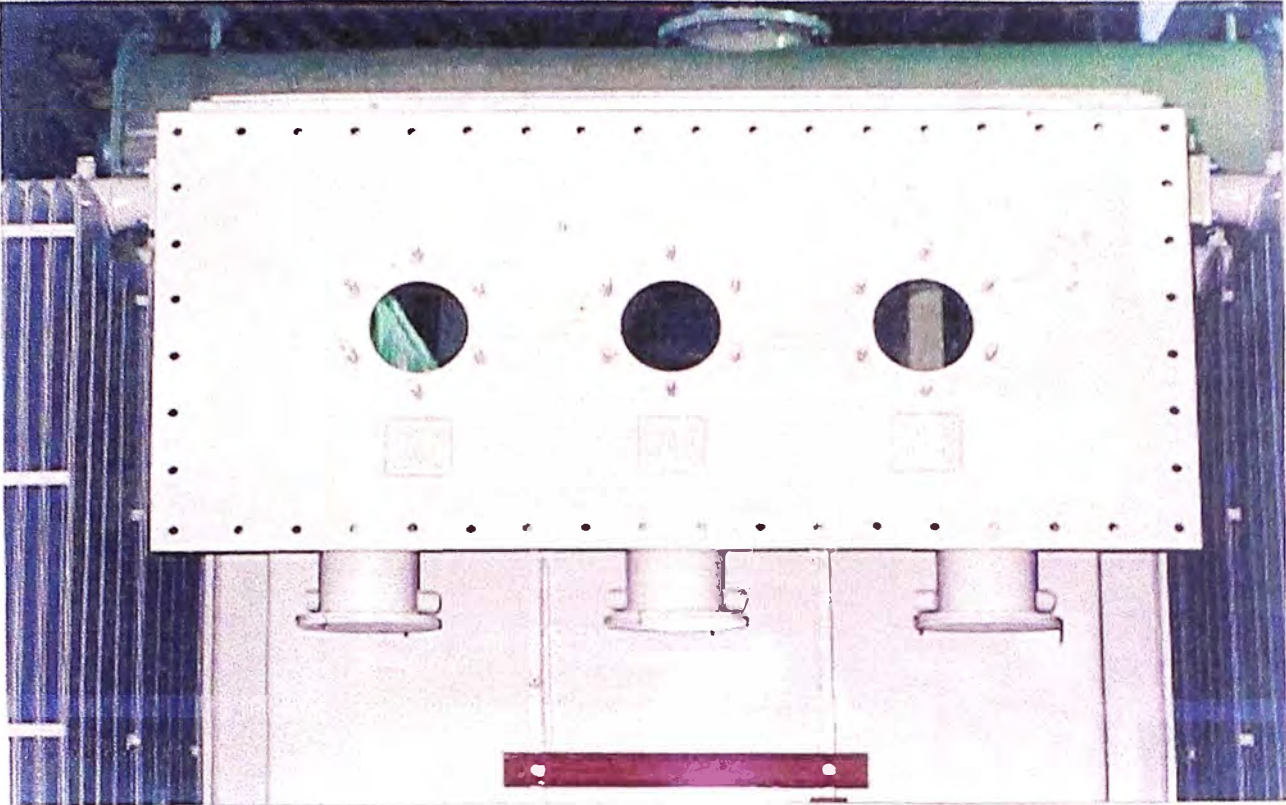
Tapa de Bornes AT



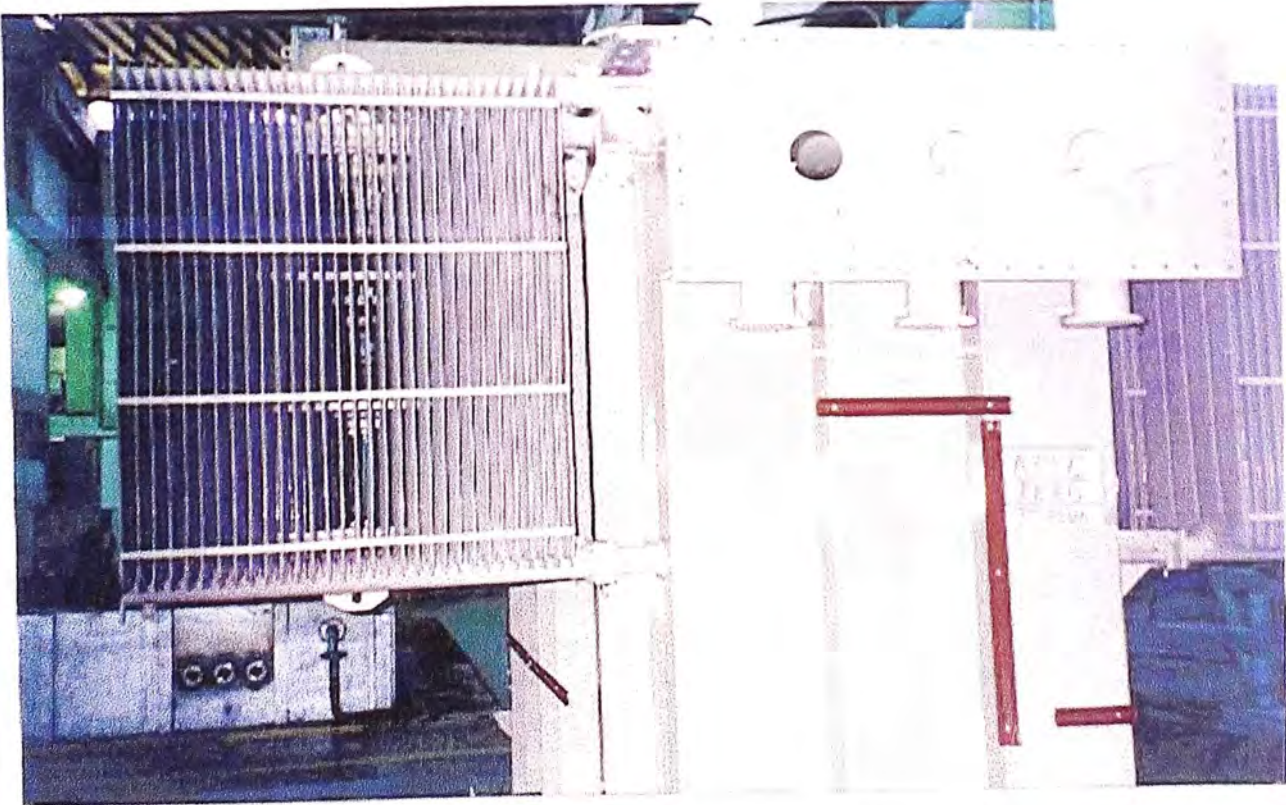
Parte de Cuba de Transformador.



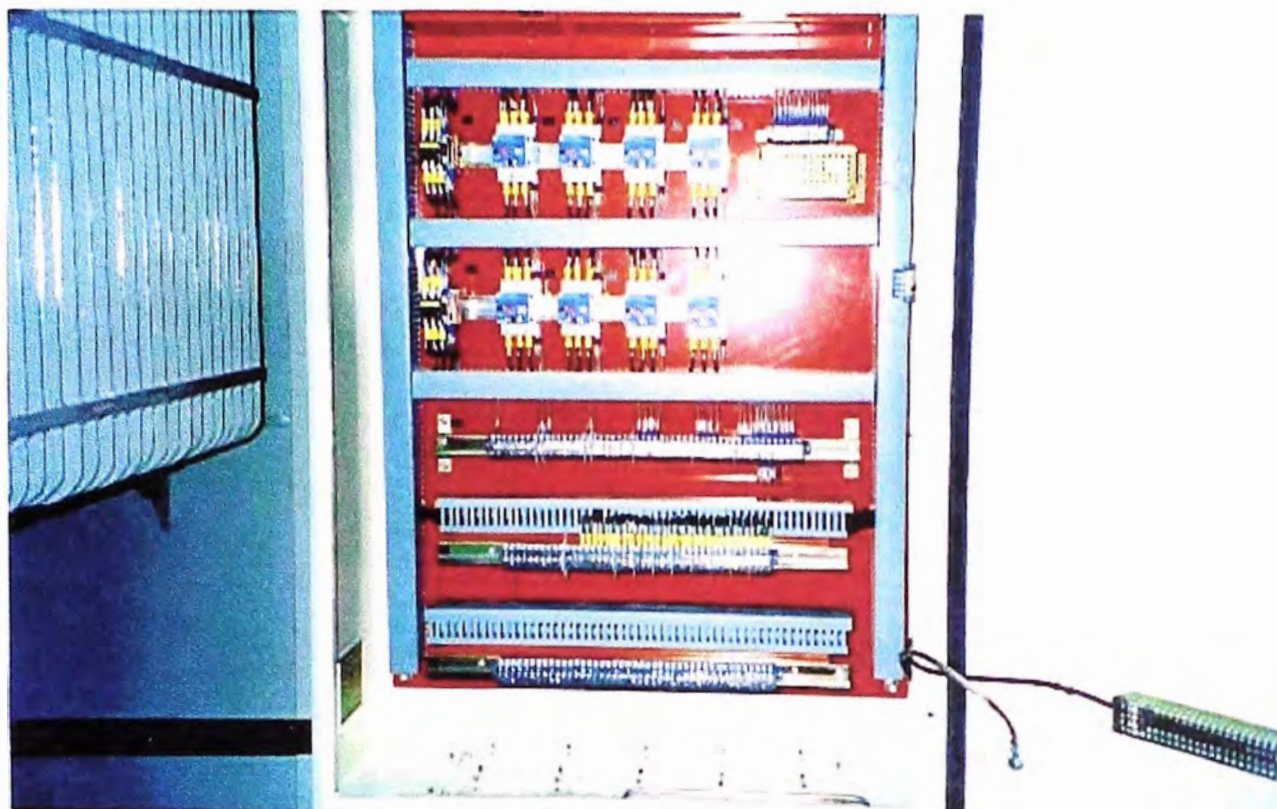
Tapa de Bornes BT.



Radiadores y Cuba de Transformador



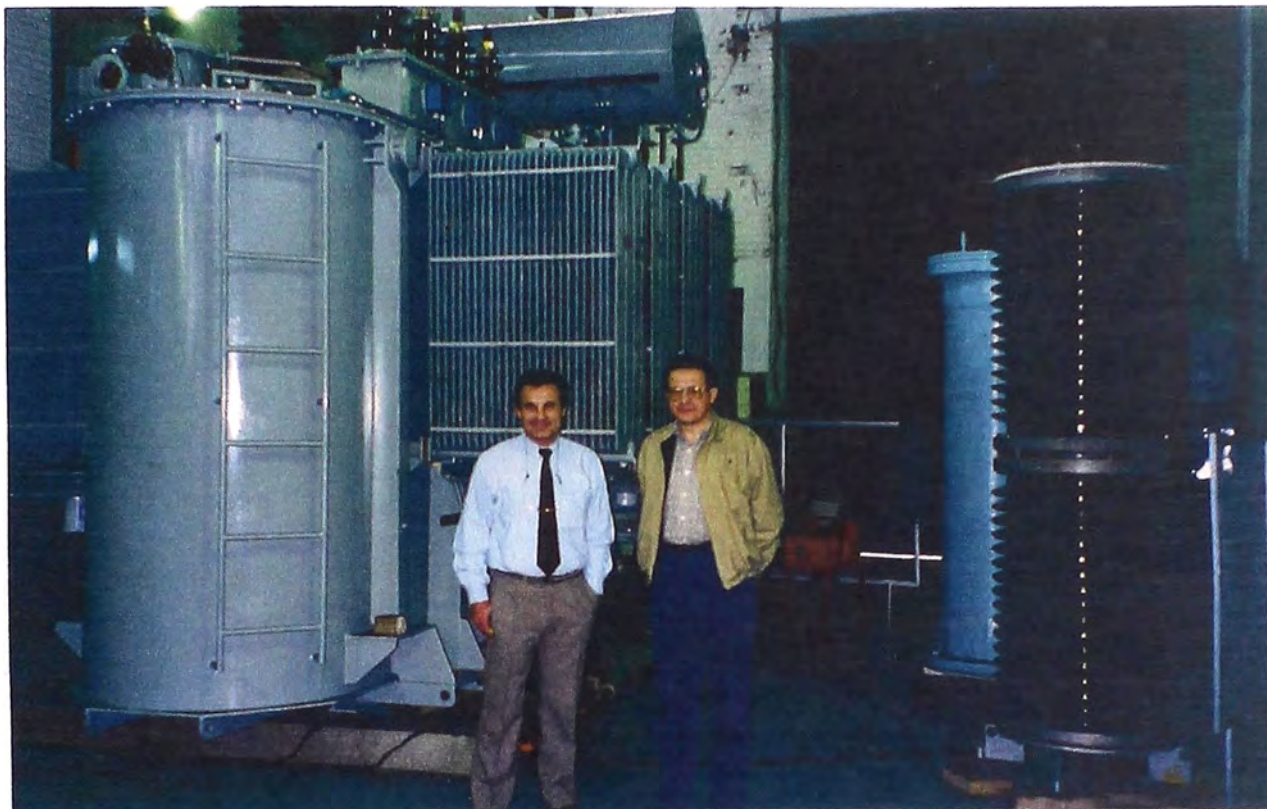
Panel de Mando y Fuerza de Transformador(Incompleto)



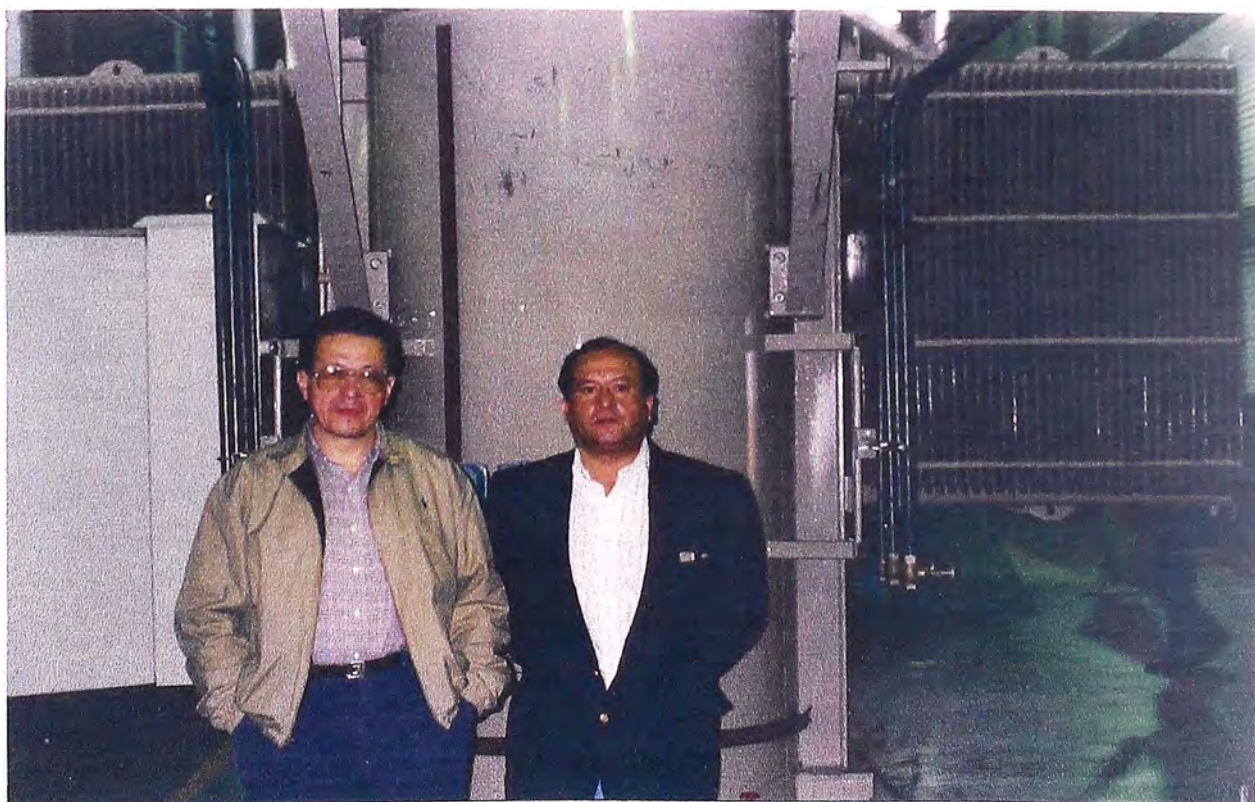
Fabricación de Bobinas de Transformador 25/30 MVA.



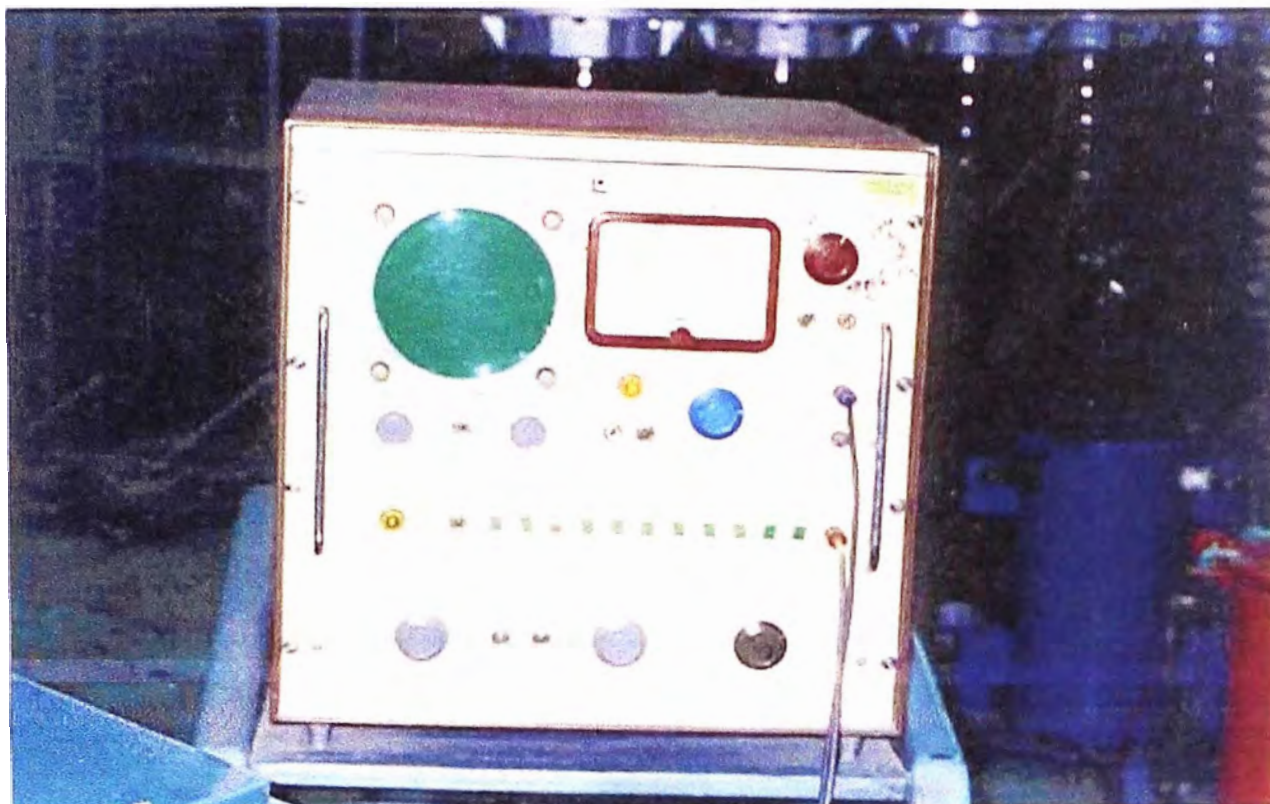
Ing. P. Carreño CNP con Ing. Peinovich TTE.



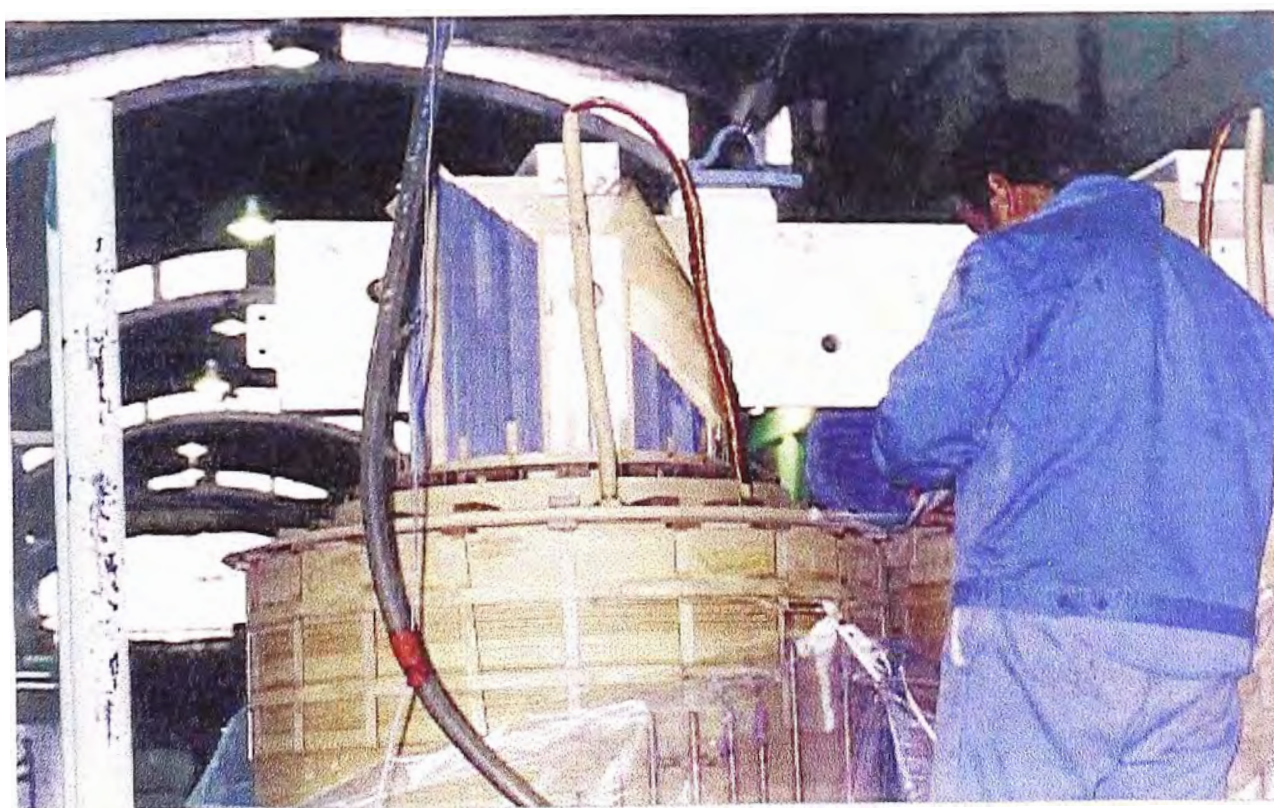
Ing. P. Carreño e Ing. J.L.Arévalo durante visita a TTE.



Osciloscopio de Sala de ensayos TUBOS TRANS ELECTRIC



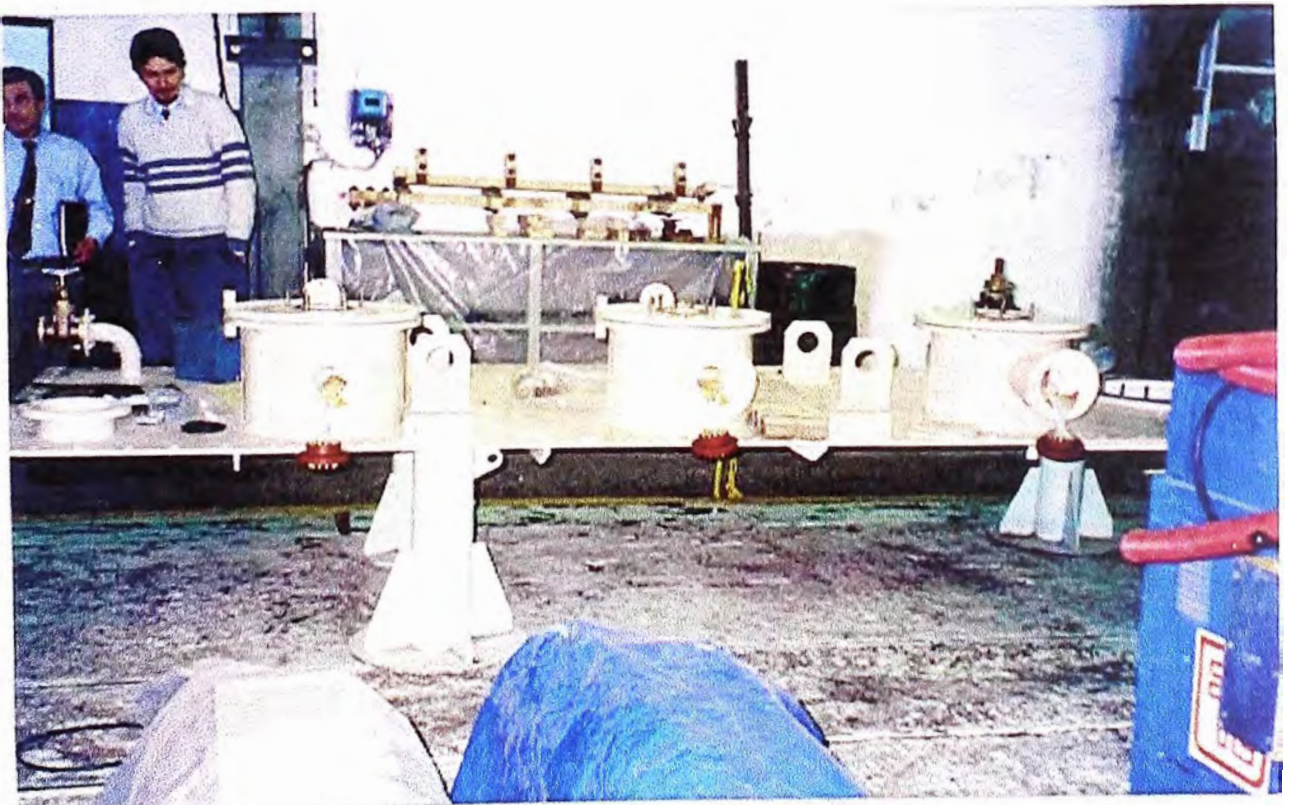
Fabricación de Bobinas



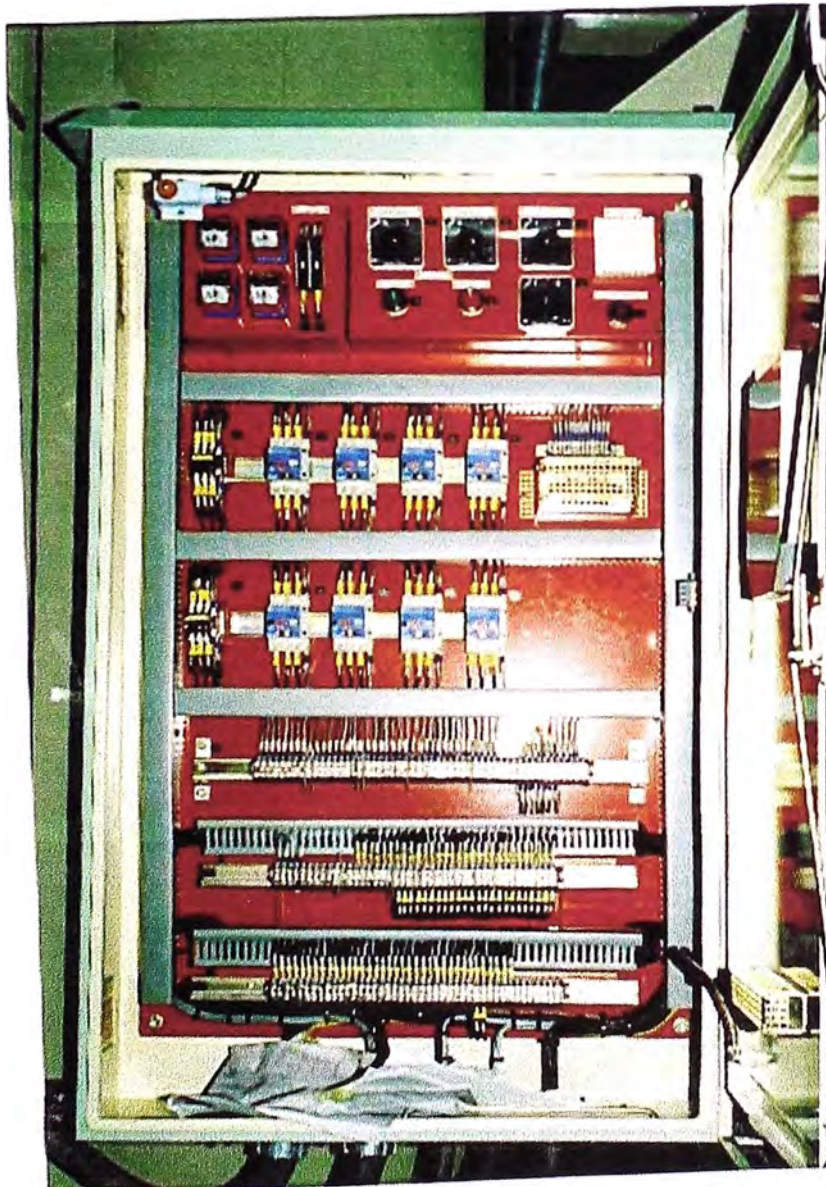
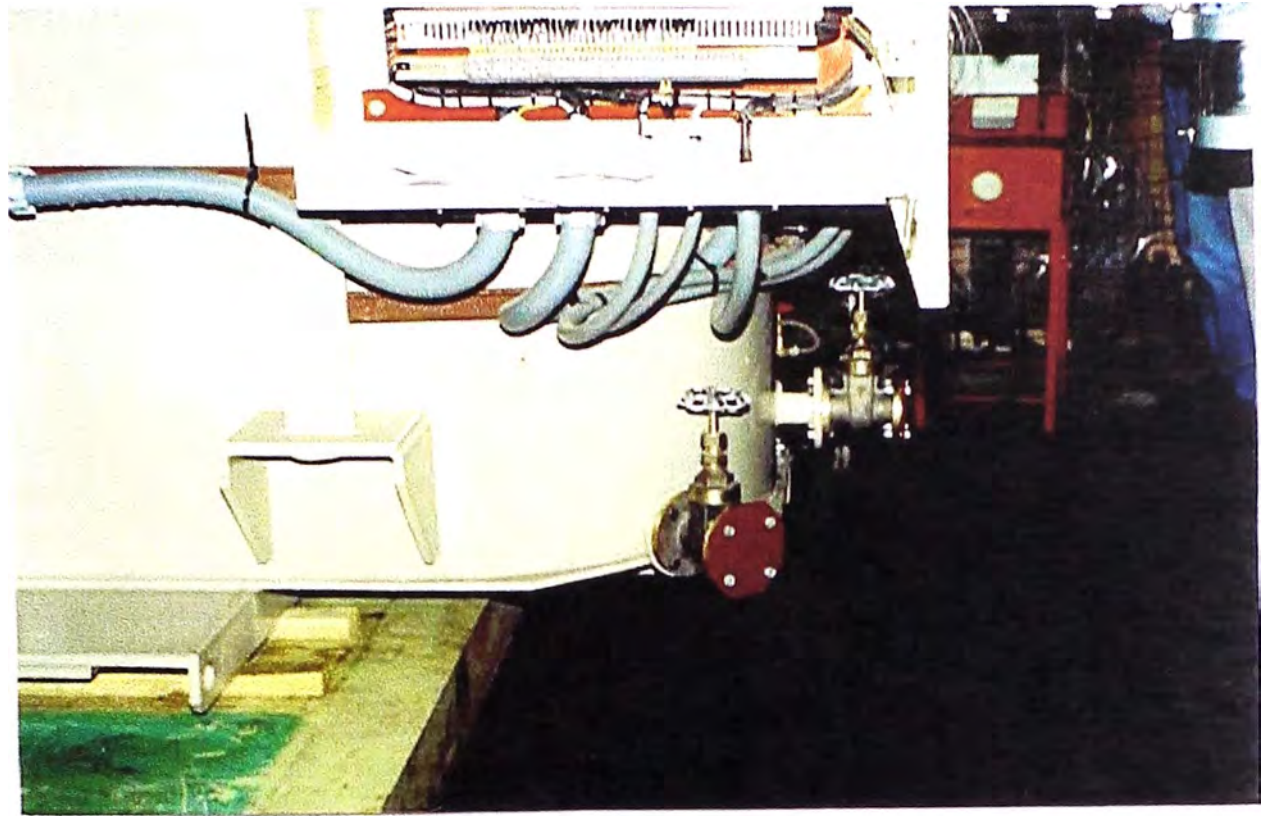
Tapa Superior del Transformador



Ings. Peinovich y Rimondi inspeccionando montaje Transformador.



Válvula de drenaje del aceite y borneras de Panel de mando.



Panel de Mando de Ventiladores del Transformador.

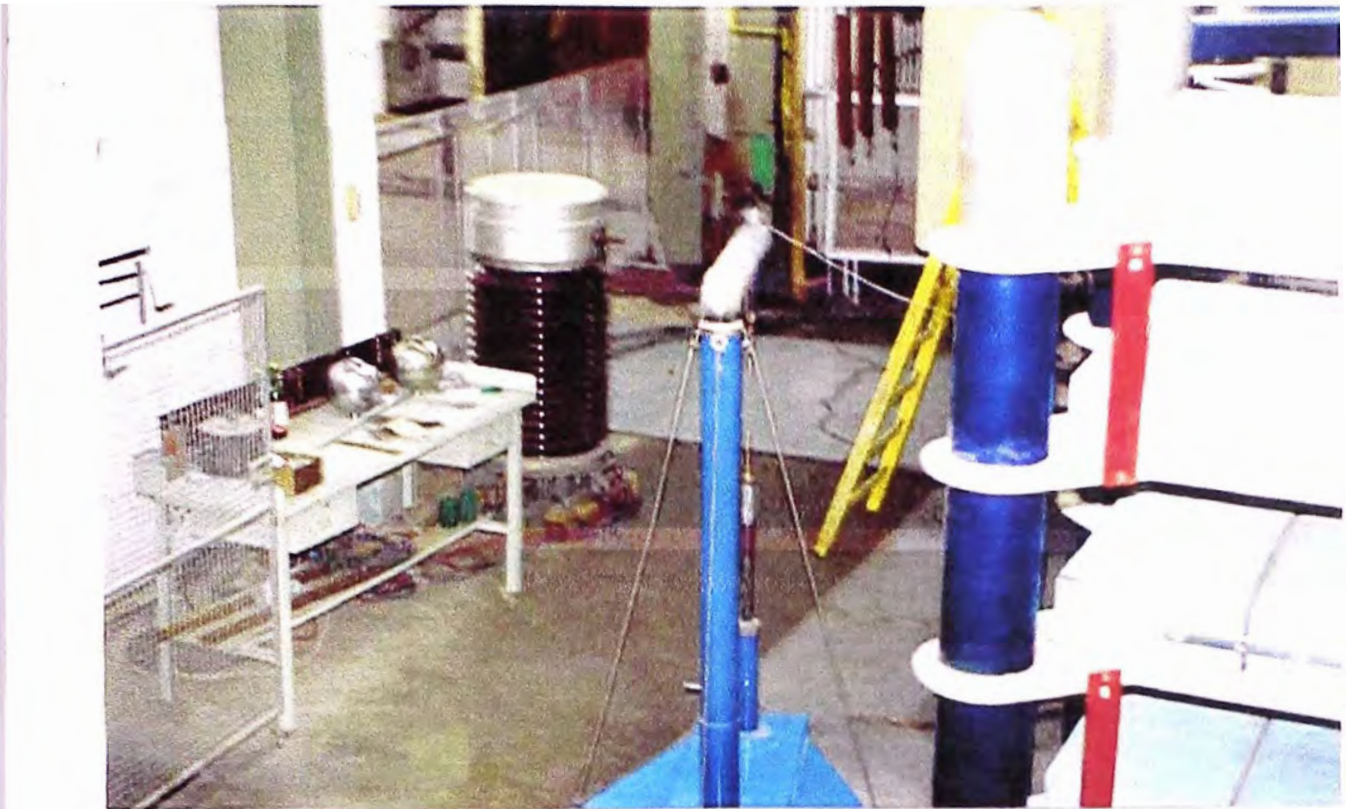


Tanque Indicador de Nivel de aceite del Transformador.

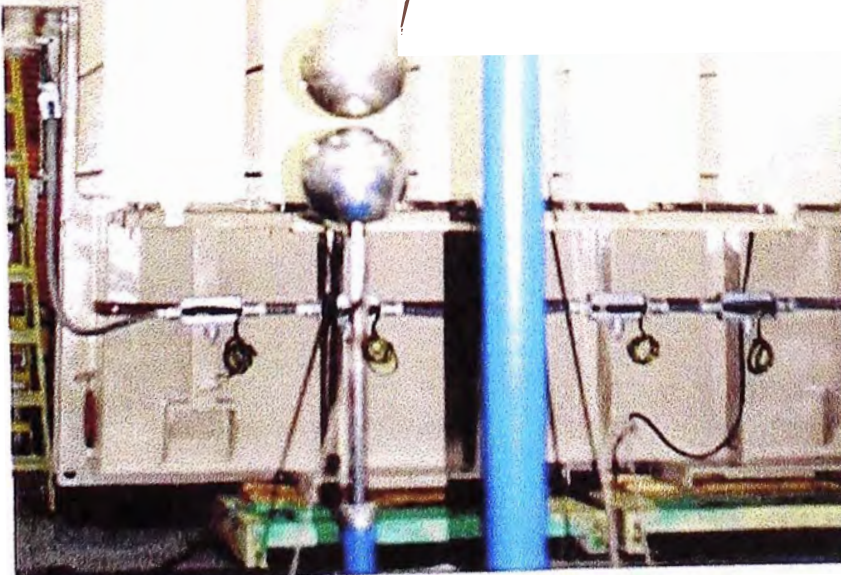
Electrodos para calibración de Tension de Ruptura.

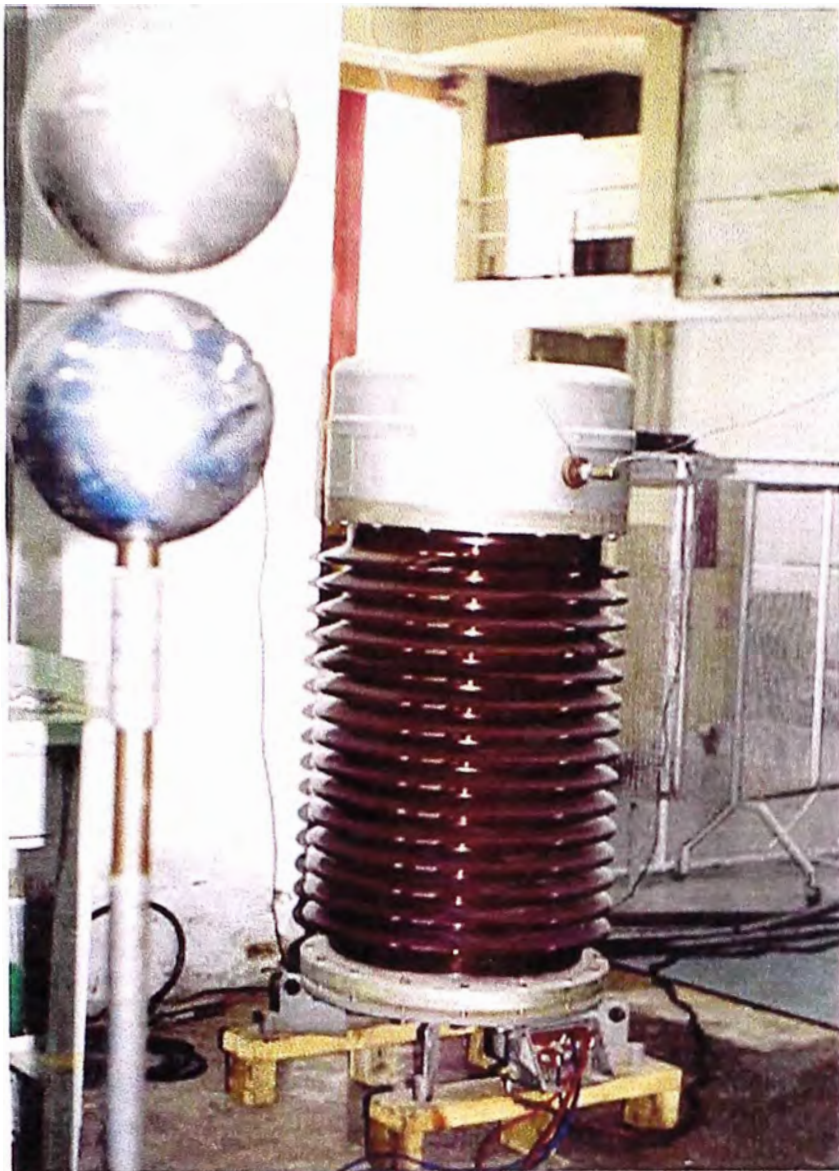


Vista Parcial de Sala de Ensayos



Transformador Mostrando
Bornes de AT en
Cortocircuito.



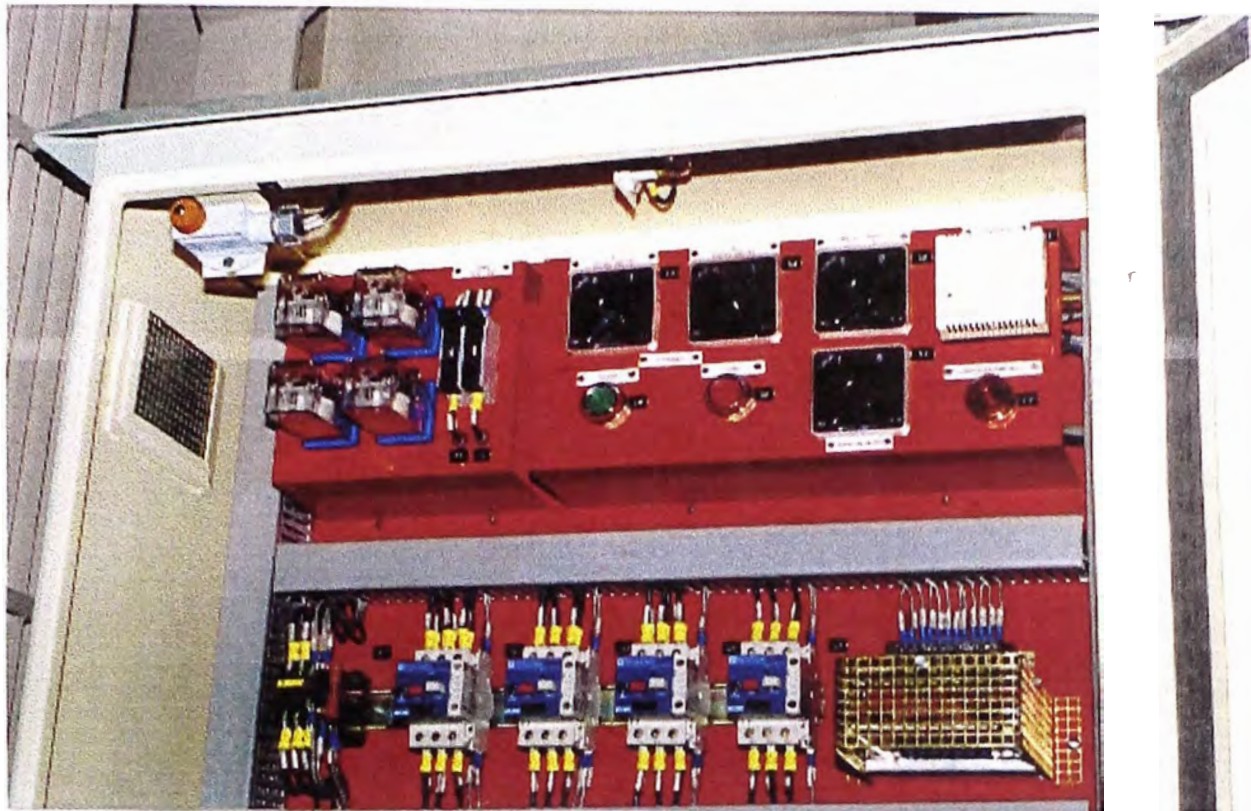


Transformador empleado en prueba de impulso.

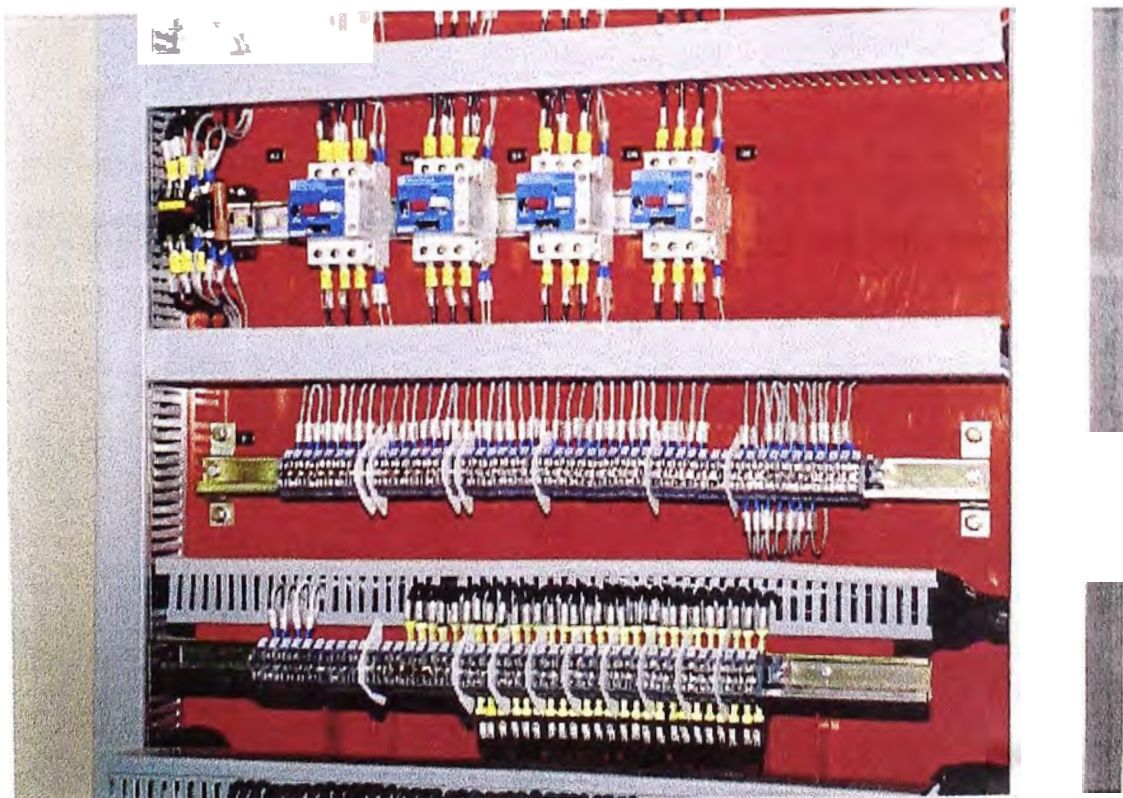
Parte del personal de TTE y CNP que asistió a la prueba del Transformador 25/30 MVA.



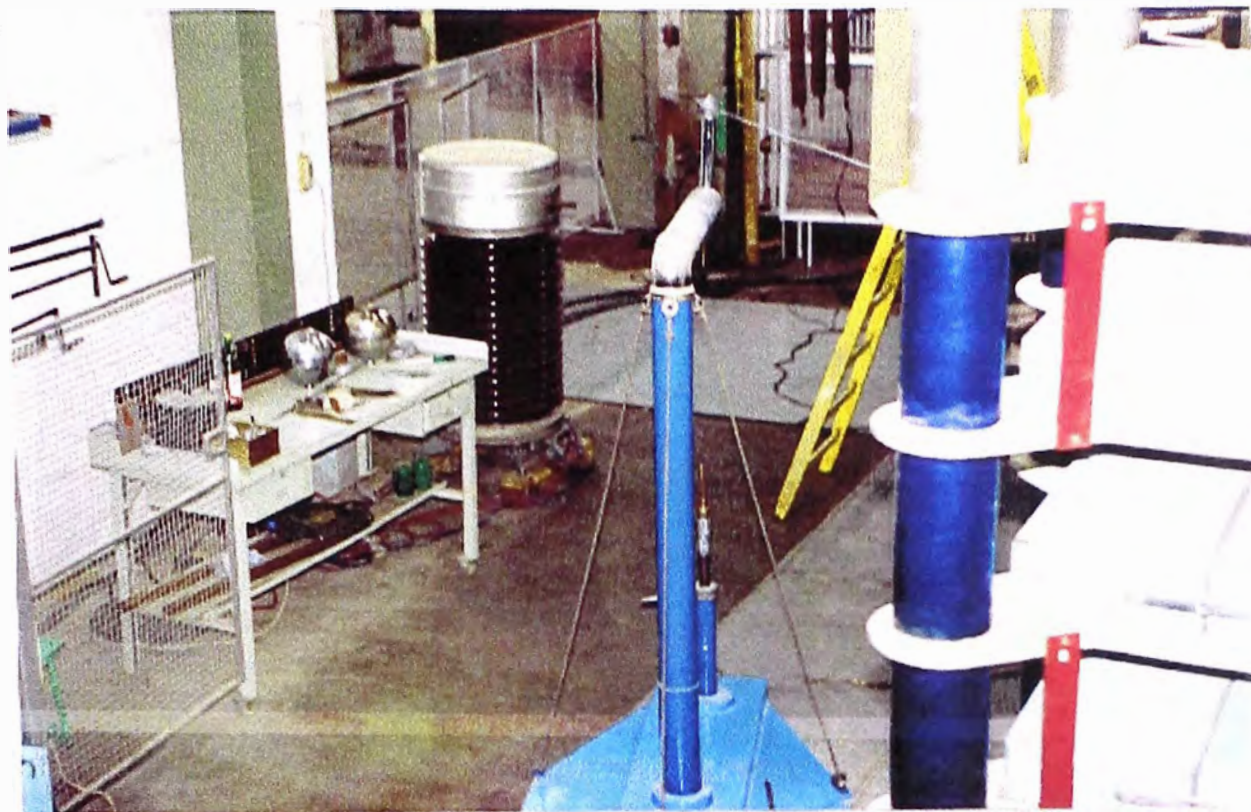
Vista parcial de Panel de mando (parte superior)



Vista parcial de Panel de mando (parte inferior)

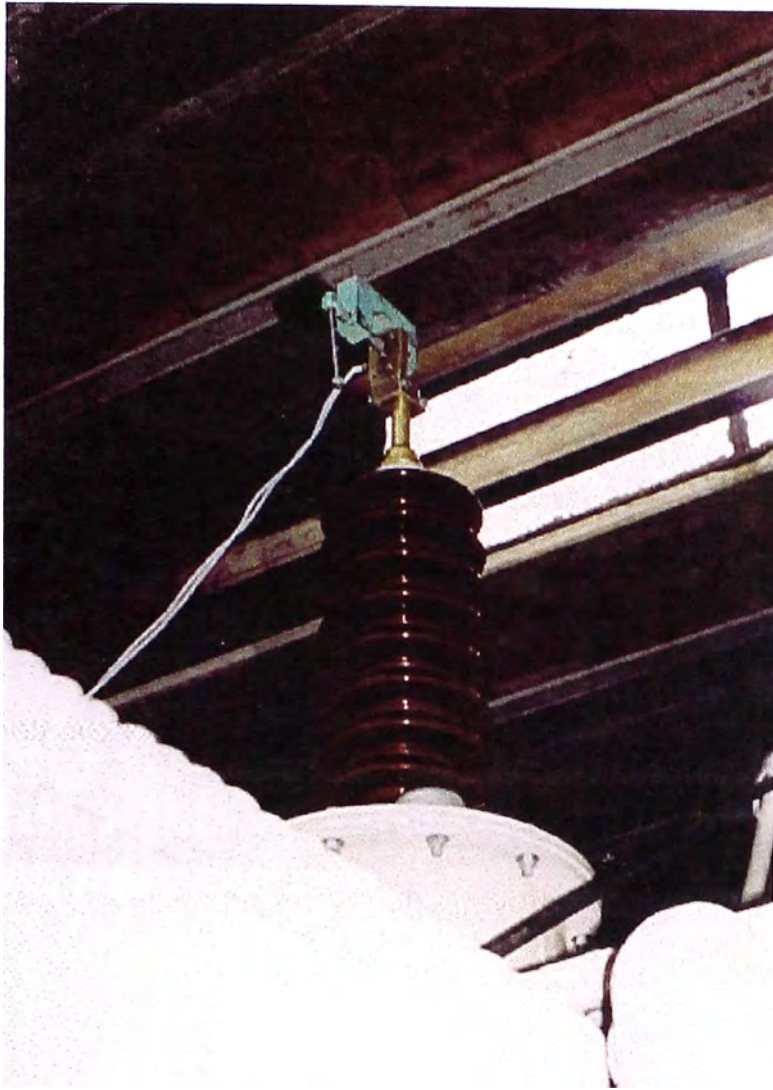


Sala de ensayos de Transformadores.



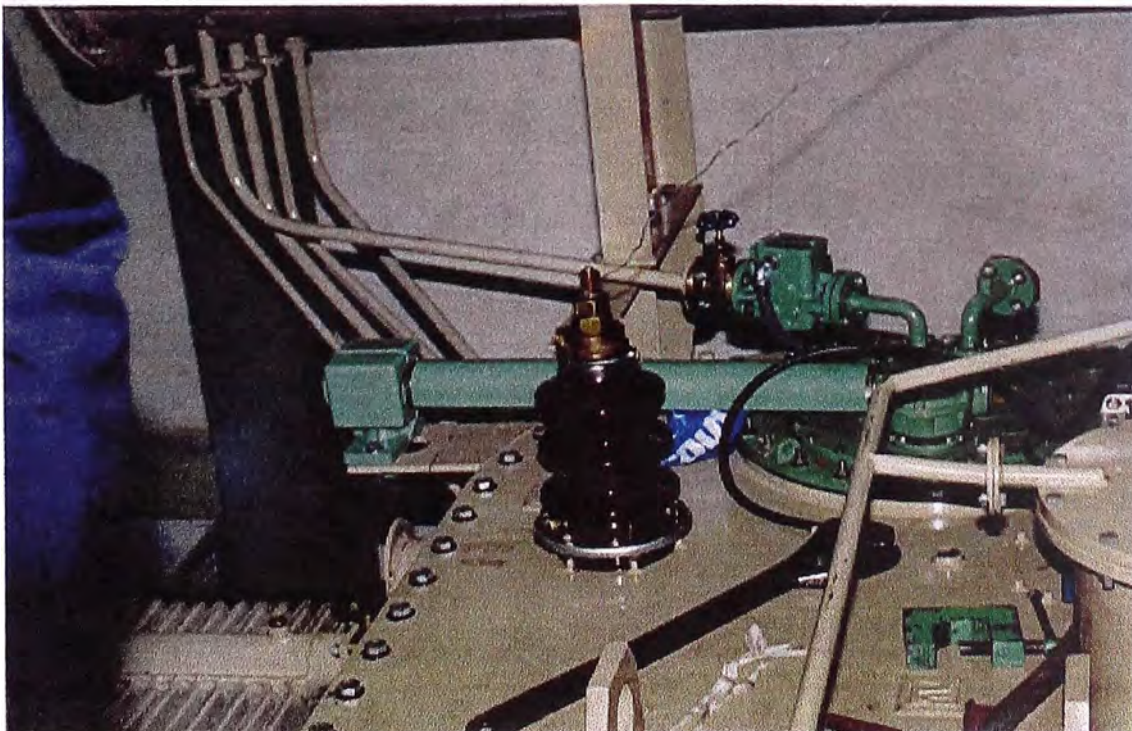
Cableado y cajas de pase de ventiladores (antes de colocar)



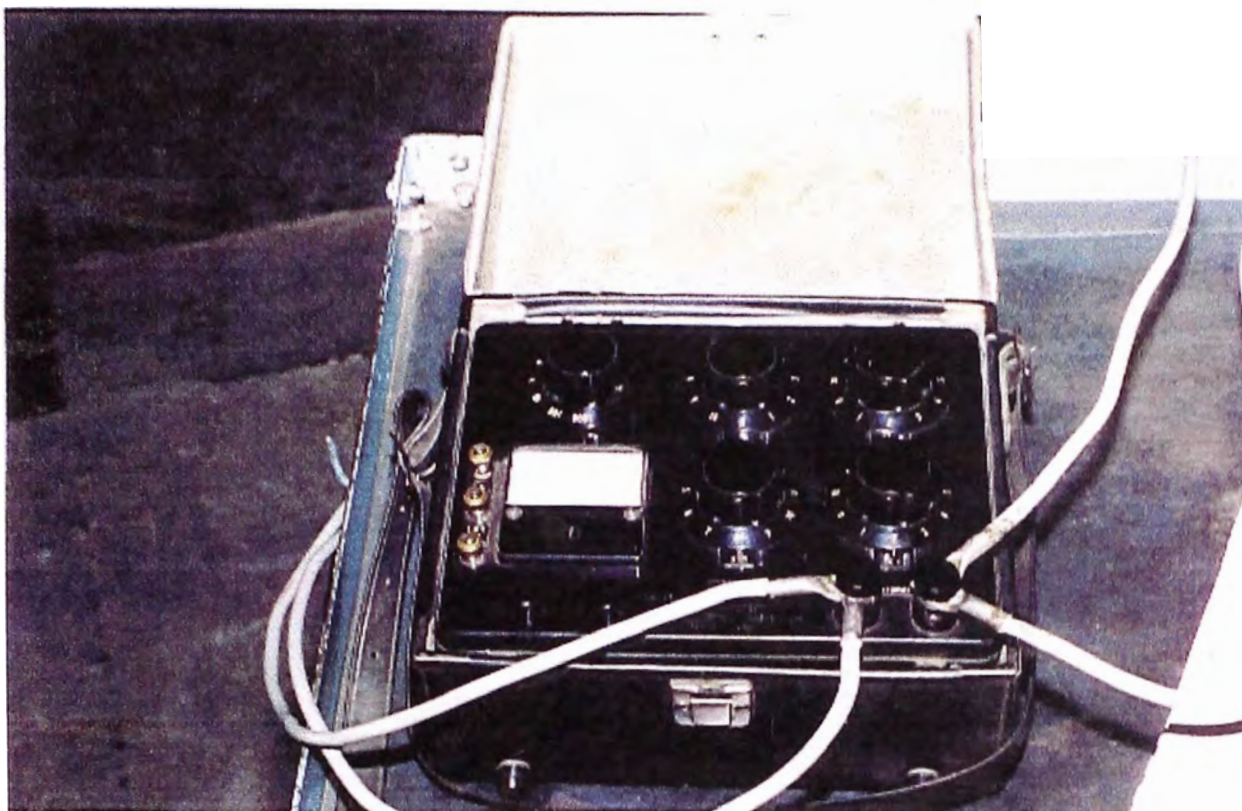


Borne de AT mostrando
aislador (el objeto de
color verde es una
mordaza)

Relé de flujo y borne neutro 1N.



Galvanómetro para ensayo de resistencia de arrollamientos.



Medidor de resistencia de arrollamiento.

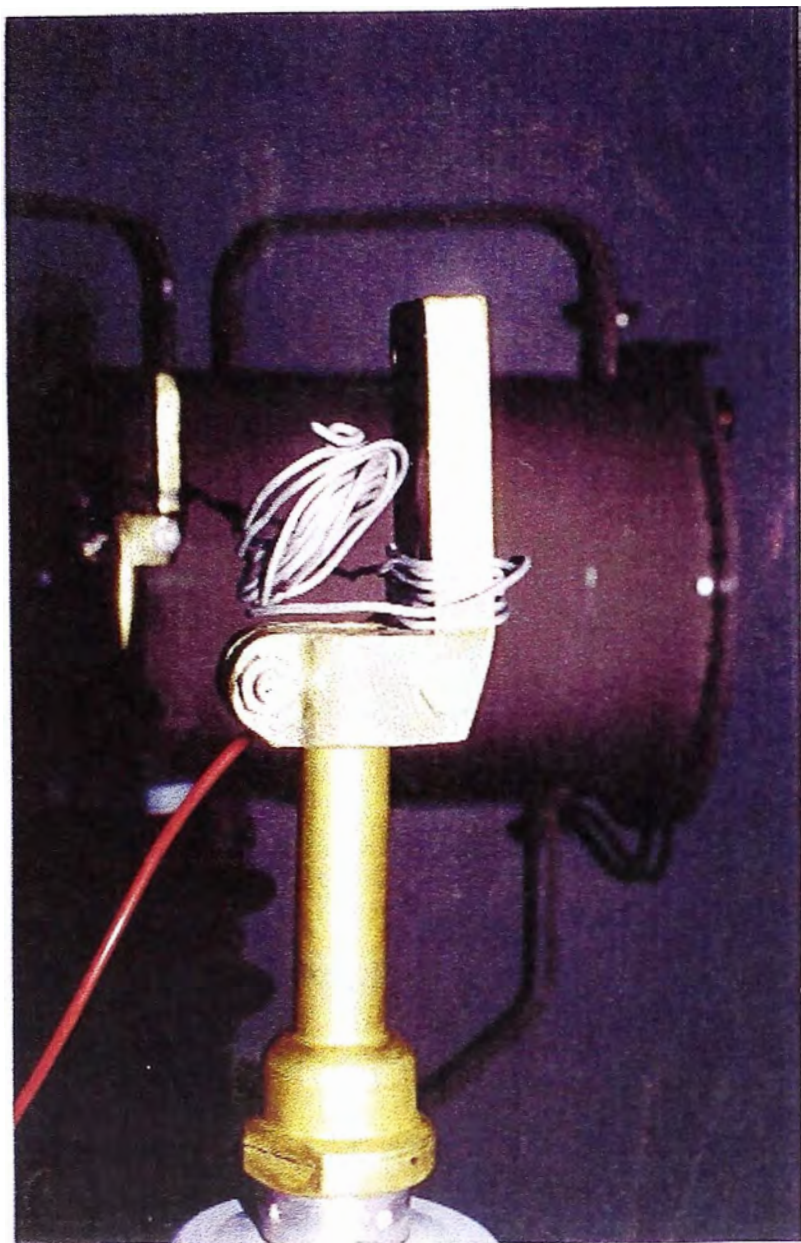




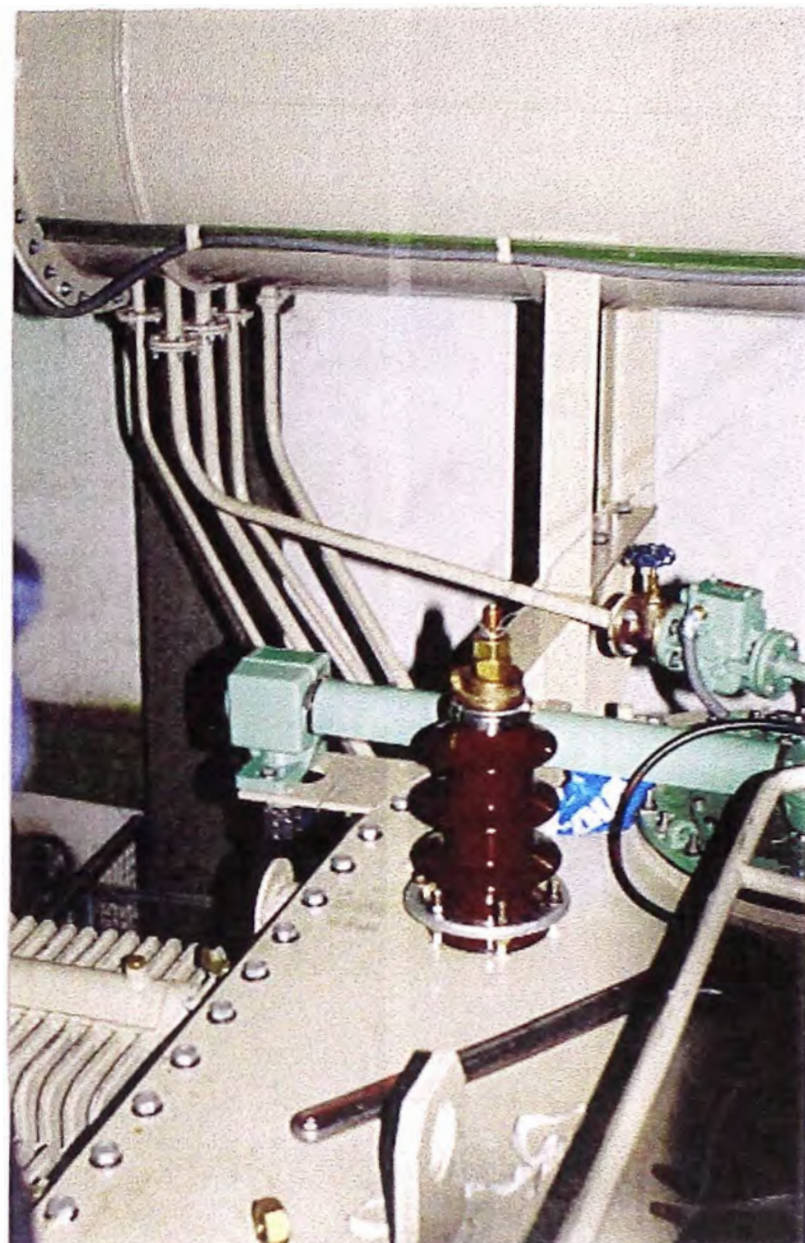
Borne AT

Personal de TTE y CNP que estuvieron en los ensayos.





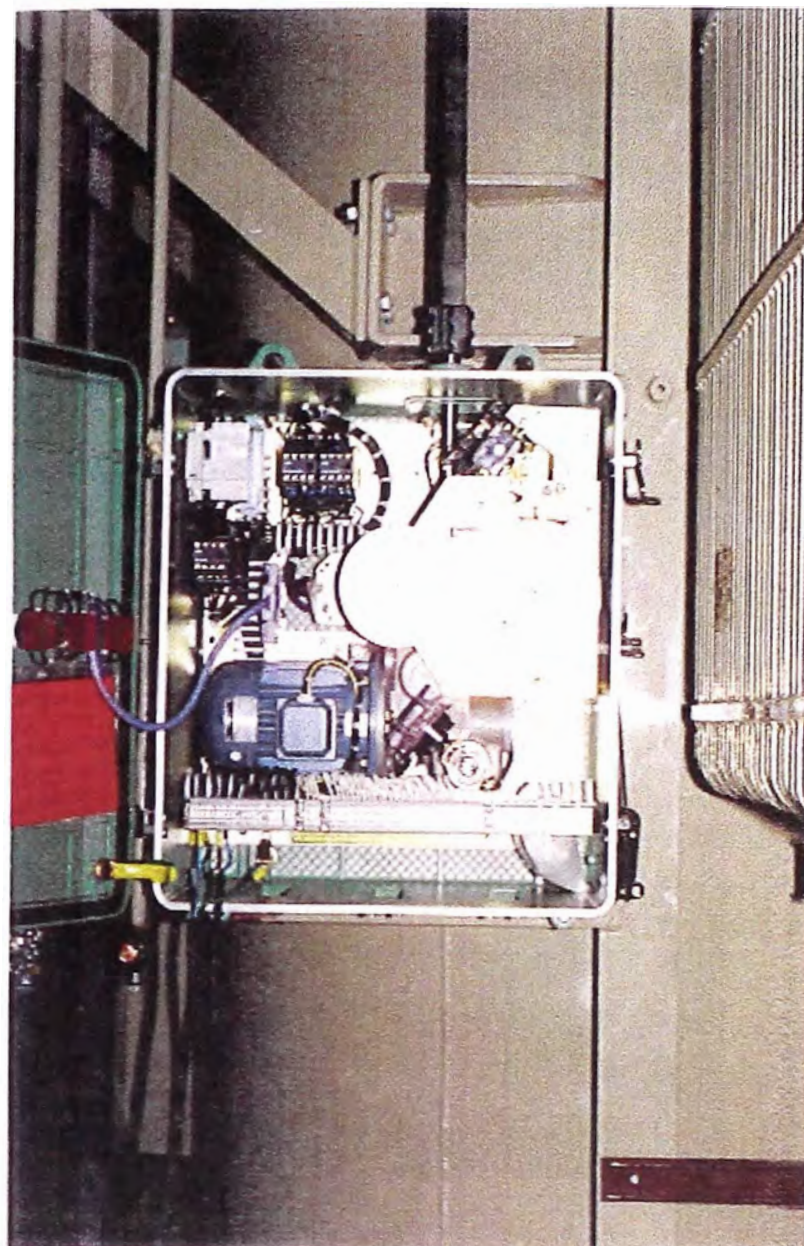
Borne de AT sinmostrar aislador



Borne del neutro 1N

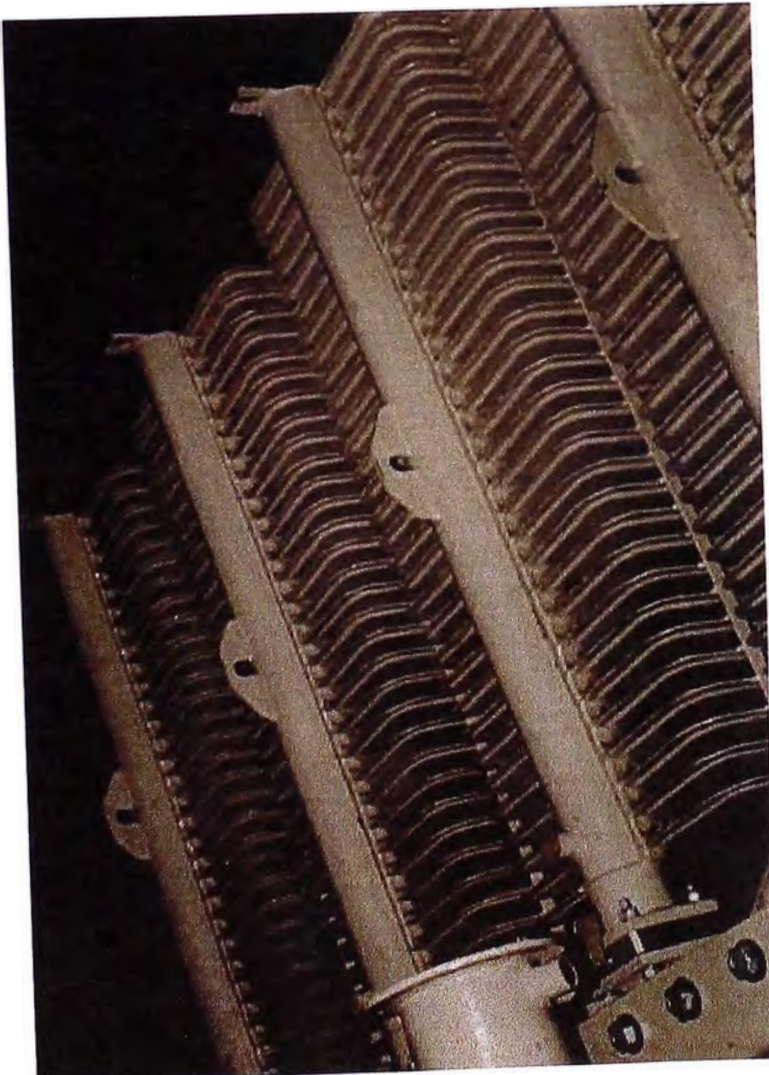
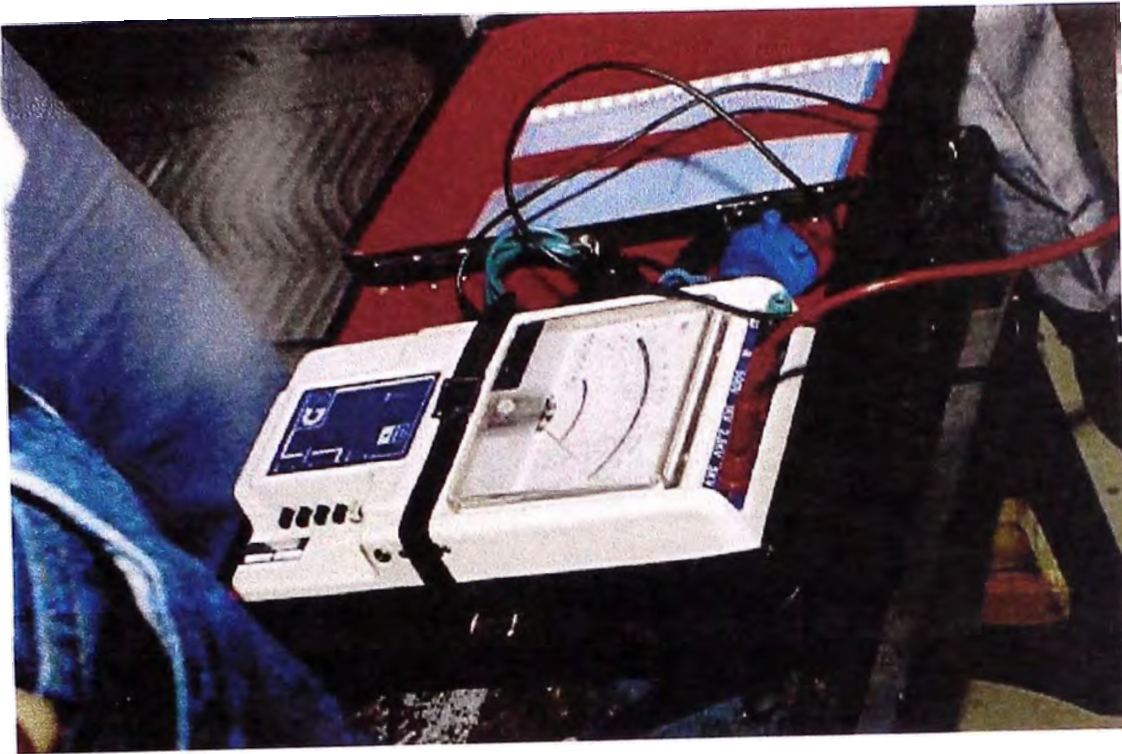


Bornes de AT en cortocircuito



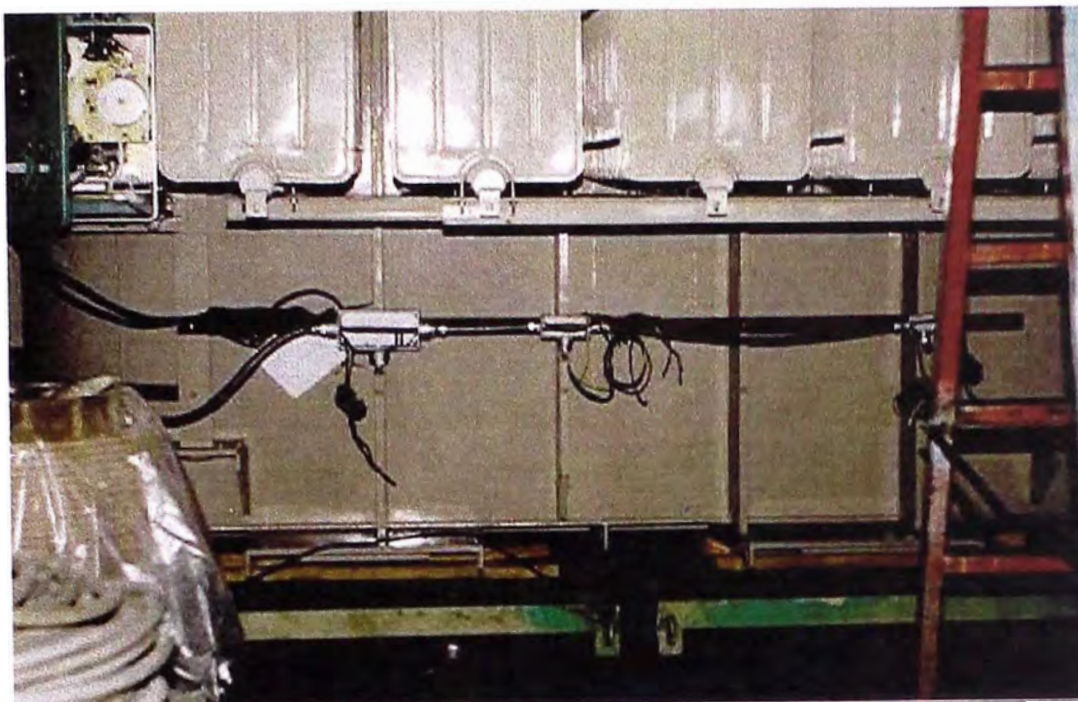
Caja de Mando y fuerza de regulador de tensión.

Megger usado en la medición de resistencia de aislamiento.



Radiadores de
enfriamiento del aceite

Regulador de tensión, radiadores y cajas de pase antes de de conectar ventiladores.

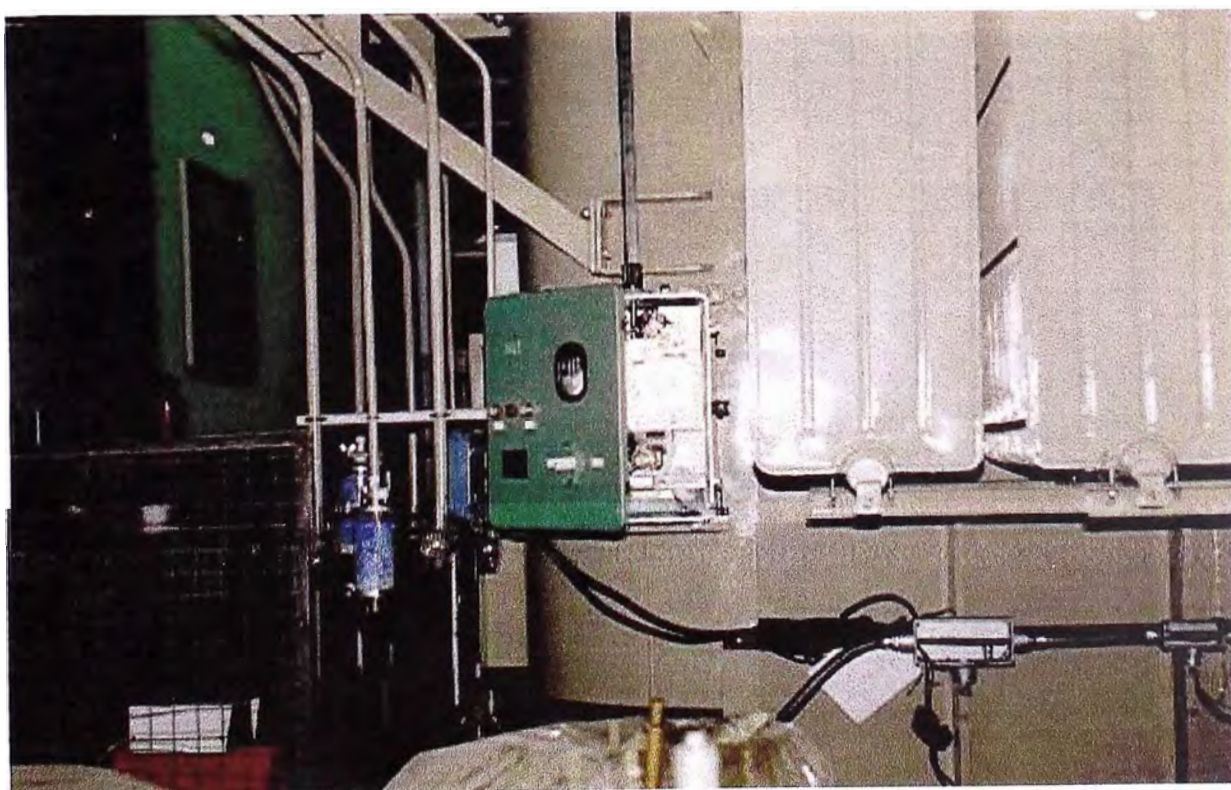


Vista de radiadores del Transformador.

Tanque de nivel de aceite del Transformador



regulador de tensión, radiadores y desecadores de humedad.



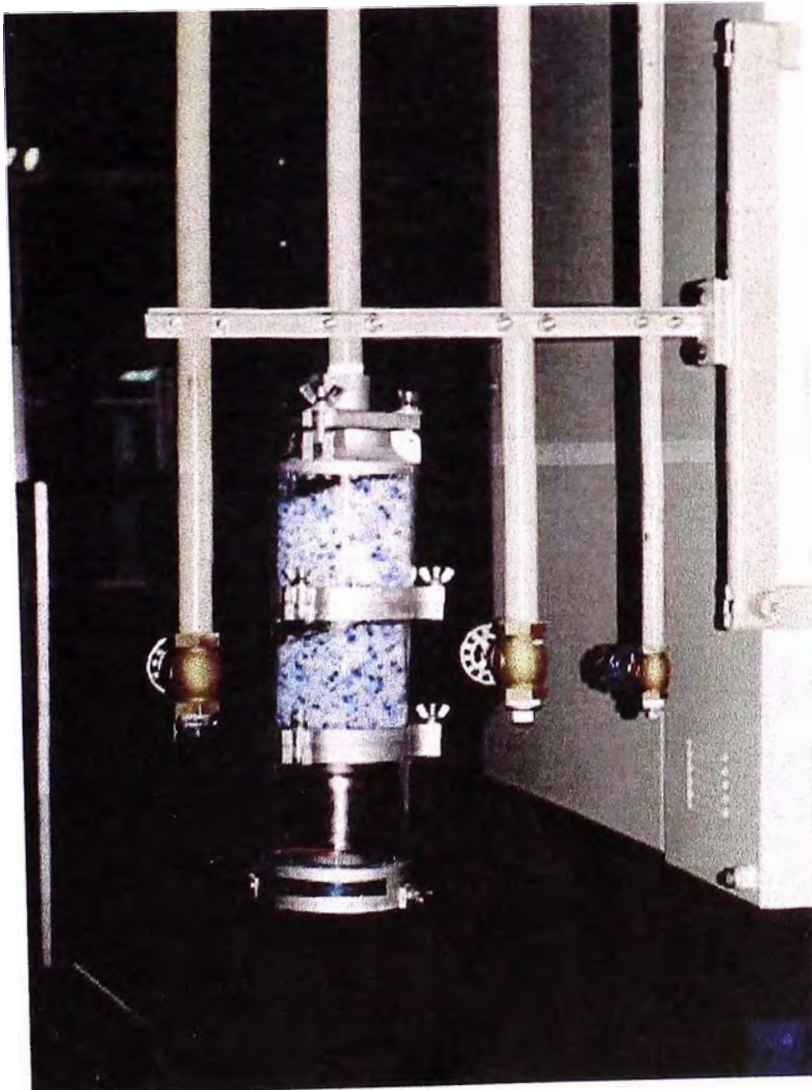
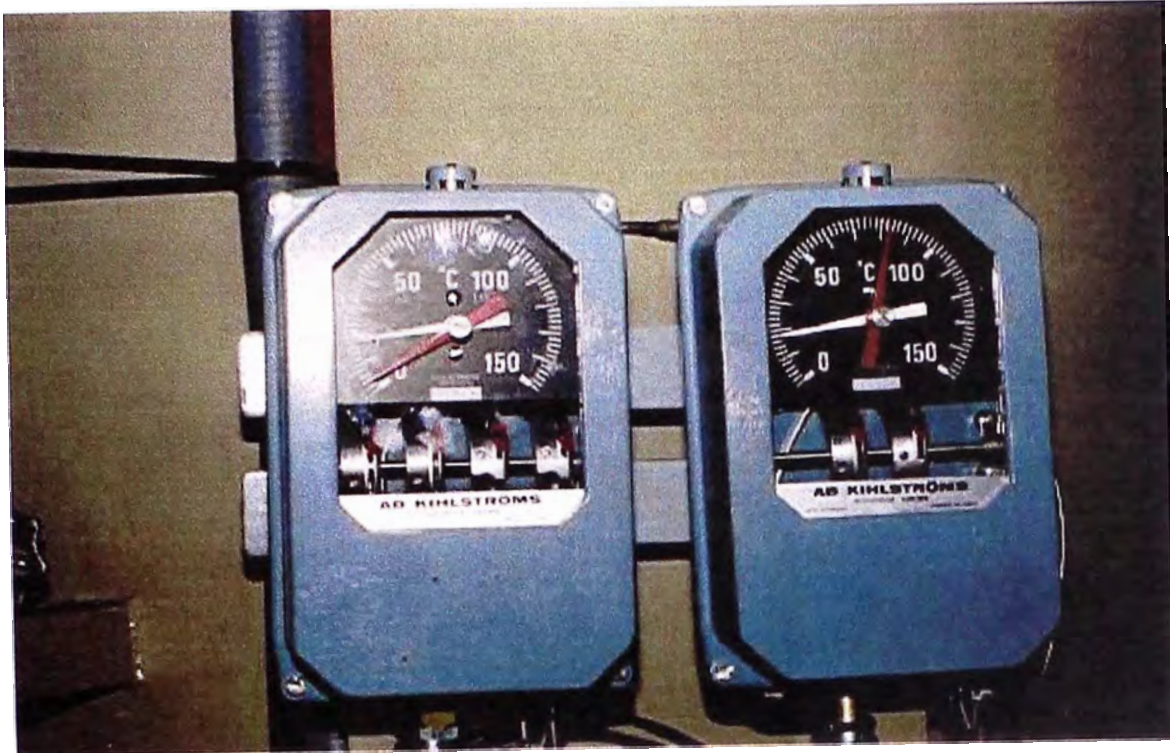


Desecador de humedad.

Parte superior del transformador mostrando el relé Buccholz.



Temperatura del aceite e imagen térmica.

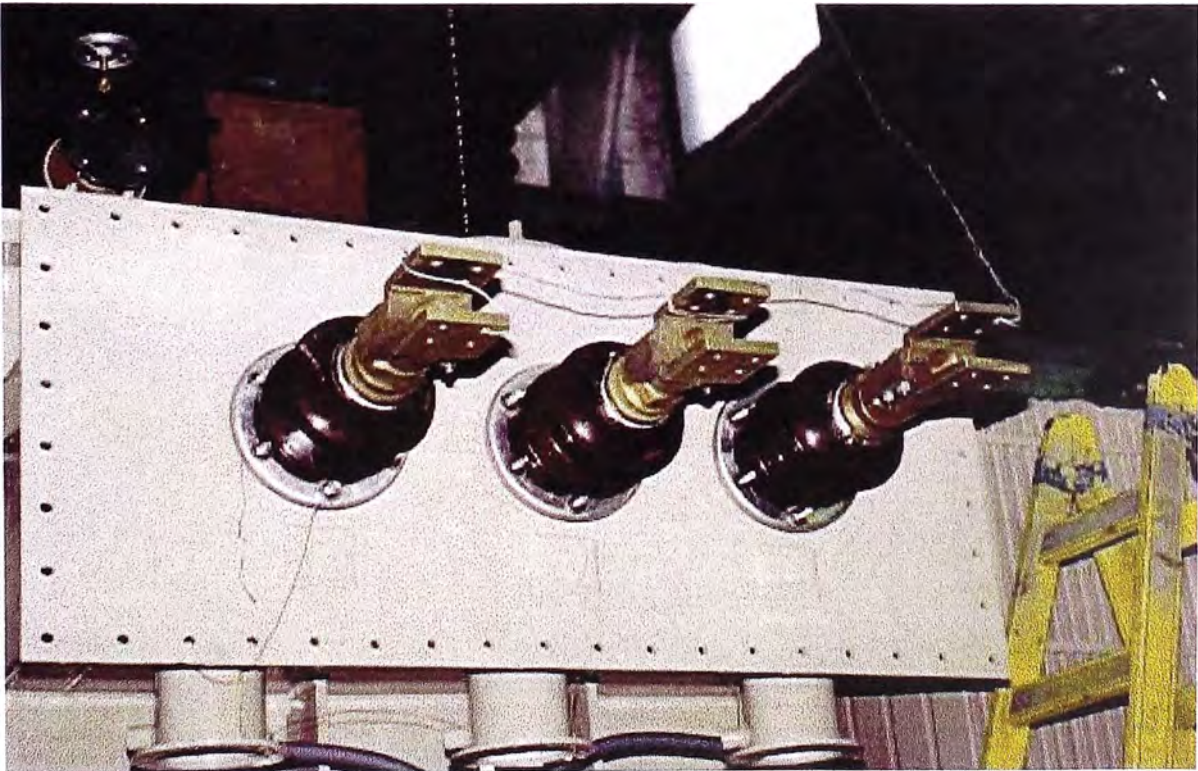


Desecador de humedad

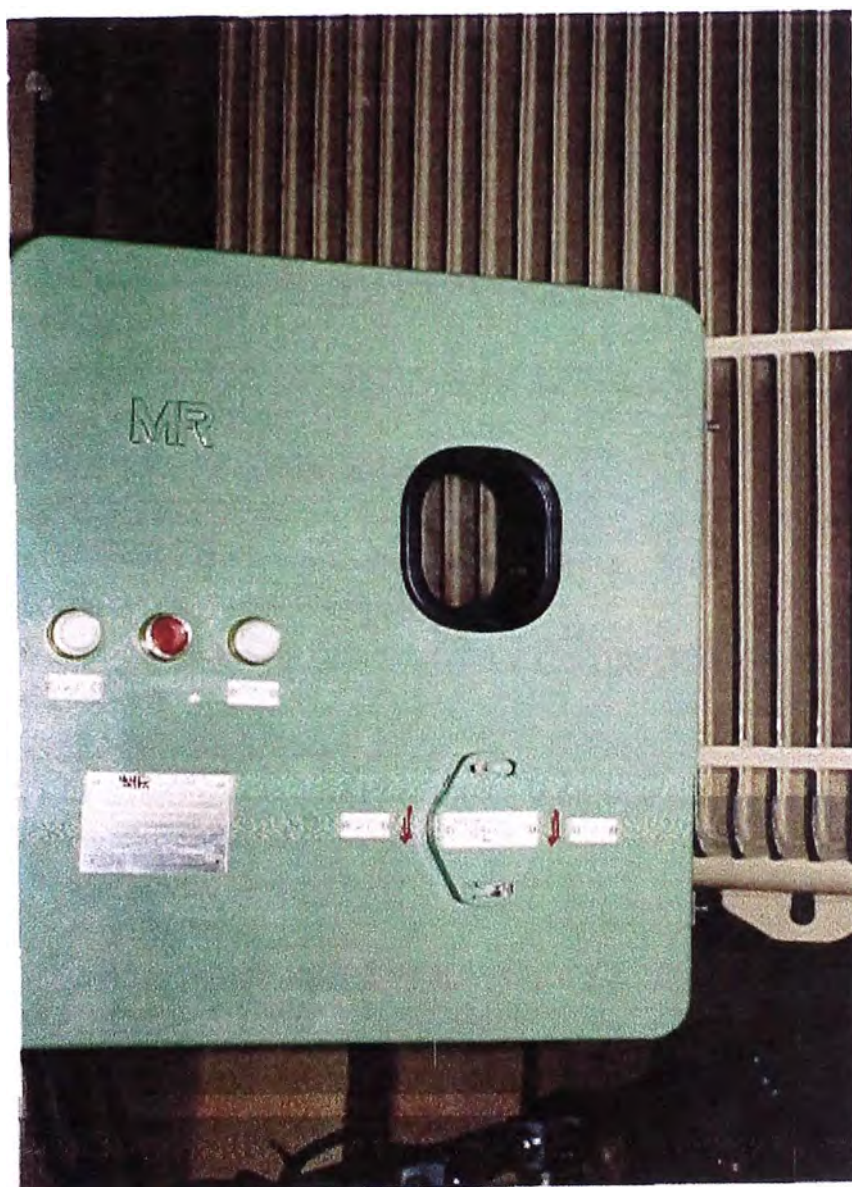
Bornes de AT del Transformador



Bornes de BT con aisladores



Tapa de caja de regulador de tensión



BIBLIOGRAFIA

1. ABC del Aislamiento de Motores y Generadores
César Córdova Chávez
2. Circuitos Magnéticos y Transformadores
M.I.T.
3. Control de Calidad de Ensayos de Transformadores
Róger Coronado
4. Diseño de Aparatos Eléctricos
John H. Kuhlmann
5. Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas
Gilberto Enríquez Harper
6. Estaciones de Transformación y Distribución - Protección de Sistemas Eléctricos.
José Ramírez Vásquez
7. Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión
Gilberto Enríquez Harper
8. Máquinas Eléctricas I
Ramiro Moro
9. Máquinas Eléctricas - Tomo I
M.P. Kostenko, L.M. Piotrovski
10. Manual de Puesta en Servicio y Mantenimiento de Transformadores
Delcrosa
DELCROSA.
11. Manual AEG
AEG
12. Normas IEC 76-1
IEC.
13. Normas IEC 76-2
IEC.
14. Protección de Transformadores
Víctor Ortega Polo

15. Teoría, Cálculos y Construcción de Transformadores
Juan Corrales Martín
16. Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna
Alexander Langsdorf
17. Técnica de la Alta Tensión
Arnold Roth
18. Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección
Enrique Ras Oliva